

Dimensionamento do lote no MRP com sequenciamento de itens: aplicação em uma empresa de fabricação de PVC

*Lot sizing in MRP with item sequencing:
application in a PVC manufacturing business*

Reinaldo Oliveira Costa

Especialista em Logística e Operações pelo Instituto Federal de São Paulo/Campus Suzano – IFSP/Suzano.
Suzano, SP [Brasil]
reinaldo.oc@gmail.com

Ricardo Silva Santos

Especialista em Logística e Operações pelo Instituto Federal de São Paulo/Campus Suzano – IFSP/Suzano.
Suzano, SP [Brasil]
ricardoss186.rs@gmail.com

Adriano Maniçoba da Silva

Doutor em Administração pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo – FEA/USP, Professor de Gestão do Instituto Federal de São Paulo/Campus Suzano – IFSP/Suzano
Suzano, SP [Brasil]
adrianoms@ifsp.edu.br

William de Paula Ferreira

Mestre em Engenharia Industrial pela Tallinn University of Technology, Professor de Gestão do Instituto Federal de São Paulo/Campus Suzano – IFSP/Suzano
Suzano, SP [Brasil]
william.ferreira@ifsp.edu.br

Resumo

Um dos vários desafios de qualquer organização é a realização do planejamento da produção que, se incorreto, pode resultar na ociosidade de máquinas no processo produtivo. Em trabalhos anteriores, nos quais se investigaram o efeito do dimensionamento do lote no MRP, não se considerou o sequenciamento de itens. Neste estudo, investigaram-se os efeitos de variações no tamanho do lote no MRP e seus reflexos na ociosidade de máquinas no processo produtivo de uma empresa no ramo de PVC. Com a mudança da regra de lote por lote (L4L) para quantidade fixa (EOQ) foi possível obter redução significativa na ociosidade das máquinas. Os resultados apontam a importância de considerar o sequenciamento de componentes no estudo da sistemática de gerenciamento do MRP e seu impacto na ociosidade das máquinas. Concluiu-se que a sequência dos itens no processo produtivo deve ser considerada quando da decisão de dimensionamento do lote no MRP.

Palavras-chave: MRP. Planejamento da produção. Sequenciamento.

Abstract

One of the many challenges faced by any organization is how to plan production, which, if done incorrectly, can result in machines lying idle during the production process. Previous studies that have investigated the effect of sizing in MRP batches did not consider the sequencing of items. This study investigates the effects of variations in the lot size on MRP and its effect on machine idle time during the production process of a company in the PVC industry. With the change of batch rule from lot-for-lot (L4L) to fixed quantity (EOQ), the company achieved a significant reduction in machine idle time. The results show the importance of considering the sequencing of the components in the study of the MRP and its impact on machine idle time. We concluded that the sequence of items in the production process should be considered when lot-sizing decisions for MRP are made.

Keywords: MRP. Production planning. Sequencing.

1 Introdução

O Planejamento das Necessidades de Materiais, ou Material Requirement Planning (MRP), é uma técnica que objetiva definir a quantidade e o intervalo de tempo que cada componente de um produto deve ser fabricado ou adquirido, a fim de atender ao planejamento da produção. Para tanto, faz uso da estrutura de produto, também conhecida como árvore de componentes, que deve estar previamente definida, assim como os tempos de obtenção ou fabricação e informações de inventário, como estoque remanescente. Estas informações devem estar disponíveis no momento da realização do MRP.

A proposta fundamental de um sistema MRP é controlar o nível de estoque, planejar as prioridades de operação para os itens e ajustar a produção à capacidade de modo a abastecer o processo de manufatura (HEIDRICH, 2005). Assim, o controle de estoque é essencial, uma vez que grande parte do patrimônio da empresa pode-se encontrar na forma de estoque de matéria-prima, produtos em processo ou acabados. O estoque em processo pode assumir importância maior dependendo da empresa na qual a análise é realizada. A indústria do Polyvinyl Chloride (PVC), investigada nesta pesquisa, tem obtido importância crescente nos últimos anos.

Segundo Teixeira (2013), o Policloreto de Polivinila (PVC) é insumo de diversos produtos de consumo devido ao fato de apresentar uma relação de custo benefício satisfatória tanto na sua utilização direta quanto na sua reutilização posterior. O PVC é o terceiro termoplástico mais consumido no Brasil e no mundo, ficando atrás do polipropileno e do polietileno. Cerca de 70% do PVC produzido no Brasil é consumido na construção civil, que é um dos setores mais importantes da economia nacional. Por sua versatilidade, o PVC contribui com a geração de novos produtos substituindo itens tradicionais utilizados na construção civil. Este panorama ressalta a importância da realização de estudos na indústria do PVC.

Heidrich (2005) menciona que, em estudos conduzidos com a sistemática do MRP, pesquisadores investigaram modos de redução de níveis de estoques, medidos pelo estoque disponível prévio à liberação de ordem. Trabalhos anteriores, em que se investigou o efeito da variação do tamanho do lote utilizado no MRP no processo produtivo, mostraram que a forma pela qual o tamanho do lote é determinado afeta a variação das liberações de ordem tendo impacto na eficácia do MRP (HO, 1989; LOULY; DOLGUI, 2013). Há também estudos nacionais que abordaram a questão da instabilidade gerada pelas diferentes maneiras de dimensionamento do lote no MRP (GODINHO FILHO; FERNANDES, 2006). Contudo, em pesquisas anteriores, não se avaliaram os efeitos do dimensionamento do lote no MRP, quando os itens constantes no planejamento têm sequência predefinida no processo produtivo. Negligenciar esta sequência pode levar ao aumento da ociosidade de máquinas devido à necessidade de espera por componentes.

A partir da relevância do setor de PVC e do impacto da forma de determinação do tamanho do lote no MRP na ociosidade das máquinas, ou seja, quando a sequência é importante, neste estudo, teve-se como objetivo investigar a variação da sistemática de cálculo do tamanho do lote e seu impacto na ociosidade das máquinas com sequência definida dos componentes numa empresa que fabrica PVC. A próxima seção revisa a literatura pertinente ao estudo, apresentando o contexto do caso analisado, o MRP e as diferentes formas de dimensionamento do lote.

2 Revisão da literatura

2.1 PVC

O primeiro passo para obtenção do PVC se deu com a descoberta do Monômero Cloreto

de Vinila (MVC) no ano de 1835. A partir desse momento, ocorreram novas descobertas e incrementos de processos que levaram à origem do Policloreto de Vinila (PVC). Na década de 1920, nos Estados Unidos, ocorreu a primeira produção comercial do PVC e, posteriormente, países europeus, como Alemanha e Inglaterra, também passaram a industrializar esse material. A produção comercial no Brasil data dos anos 1950.

O PVC é um material plástico derivado de petróleo e cloro. Em massa, contém 57% de cloro (derivado do cloreto de sódio – sal de cozinha), e 43% de eteno (derivado do petróleo). A partir do sal, extraído de minas subterrâneas, a salmoura, mistura do sal com água, passa pelo processo de eletrólise e, assim, obtém-se o cloro e a soda cáustica. O petróleo, que representa a outra parte da resina, passa por uma destilação do óleo cru, obtendo-se a nafta leve. O eteno é gerado pelo processo de craqueamento catalítico, que é a quebra de moléculas grandes em menores. A reação do cloro e do eteno, que estão na fase gasosa, produz o dicloroetano (EDC), na forma líquida. O EDC dá origem ao MVC. As moléculas de MVC vão-se ligando até formarem uma molécula muito maior. Esse processo é chamado de polimerização, e o resultado dessa grande molécula é conhecido como PVC, que se apresenta em forma de pó branco (KARINA, 2006).

O PVC é o segundo termoplástico mais consumido em todo o mundo. Os Estados Unidos e a Europa Ocidental são os maiores consumidores de resina de PVC, e o Brasil é o responsável pelo consumo de 2,5% da demanda mundial. Esse material é o mais versátil dentre os plásticos. Devido à necessidade de a resina ser formulada mediante a incorporação de aditivos, o PVC pode ter suas características alteradas dentro de um amplo espectro de propriedades em razão da aplicação final, variando do formato rígido ao extremamente flexível, passando por aplicações que vão desde tu-

bos e perfis rígidos para uso na Construção Civil até brinquedos e laminados flexíveis para acondicionamento de sangue e plasma (CARVALHO et al., 2013).

A versatilidade do PVC deve-se, em parte, também à sua adequação aos mais variados processos de moldagem, podendo ser injetado, extrudado, calandrado, espalmado, somente para citar algumas das alternativas de transformação. Uma vez que a resina de PVC é totalmente atóxica e inerte, a escolha de aditivos com essas mesmas características permite a fabricação de filmes, lacres e laminados para embalagens, brinquedos e acessórios médico-hospitalares, tais como mangueiras para sorologia e cateteres. Exatamente por esses motivos, o PVC é utilizado nos mais diversos segmentos de mercado (NUNES, 2002).

2.2 MRP

O MRP é uma sistemática que converte a previsão de demanda em programação da necessidade de componentes. Com o conhecimento de todos os componentes de um determinado produto e do tempo de obtenção de cada um deles, pode-se, com base na previsão das necessidades, calcular a quantidade e a periodicidade que se deve obter de cada item, de forma que não haja falta nem excesso no suprimento das necessidades da produção. O MRP opera com as necessidades exatas de cada item, melhorando assim o atendimento à demanda, minimizando os estoques em processo, e aumentando a eficiência da fábrica, obtendo, desse modo, menores custos e, conseqüentemente, alcançando melhores margens de lucro.

Para Laurindo e Mesquita (2000), o modelo MRP dos anos 1970 apresentava três elementos básicos para o gerenciamento da produção, a saber: (1) programa mestre de produção; (2) lista de materiais; e (3) quantidades em estoque. O programa mestre de produção (Master Production Scheduling – MPS), no contexto do MRP, inclui

produtos acabados e peças de reposição, denominados produtos com demanda independente, uma vez que a demanda é definida externamente ao sistema de produção, conforme as necessidades dos clientes (mercado).

Com o desenvolvimento do MRP e a melhoria da eficiência computacional, tornou-se possível alterar a programação a qualquer instante, o que provoca uma instabilidade indesejável na fábrica. Outra barreira à difusão dos sistemas tipo MRP, além dos custos de aquisição de *software* e *hardware*, relaciona-se à dificuldade de implantação destes sistemas. A grande quantidade de dados, as dificuldades de configuração e a necessidade de treinamento de usuários podem tornar o processo de implantação lento e custoso.

Usualmente, o MRP é um sistema que converte previsões de vendas em um programa de produção de peças. Para isso, o sistema de MRP usa uma lista de materiais na qual existem itens dependentes e independentes. A diferença entre um item dependente e um independente jaz na forma como esses se relacionam à lista de materiais.

Gaither e Frazier (2012) referem que o MRP é um sistema computadorizado que toma o MPS como um dado externo e “explode” o mesmo na quantidade exigida de matérias-primas, peças, submontagens e montagens necessárias em cada semana do horizonte de planejamento. Também considera nessas necessidades os materiais que estão em estoque sob encomenda e desenvolve um programa de pedidos de materiais comprados e peças produzidas durante o horizonte de planejamento.

2.2.1 Sistemática do tamanho do lote no MRP

A escolha do tamanho do lote visa a contribuir na redução da instabilidade no sistema MRP. Muitos modelos de tamanho de lote foram desenvolvidos para operarem dentro do ambiente MRP, são eles: o clássico lote econômico de compra

(EOQ), a quantidade lote por lote (L4L), a quantidade do pedido periódico (POQ), entre outros (GODINHO FILHO; FERNANDES, 2006).

De acordo com Lara (2003), as formas de determinação do tamanho do lote podem ser caracterizadas da seguinte forma: 1) lote por lote (Lot for Lote – L4L), no qual o tamanho do lote é igual à necessidade líquida, impactando na manutenção de volumes reduzidos de estoque, aumentando, porém, o tempo de *set-up* de fabricação; 2) quantidade do pedido periódico (Period Order Quantity – POQ) em que o tamanho do lote é fixo, obtido geralmente pelo cálculo do lote econômico de fabricação visando à redução do tempo de *set-up* de fabricação; 3) necessidades fixas do período (Economic Order Quantity – EOQ) em que o pedido é realizado com base num intervalo fixo de ocorrência, e a quantidade do pedido solicitada deve ser suficiente para cobrir a demanda de período.

Para Bregin et al. (2013), a sistemática L4L é aplicável em casos nos quais o custo de pedidos a fornecedores é baixo. No entanto, contribui para reduzir a instabilidade no MRP. Segundo o autor, pode-se adequar o MRP para aproveitar o L4L devido à possibilidade de contribuir com a estabilização das liberações de ordem de produção, integrando-o com um sistema de lote economicamente vantajoso.

Numa revisão de estudos anteriores realizados a partir de Ho (1989), identificou-se que a sistemática EOQ reduz a instabilidade gerada pelo MRP pelo fato de esta sistemática gerar estoques disponíveis maiores, os quais permitem suportar melhor a variabilidade no atendimento da demanda. Assim, enuncia-se, a seguir, a hipótese (H1) desta pesquisa:

H1: a sistemática de dimensionamento de lote EOQ reduz a ociosidade de máquinas quando os itens numa linha de produção têm sequenciamento definido.

3 Método da pesquisa

O método utilizado nesta investigação é o de natureza quantitativa e descritiva, com pesquisa de campo e coleta de informações para o estudo de caso. Essa metodologia, além do reconhecido valor didático, tem facilidade em sua execução quando há conhecimento empírico prévio do objeto a ser estudado. Segundo Yin (2010), o estudo de caso contribui para o conhecimento de fenômenos individuais, grupais, organizacionais, sociais e políticos, permitindo que os investigadores retenham as características holísticas e significativas dos eventos da realidade. Para Gil (2010), o estudo de caso representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente. Com lógica própria de coleta e análise de dados, é entendido como um método orientado para as particularidades do objeto sob análise.

A empresa pesquisada produz e comercializa compostos de PVC, *masterbatch*, que é um composto pigmentado utilizado para colorir os PVCs, e compostos de terras-raras (TR), que consiste num composto emborrachado utilizado para sola de sapatos, tênis ou chinelos, desde 1979. Localizada no município de Guarulhos, em São Paulo, a empresa é líder no mercado brasileiro de compostos de PVC. Sua infraestrutura a torna referência no segmento em que atua e lhe confere posição entre as maiores empresas do setor no mundo. Devido ao fato do seu processo de fabricação ser flexível, o que permite que sua produção atenda às necessidades específicas de diferentes perfis de compradores, a empresa também tem atuação na América Latina, além de exportar para mais de 20 países.

Os dados foram coletados de documentos internos que consistiram em árvores de componentes, lista de materiais, plano mestre de produção e ordem de produção de um produto

específico. Também foi realizada uma entrevista semiestruturada com um funcionário do setor de planejamento e controle da produção para obter informações sobre o sequenciamento dos componentes nas máquinas.

Para investigar o efeito da forma de dimensionamento do lote no MRP na ociosidade de máquinas, escolheu-se um processo de fabricação de PVC específico em que os componentes eram operados na máquina de maneira sequencial.

Com o objetivo de resguardar o sigilo do processo de fabricação, os valores de *lead times*, estoque de segurança e taxa de conversão dos componentes não foram revelados no texto. A fim de identificar qual sistemática reduziria a ociosidade das máquinas, foram realizadas simulações usando os dados fornecidos pela empresa. Os valores reais foram indicados por números (1 a 3), representando três níveis diferentes. Variou-se a forma de dimensionamento do lote (EOQ, POQ e L4L), o *lead time* (1, 2 e 3) e o estoque de segurança (1, 2 e 3). Assim, a análise foi realizada por simulação, das condições explicitadas, mediante a verificação de 27 condições (3 x 3 x 3).

O processo de simulação consistiu na variação de parâmetros de acordo com as condições estabelecidas. Deste modo, o projeto de experimento utilizado neste estudo foi o fatorial completo. O método usado resumia-se basicamente em parametrizar cada uma das 27 condições e analisar o resultado das variáveis de desempenho que eram o estoque médio e a ociosidade das máquinas.

A árvore de componentes do produto analisado é apresentada na Figura 1.



Figura 1: Árvore de componentes do produto

Fonte: Os autores.

Considerou-se que a máquina ficou ociosa toda vez que não houve quantidade suficiente para o atendimento das necessidades brutas de um determinado componente. A seqüência de introdução dos componentes no processo é mostrada na Figura 2.

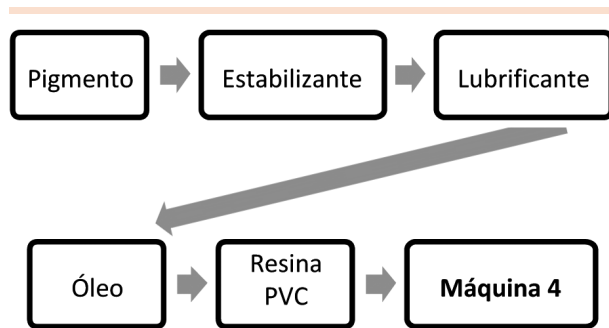


Figura 2: Sequência do processo
Fonte: Os autores.

A Tabela 1 exibe o exemplo de como foram realizadas as simulações. Além da ociosidade das máquinas, também foi avaliado o estoque médio dos componentes, pois estes têm impacto direto no custo de estocagem.

4 Análise dos resultados

4.1 Análise da situação atual

Foram levantadas, por meio de análise documental, informações sobre o produto em análise (Resina de PVC) e sobre cada componente elencado na Figura 1. Foi possível obter, para cada componente, o tamanho do lote adquirido, o *lead time*, o estoque de segurança e a atual sistemática de aquisição e produção do componente.

Conforme demonstrado na Tabela 2, a resina de PVC, que é o primeiro componente do processo de fabricação do produto, em análise adota a sistemática de pedido fixo (FOQ), tem *lead time* de uma semana, e estoque de segurança de 25 mil unidades. O período inicial começou com um estoque disponível projetado de 25 mil unidades. O item ainda tinha recebimentos programados de 26 mil.

Tabela 1: Tabela de simulação do MRP dos componentes

Plano Mestre de Produção (MPS)									
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Demanda									
Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP)									
Componente	Regra de dimensionamento								
Taxa de conversão	Tamanho do lote (FOQ)								
Período (POQ)	Estoque de segurança								
Lead time	Estoque inicial								
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Necessidades brutas									
Recebimentos programados									
Estoque disponível projetado									
Recebimentos planejados									
Liberação de pedidos									

Fonte: Os autores.

Tabela 2: Dados do MRP para a Resina de PVC

Componente:	resina de PVC	Regra de dimensionamento:		FOQ
		Tamanho do lote:		30.000
Lead time:	uma semana	Estoque de segurança:		25.000
Semana	1	2	3	4
Necessidades brutas	27.000	28.000	28.000	31.000
Recebimentos programados	26.000			
Estoque disponível projetado = 25.000	24.000	26.000	28.000	27.000
Recebimento planejado		30.000	30.000	30.000
Liberação de pedido planejado	30.000	30.000	30.000	

Fonte: Informações coletadas na empresa.

Assim como a resina PVC, o óleo plastificante (Tabela 3) também era adquirido pela sistemática FOQ. Segundo informações obtidas na entrevista, estes componentes eram adquiridos por esta

sistemática devido às economias de escala geradas por desconto por quantidade comprada. Eram adquiridos lotes de 25 mil unidades, com prazo de entrega de uma semana, e estoque de segurança de 20 mil unidades. Havia ainda estoque disponível do período anterior de 30 mil unidades e recebimentos programados de 18 mil unidades.

Tabela 3: Dados do MRP para o óleo

Componente:	óleo	Regra de dimensionamento:			FOQ
		Tamanho do lote:			25.000
<i>Lead time:</i>	uma semana	Estoque de segurança:			20.000
Semana		1	2	3	4
Necessidades brutas		24.000	24.000	22.000	24.000
Recebimentos programados		18.000			
Estoque disponível projetado = 30.000		14.000	15.000	18.000	19.000
Recebimento planejado			25.000	25.000	25.000
Liberção de pedido planejado		25.000	25.000	25.000	

Fonte: Informações coletadas na empresa.

Diferentemente dos dois componentes anteriores, os lubrificantes (Tabela 4) eram adquiridos sob a sistemática de pedidos periódicos (POQ). A revisão periódica a cada dois períodos de tempo, ocorria com prazo de entrega de uma semana, estoque inicial de 300 unidades e recebimentos programados de três mil unidades.

Tabela 4: Dados do MRP para os lubrificantes

Componente:	lubrificantes	Regra de dimensionamento:				POQ	
		Período (P):				2	
<i>Lead time:</i>	uma semana						
Semana		1	2	3	4	5	6
Necessidades brutas		3.300	3.500	3.600	3.600	3.400	3.300
Recebimentos programados		3.000					
Estoque disponível projetado = 300		0	300	3.900	300	3.600	300
Recebimento planejado			3.800	7.500		7.000	
Liberção de pedido planejado		3.800	7.500		7.000		

Fonte: Informações coletadas na empresa.

Além da sistemática de revisão periódica (POQ) ter sido usada para a aquisição dos lubrificantes, esta também foi utilizada para compra dos estabilizantes, pois, segundo a empresa, devido à grande quantidade de variedade de componentes e tipos de embalagens, havia dificuldade de manter o estoque padronizado para compra em maiores quantidades. A periodicidade era de duas semanas; e o *lead time*, de uma semana (Tabela 5).

Por fim, na Tabela 6, são apresentados os dados do MRP para os pigmentos. Neste componente, a empresa utilizava a sistemática de lote por lote (L4L). O funcionário entrevistado relatou ainda que este item era o maior responsável pela geração de períodos ociosos nas máquinas, sendo submetido à revisão de estoque a cada dois períodos.

Também foi levantada a quantidade de horas que as máquinas ficaram ociosas no período de três meses anteriores à coleta de dados, abril a julho de 2015. O Gráfico 1 exibe a quantidade de horas que as máquinas ficaram ociosas ao final dos três meses.

Conforme pode-se verificar no Gráfico 1, a máquina 4, juntamente com a 6, apresentavam os maiores índices de ociosidade. Esse fato contribuiu para que se escolhesse o produto produzido na máquina 4. A próxima seção apresenta o resultado das simulações realizadas.

4.2 Análise da simulação

Foram realizadas 27 simulações considerando-se as variações na sistemática de dimensionamento do tamanho do lote, no *lead time* e no estoque de segurança. Com base nessas variações, foram analisadas duas medidas de desempenho, o estoque médio e a ociosidade. A média de estoque foi obtida das ta-

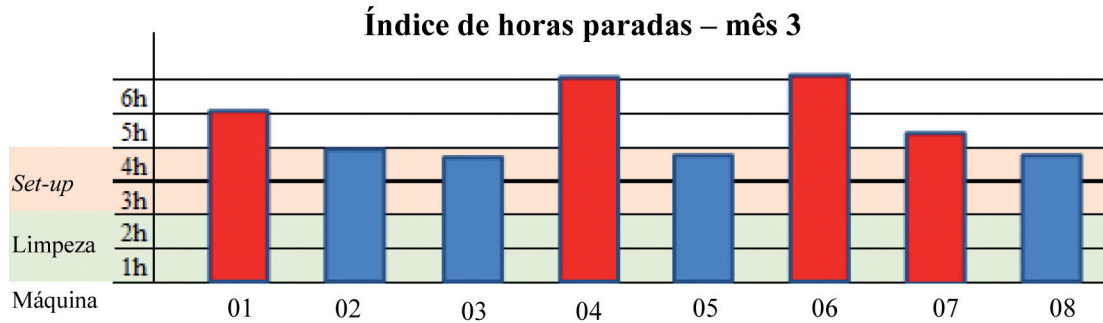


Gráfico 1: Índice de horas paradas das máquinas

Fonte: Informações coletadas na empresa.

Tabela 5: Dados do MRP para os estabilizantes

Componente:	estabilizantes	Regra de dimensionamento:				POQ	
Prazo de entrega:	uma semana	Período (P):				2	
Semana		1	2	3	4	5	6
Necessidades brutas		4.100	4.800	4.900	4.900	4.200	4.300
Recebimentos programados		4.000					
Estoque disponível projetado = 100		100	100	5.000	100	4.400	100
Recebimento planejado			4.800	9.900		8.600	
Liberção de pedido planejado		4.800	9.900		8.600		

Fonte: Informações coletadas na empresa.

Tabela 6: Dados do MRP para os pigmentos

Componente:	pigmentos	Regra de dimensionamento:				L4L	
Prazo de entrega:	duas semanas	Período (P):				2	
Semana		1	2	3	4	5	6
Necessidades brutas		2	3	2	4	3	2
Recebimentos programados		1					
Estoque disponível projetado = 0		4	1	4	0	2	0
Recebimento planejado		5		5		5	
Liberção de pedido planejado		5		5			

Fonte: Informações coletadas na empresa.

belas de MRP como a média do estoque nas semanas simuladas.

A quantidade de horas ociosas foi obtida pela verificação de estoque disponível negativo,

considerando neste caso que a máquina ficava ociosa em virtude da falta de material. Considerando os achados da simulação, a Tabela 7 apresenta o resultado do efeito da variação na forma de dimensionamento do lote no MRP nas variáveis de desempenho.

O exame da Tabela 7 permite identificar que a forma de dimensionar o tamanho do lote L4L apresentou o menor nível de estoque médio (39,09); e a FOQ, o maior estoque médio (86,38). Quanto à redução da ociosidade, apenas a FOQ impediu que a máquina ficasse parada aguardando material. Comparando-se o L4L com o POQ verificou-se que, em termos de ociosidade, a melhor escolha seria o L4L, pois este modo apresenta estoque médio menor que o outro. A Tabela 8 mostra o efeito do *lead time* nas medidas de desempenho.

Pode-se verificar que o *lead time* de uma semana apresentou a maior média de estoque sem que houvesse ociosidade na máquina. Consecutivamente, o *lead time* de duas semanas gerou custo de estoque maior e também ociosidade na máquina. Por fim, o *lead*

Tabela 7: Efeito do dimensionamento nas variáveis de desempenho

Dimensionamento	Média de estoque	Média de ociosidade
FOQ	86,38	0
L4L	39,09	5
POQ	42,51	5

Fonte: Os autores.

Tabela 8: Efeito do *lead time* nas variáveis de desempenho

<i>Lead time</i>	Média de estoque	Média de ociosidade
1	63,14	0,00
2	58,15	3,33
3	46,68	6,67

Fonte: Os autores.

time 3 gerou o menor custo de estoque, em contraponto ao maior nível de ociosidade. Na Tabela 9, é apresentado o efeito do estoque de segurança nas variáveis de desempenho.

Tabela 9: Efeito do estoque de segurança nas variáveis de desempenho

Estoque de segurança	Média de estoque	Média de ociosidade
1	39,88	3,33
2	56,02	3,33
3	72,07	3,33

Fonte: Os autores.

Diferentemente das outras variáveis, a partir de variações no estoque de segurança, a ociosidade das máquinas permaneceu constante e, conforme esperado, o nível do estoque foi maior quando se utilizou o nível máximo de estoque de segurança (72,07) em contraponto ao menor nível (39,88), quando se usou o mínimo deste estoque. A Tabela 10 exibe a análise conjunta da forma de dimensionamento e estoque de segurança, e seu impacto no nível médio de estoque.

Pode-se verificar que o menor nível de estoque é obtido quando da utilização da sistemática L4L, no primeiro nível de estoque de segurança.

Tabela 10: Efeito conjunto do dimensionamento e estoque de segurança

Dimensionamento	Média de estoque		
	Estoque de segurança		
	1	2	3
FOQ	69,18	86,56	103,42
L4L	23,51	39,05	54,70
POQ	26,96	42,46	58,10

Fonte: Os autores.

A Tabela 11 conduz a mesma análise, porém verificando o efeito do *lead time* juntamente com o dimensionamento do lote.

Tabela 11: Efeito conjunto do dimensionamento e *lead time*

Dimensionamento	Média de estoque		
	<i>Lead time</i>		
	1	2	3
FOQ	91,21	87,55	80,39
L4L	47,25	41,60	28,42
POQ	50,97	45,31	31,24

Fonte: Os autores.

Neste caso, o menor nível de estoque é obtido pela sistemática L4L, no terceiro nível de *lead time*. Analisando os resultados apresentados nas Tabelas 7 a 11, é possível concluir que para a redução da ociosidade, a melhor sistemática de dimensionamento do lote é o FOQ, seguido do *lead time* de uma semana. Quanto ao estoque segurança, a partir da análise da Tabela 10, que considerou conjuntamente a forma de dimensionamento, pode-se concluir que o nível que reduz o estoque médio é o nível 1. Deste modo, FOQ, *lead time* de uma semana e primeiro nível de estoque de segurança consistiu na combinação proposta para a empresa, sendo a aplicação e os resultados apresentados na próxima seção.

4.3 Resultado da aplicação na empresa

Foram implementadas mudanças no dimensionamento do lote de produção no MRP para



os componentes da empresa, sendo os resultados avaliados por dois meses (em julho e agosto de 2015). Como forma de dimensionamento predominante figurou o FOQ, acompanhado de *lead time* de uma semana e nível mínimo de estoque de segurança. Foram acompanhados os índices de ociosidade das máquinas, nos dois meses seguintes após essa aplicação, conforme exibido nos Gráficos 2 e 3.

Pode-se verificar que houve mudança significativa na ociosidade apresentada na máquina 4, que foi objeto de análise deste estudo.

Quando se comparam os resultados dos Gráficos 2 e 3 com os do Gráfico 1, pode-se verificar que a ociosidade da máquina

4 reduziu consideravelmente no primeiro mês e mais ainda no seguinte. Este achado fica evidente quando da comparação direta exibindo apenas os resultados da máquina 4, conforme demonstrado no Gráfico 4.

Índice de Horas Paradas – Máquina 04

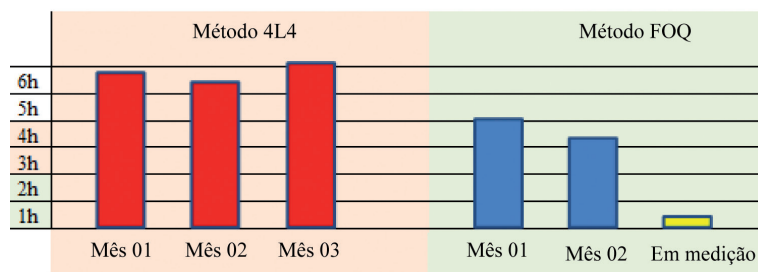


Gráfico 4: Índice de horas paradas das máquinas após as mudanças

Fonte: Informações coletadas na empresa.

Índice de horas paradas – mês 1

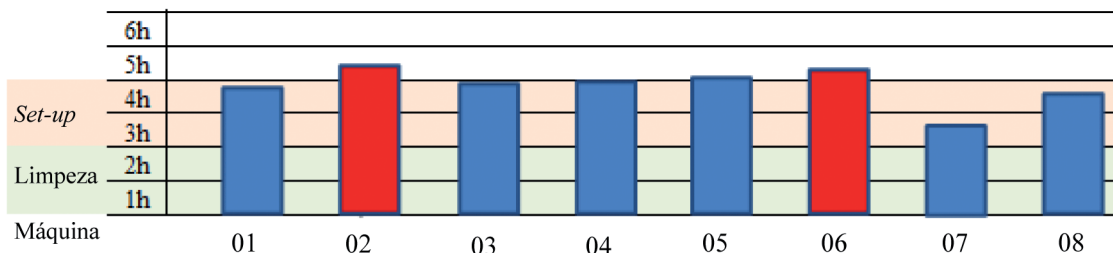


Gráfico 2: Índice de horas paradas das máquinas após as mudanças

Fonte: Informações coletadas na empresa.

Índice de horas paradas – mês 2

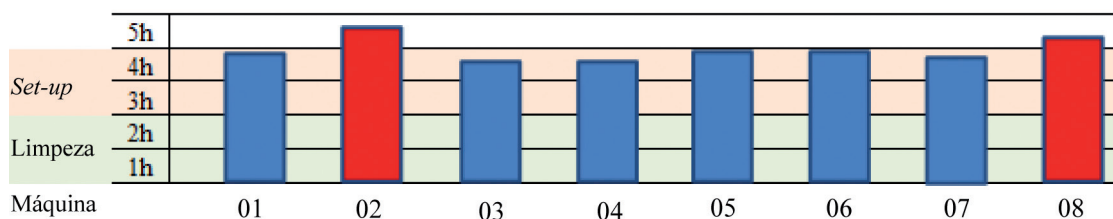


Gráfico 3: Índice de horas paradas das máquinas após as mudanças

Fonte: Informações coletadas na empresa.

5 Discussão e conclusão

Os resultados do estudo permitiram não rejeitar a hipótese de que a sistemática EOQ seria a mais adequada para reduzir a ociosidade de máquinas num processo produtivo cujo sequenciamento é importante. Este fato suporta estudos anteriores realizados a partir do trabalho de Ho (1989) de que a sistemática EOQ gera níveis de estoques disponíveis maiores que as sistemáticas L4L e POQ, sendo adequada para reduzir a ociosidade de máquinas no processo produtivo.

Após a verificação das diferentes maneiras de dimensionamento do lote neste estudo de caso, observou-se que a forma FOQ contribuiu para que se reduzisse a ociosidade da máquina cujo processo foi analisado.

Foi também controlado o nível de estoque, para que se identificassem o *lead time* e o nível de estoque de segurança que contribuíssem na redução desta variável de desempenho.

Concluiu-se neste estudo que, após a mudança na forma de dimensionamento de lote no MRP de 4L4 para FOQ, pode-se constatar alteração significativa na ociosidade das máquinas, conforme evidenciado nas comparações do período anterior e posterior à implantação. Apesar de aparente elevação no nível de estoque, bem como constatado em estudos anteriores, a sistemática FOQ foi eficaz para controlar o nível de ociosidade da máquina sob análise.

Embora os resultados apontem eficácia da sistemática escolhida, reduzir a ociosidade, não foram considerados os custos de operar com a FOQ, nem a possível instabilidade que esta política pode gerar no MRP. Em estudos futuros, pode-se investigar o efeito do sequenciamento, mensurando não apenas a ociosidade, como variável de desempenho, mas também o custo de tal alternativa.

Referências

- BREGIN, A. et al. Formulas of revised MRP. *International Journal of Engineering Business Management*, v. 5, n. 10, p. 1-10, 2013.
- CARVALHO, I. M.; MEI, L. H. I.; RODOLFO JUNIOR, A. Reticulação de plastissóis de PVC utilizando resina epóxi polifuncional: Síntese e caracterização. *Polímeros*, v. 23, n. 4, p. 501-508, 2013.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G. *Administração da produção e operações*. 8. ed. Thomson learning, p. 310, 312, 2012.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Redução da instabilidade e melhoria de desempenho do sistema MRP. *Revista Produção*, v. 16, n. 1, p. 64-79, 2006.
- HEIDRICH, P. H. L. Contribuição do MRP na gestão estratégica da manufatura. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA – SEGeT, 2., 2005. Rezende, RJ. *Anais...* Rezende: AEDB. 2005. p. 969-977.
- HO, C. Evaluating the impact of operating environments on MRP system nervousness. *The International Journal of Production Research*, v. 27, n. 7, p. 1115-1135, 1989.
- KARINA. Indústria e Comercio de Plástico LTDA. *O que é PVC*. 2006. Disponível em: <<http://www.karina.com.br/defaultb.php?area=0>>. Acesso em: 25 maio 2015.
- LARA, V. R. Desenvolvimento de um plano agregado de produção para um sistema agroindustrial. 2003. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2003.
- LAURINDO, F. J. B.; MESQUITA, M. A. Material requirements planning: 25 anos de história; uma revisão do passado e prospecção do futuro. *Revista Gestão & Produção*, v. 7, n. 3, p. 320-337, 2000.
- LOULY, M.; DOLGUI, A. Optimal MRP parameters for a single item inventory with random replenishment *lead time*, POQ policy and service level constraint. *International Journal of Production Economics*, v. 143, n. 1, p. 35-40, 2013.
- NUNES, L. R. *Tecnologia do PVC*. São Paulo: Pro Editores / Braskem, 2002.



TEIXEIRA, E. G. Análise do mercado brasileiro de PVC utilizado na construção civil. 2013. 33 p. Trabalho de conclusão de curso (Diplomação em Engenharia Química)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/108450>>. Acesso em: 25 maio 2015.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

Recebido em 15 jun. 2016 / aprovado em 15 ago. 2016

Para referenciar este texto

COSTA, R. O. et al. Dimensionamento do lote no MRP com sequenciamento de itens: aplicação em uma empresa de fabricação de PVC. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 567-578, 2016.