Modelo matemático para problemas de dimensionamento de lote de produto único com demanda variável, descontos por tamanho de lote e restrições de: rejeição, atraso na entrega, estoque de segurança e limitações na aquisição.

Jeferson Auto da Cruz
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Rod. Pres. Dutra, km 145 - s/n - Jardim Diamante, São José dos Campos – SP
jeferson.cruz@ifsp.edu.br

Luiz Leduino de Salles Neto
Universidade Federal de São Paulo
Avenida Cesare Mansueto Giulio Lattes, n° 120 1- Eugênio de Mello, São José dos Campos – SP
luiz.leduino@unifesp.br

RESUMO

O trabalho consiste na elaboração e implementação de uma abordagem de otimização para resolver problemas de dimensionamento de lotes de compras referente a vários períodos para um único produto adquirido de um único fornecedor. O modelo considera descontos de acordo com o tamanho do lote a ser adquirido, garantia de estoque de segurança, rejeições por parte do adquirente, entregas tardias, demandas variáveis, lotes mínimos e múltiplos e limitações de aquisição no horizonte de planejamento. O modelo visa determinar o tamanho do lote e o momento apropriado de aquisição, de modo a minimizar os custos no horizonte de planejamento, considerando economias de escala nas transações e gerenciamento de inventário. Duas ilustrações com variações nas situações de negócio são apresentadas a fim de demonstrar a funcionalidade do modelo proposto. Os resultados sugerem que o modelo desenvolvido pode ser adotado como uma excelente ferramenta para gestores que se deparem com situações semelhantes.

PO na Administração e Gestão da Produção, PO na Indústria

PALAVRAS CHAVE. Dimensionamento de lote, Economia de escala, Programação inteira.

ABSTRACT

The research consists of designing and implementing an optimization approach to solve problems of lote size in several periods for a single product purchased from a single supplier. The model considers discounts according to the size of the lot to be purchased, guarantee of safety stock, rejections by the buyer, late deliveries, variable demands, minimum and multiple lots and limitations of acquisition in the planning horizon. The model aims to determine the lot size and the appropriate moment of acquisition, in order to minimize costs in the decision horizon, considering economies of scale in transactions and inventory management. Two illustrations with variations in business situations are presented in order to observe the functionality of the proposed model. The results suggest that the model developed c.an be adopted as an excellent tool for managers who are faced with similar situations.

KEYWORDS. Lot sizing, Economy of scale, Integer programming.

PO in Administration and Production Management, PO in Industry.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

Planejamento da produção estão presentes nos diversos setores produtivos e, dentre outras atividades, realiza o dimensionamento dos lotes de compra para atendimento das demandas de produção. Em cenários que envolvem uma ampla gama de custos nas operações de compra, tais como: transporte, ordem de compra e manutenção dos estoques, o dimensionamento de lotes pode possibilitar, dentre outros possíveis objetivos, a minimização de alguns custos do setor produtivo. Dentro desta perspectiva, o custo de manutenção desses estoques pode representar de 20 a 40% do seu valor estocado no período de um ano [Ballou, 2009].

Também é comum fornecedores aplicarem descontos de acordo com o tamanho do lote adquirido, assim como imporem uma quantidade mínima e múltipla de aquisição destes lotes [Ballou, 2009]. A variedade de cenários aumenta a complexidade dos problemas, acarretando a necessidade da adoção de modelos que atendam as características de cada empresa ou setor produtivo, dificultando assim o processo de tomada de decisão dos gestores envolvidos neste processo. Em linhas gerais estes modelos possibilitam determinar a quantidade e o momento de realizar a aquisição dos lotes de um ou mais itens, ao longo de um horizonte de tempo, de modo a atender uma demanda (certa ou incerta) e otimizar um determinado objetivo (p.e. minimizar custos) [Slack, 2009].

O problema proposto se caracteriza como de aquisição de item único, com demanda dinâmica determinística, possibilidade de atraso na entrega e rejeição por parte do adquirente, com dimensionamento mínimo e múltiplo dos lotes de compra, limitação quanto ao período de aquisição e aplicação de descontos de acordo com o tamanho do lote de compra. A modelagem utilizada como referência para este projeto é a proposta por Choudhary & Shankar [2011] que apresenta um modelo para o problema de dimensionamento de lote considerando descontos por tamanho do lote de compra, limitações de armazenamento, limitações de fornecimento, rejeições e atrasos na entrega. A este modelo serão adicionadas as restrições de variação de demanda, estoque de segurança, limitação nos dias de recebimento e valores mínimos e múltiplos para os determinados lotes.

O objetivo deste trabalho é propor um modelo matemático para, de acordo com as restrições apresentadas no problema, determinar o ponto de ressuprimento e o tamanho do lote de compra, atendendo uma determinada previsão de demanda e minimizando o custo total da operação, de acordo com as situações de negócio apresentadas.

2. Gestão de estoque e o problema de dimensionamento de lotes

Ballou [2009] aponta diversas críticas na manutenção de excesso de estoque, em destaque: o desperdício de capital, que poderia ser mais bem empregado no incremento da produtividade e competitividade, ausência de agregação de valor ao produto final e a eventual camuflagem de outros problemas na cadeia de suprimentos. Ballou [2009] também aponta a existência de cinco categorias nas quais os estoques podem se enquadrar: no canal (em trânsito ou entre processos de produção), especulativos (ou de proteção contra variações de preços), regular ou cíclica (para atendimento da demanda média entre abastecimentos), de segurança (adotada para suprir demandas ocultas) e obsoleto (itens que se deterioram, são perdidos ou roubados).

A ruptura de estoque, também chamada de falta de estoque (do inglês: *stockout*), acontece quando a demanda de algum item deixa de ser atendida devido à ausência deste em estoque. Conforme Aguiar e Sampaio [2014], o índice de ruptura de estoque é representado pela porcentagem dos produtos que deveriam estar disponíveis para venda, porém não se encontram nas prateleiras.

Segundo Coelho, Follmann & Rodriguez [2009], incertezas quanto a demanda acarreta na elevação do estoque de segurança e ocasiona o chamado efeito chicote ao longo da cadeia de suprimento. Gruen, Corsten e Bharadwaj [2002] afirmam que, em se tratando de varejo, no caso

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

de falta de estoque, o cliente poderá escolher entre procurar outro estabelecimento para compra, comprar outro dia, substituir o item por outro equivalente, ou desistir de comprar o produto novamente. Assim no anseio por evitar a ruptura de estoque as empresas passam a aumentar a quantidade de itens adquiridas em seus pedidos, ocasionando a falsa sensação de alta demanda, refletindo, de fornecedor em fornecedor, em toda cadeia de suprimentos [Coelho, Follmann & Rodriguez, 2009].

Fatores como economia de escala, e a redução de custos operacionais em outras atividades da cadeia de suprimentos, podem compensar os custos de manutenção do estoque. Maiores níveis de estoques também podem garantir uma produção ou prestação de serviços mais seguros e equilibrados. A Figura 1 apresenta a compensação dos custos relevantes de estoque em relação a quantidade pedida, observa-se que equilibrar os custos de manutenção com os custos de aquisição e de ruptura de estoque, é importante para determinar a política de estoque e garantir melhores resultados operacionais, além da disponibilidade dos itens de acordo com o nível de serviço desejado [Ballou, 2009]. Neste sentido, o dimensionamento de lotes se apresenta como uma crucial atividade, sendo essa uma das principais responsáveis pelo ganho de eficiência das empresas de diversos setores produtivos e de serviços [Araujo, 2003].

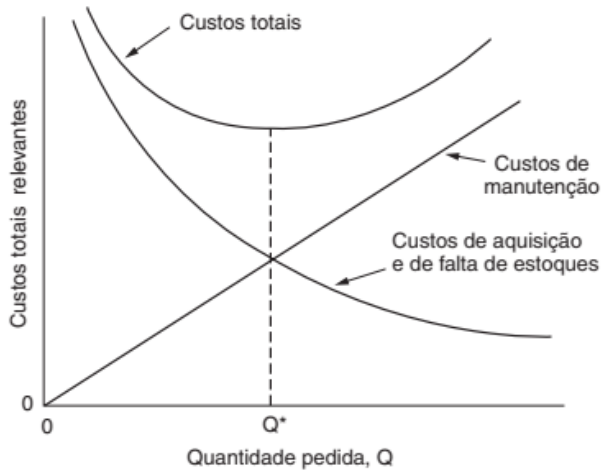


Figura 1- Compensação dos custos relevantes de estoque com a quantidade pedida.
Fonte: [Ballou, 2009]

O problema de dimensionamento de lotes se enquadra na área de Planejamento e Controle da Produção (PCP). O objetivo de PCP passa por planejar a aquisição de matérias-primas e a alocação de recursos, viabilizando o atendimento à demanda dos clientes em um determinado horizonte de planejamento [Araujo, 2003].

Algumas metodologias clássicas que visam realizar o dimensionamento de lotes para situações específicas, como o MRP (*Manufacturing Resource Planning*), e o modelo EOQ (*Economic order quantity*) são empregados para encontrar a solução ideal. Entretanto nenhum destes métodos consideram restrições realistas em relação à capacidade do fornecedor, rejeições, entregas e prazos atrasados, entre outras variações de negócio enfrentadas no dia-a-dia das empresas [Choudhary & Shankar, 2011].

Uma abordagem para solução exata do problema de dimensionamento de lote, foi inicialmente desenvolvida por Wagner e Whitin [1958], a partir desta abordagem inúmeros modelos, considerando uma demanda dinâmica e diversas outras características, foram desenvolvidos [Karimi, 2003], [Belo-Filho, Toledo & Almada-Lobo, 2014], [Fiorotto, Jans, & De Araujo, 2017], [Absi et. al., 2016], [Choudhary & Shankar, 2011]. Brahimi et. al. [2017] realiza

um extenso levantamento da bibliografia e uma classificação baseada nas diferentes características do problema de dimensionamento de lote de item único.

Entre outras características, a economia de escala está presente em diversos setores produtivos e atacadistas. Fornecedores oferecem descontos de acordo com o tamanho do lote, seguindo os diferentes níveis de quebra de preço (do inglês: *price break level*) estabelecidos na relação comercial, algo que pode propiciar grandes vantagens operacionais tanto ao comprador, quanto ao fornecedor [Benton & Park, 1996]. Riscos e falhas operacionais da cadeia de suprimentos, como rejeições e entregas atrasadas também afetam as decisões de dimensionamento de lotes de compras. Tais características submetem o tomador de decisão a uma grande quantidade de variáveis, dificultando o *tradeoff* de compensações entre os custos de compras, custo de transação, custo de armazenamento e riscos de ruptura de estoque, quando da realização do dimensionamento de lotes de compras na busca por minimizar o custo total ao longo de um horizonte de planejamento [Choudhary & Shankar, 2011].

Em relação aos modelos de gerenciamento de estoque com economia de escala, Pirkul, & Aras [1985] abordam o problema da determinação do lote de compras de múltiplos itens sujeitos a descontos por quantidade ordenada e limitações de recursos. Benton [1991] desenvolve uma heurística para o problema com características de desconto de acordo com o tamanho do lote, múltiplos itens, limitações de recursos e múltiplos fornecedores. Chaudhry & Zydiak [1993] aborda o problema da seleção de fornecedores sob diversos aspectos, dentre estes a adoção dos níveis de quebra de preço de acordo com a quantidade de itens adquiridos. Benton & Park [1996] classifica a literatura sobre determinação do tamanho do lote sob vários tipos de esquemas de desconto. Choudhary & Shankar, [2011], desenvolveram uma abordagem para o dimensionamento de lote de um único produto e fornecedor sob condições de atraso de entrega e rejeição percentual dos lotes assim como uma análise de sensibilidade dos parâmetros envolvidos.

4. Modelo matemático

O modelo proposto se caracteriza como de único item, com demanda dinâmica determinística, descontos no preço de acordo com o tamanho do lote adquirido, limitação de armazenamento e fornecimento, garantia de estoque de segurança, possibilidade de atraso na entrega no fornecimento e rejeição percentual por parte do adquirente, com dimensionamento mínimo e múltiplo dos lotes de compra e restrição quanto aos períodos nos quais podem ocorrer o recebimento do lote. A função objetivo busca minimizar o conjunto dos seguintes custos: realização de ordem de compra, aquisição unitária, transporte e de armazenamento unitário.

O trabalho utilizado como referência é o proposto por Choudhary & Shankar [2011], que apresenta um modelo para o problema de dimensionamento de lote considerando descontos de acordo com o tamanho do lote adquirido, rejeições e atrasos na entrega e garantia de estoque mínimo. A este modelo serão adicionadas as restrições de variação de demanda, limitação nos dias de aquisição e valores mínimos e múltiplos para os determinados lotes. A modelagem do problema foi realizada de acordo com as seguintes premissas:

- A demanda do item é variável e conhecida para cada período no horizonte de planejamento;
- Não são admitidos escassez ou pedidos em atraso;
- A capacidade do fornecedor é finita;
- O custo do pedido se aplica a cada período em que um pedido é colocado ao fornecedor;
- O custo de manutenção de estoque se aplica quando o produto é transportado durante um período no horizonte de planejamento;
- Presume-se que a entregas tardias sejam recebidas no período seguinte;

- Os produtos rejeitados são devolvidos ao fornecedor, tendo seus custos desconsiderados.
- Produtos rejeitados não diminuem o tamanho do lote de compra (na consideração dos descontos de acordo com a quantidade adquirida).
- As entregas tardias são realizadas no período subsequente e assumidas com qualidade perfeita;
- Os lotes poderão ser adquiridos somente em alguns determinados períodos no horizonte de planejamento;
- Os produtos deverão ser adquiridos em lotes mínimos e múltiplos destes.
- O estoque de segurança é previamente definido, período a período.
- Os lotes poderão ser adquiridos somente de acordo com o lote mínimo e as quantidades múltiplas determinadas em cada período.

A formulação matemática, desenvolvida a partir de uma situação problema inspirada em Choudhary & Shankar [2011], é apresentada a seguir:

$$Minimizar\ z = \sum_t \mathrm{p}_{mt} * \mathrm{x}_{mt} * (1 - q_{mt}) + \sum_t \mathrm{y}_t * \mathrm{o}_t + \sum_t \mathrm{ctp}_{mt} * G_{mt} + \sum_t \mathrm{h}_t * \mathrm{I}_t \qquad (1)$$

$Sujeito\ a$:

$$I_{t-1} + \sum_t x_{mt} + \sum_t l_{m(t-1)} * x_{m(t-1)} \geq d_t + \sum_t l_{mt} * x_{mt} + \sum_t q_{mt} * x_{mt} \qquad \forall t \qquad (2)$$

$$I_t = I_{t-1} + \sum_t x_{mt} + \sum_t l_{m(t-1)} * x_{m(t-1)} - \sum_t l_{mt} * x_{mt} - \sum_t q_{mt} * x_{mt} - d_t \qquad \forall t \qquad (3)$$

$$I_t \geq g_t \qquad \forall t \qquad (4)$$

$$x_{mt} \leq M * y_t \qquad \forall t \qquad (5)$$

$$b_{(m-1)(t)} * G_{mt} \geq x_{mt} \leq b_{(m)(t)} * G_{mt} \qquad \forall t \qquad (6)$$

$$x_{mt} \leq C_t * G_{mt} \qquad \forall t \qquad (7)$$

$$\sum_t G_{mt} = y_t \qquad \forall t \qquad (8)$$

$$M * DR_t \geq xm_t \qquad \forall t \qquad (9)$$

$$I_t \leq w \qquad \forall t \qquad (10)$$

$$\sum_t x_{mt} = Lmin * F_t + Lmul * n_t \qquad \forall t \qquad (11)$$

$$M * F_t \geq Lmul * n_t \qquad \forall t \qquad (12)$$

$$y_t, F_t, G_{mt} \in \{0,1\} \qquad (13)$$

$$n_t, I_t, x_{mt} \in \mathbb{Z}^+ \qquad (14)$$

A função objetivo (1) busca minimizar o custo total de: aquisição dos lotes, realização das ordens de compra, transporte e armazenamento. As restrições (2), (3) e (4) são as equações de balanço de inventário. A restrição (2) garante que a quantidade disponível para atendimento da demanda prevista seja superior ao estoque do período anterior acrescido tanto da quantidade solicitada no lote de compra no período, quanto da quantidade de itens entregues em atraso referente solicitação de período anterior, reduzido das quantidades em atraso e rejeitadas no período. A restrição (3) garante que a quantidade de itens que restam em estoque é dada pelo balanço entre os itens que entram e itens que saem do inventário. A restrição (4) garante que em cada período deverá ser garantido uma quantidade mínima em estoque A restrição (5) garante que o comprador não pode realizar um pedido de compra sem considerar um corresponde custo para realização da ordem. As restrições (6), (7) e (8) realizam a estruturação esquemática dos descontos de preço de acordo com o tamanho do lote de compra. A restrição (6) garante que o preço unitário dos itens adquiridos deve ser determinado segundo o tamanho do lote adquirido. A restrição (7) garante que o tamanho do lote de compra deve ser menor do que a capacidade do fornecimento. A restrição (8) garante que apenas uma faixa de preço seja utilizada de acordo com o tamanho do lote de compra em um dado período. A restrição (9) assegura que não ocorrerão entregas em períodos nos quais o comprador não puder realizar a recepção. A restrição (10) assegura que a capacidade de armazenagem não seja excedida. As restrições (11) e (12) definem que os lotes de compra deverão ser dimensionados de acordo com uma quantidade mínima e múltiplas. As restrições (13) e (14) asseguram o formato das variáveis, e suas não-negatividades.

Parâmetros

$Lmin$: Lote mínimo;
$Lmul$: Lote múltiplo;
DR_t: limitação de dias de recebimento;
p_{mt}: custo unitário de aquisição entre o nível de quebra de preço m e m+1 no período t;
o_t:custo de ordem no período t;
ctp_{mt}: custo de transporte do lote no nível de quebra de preço m e período t;
h_t: custo de armazenamento unitário no período t;
q_{mt}: porcentagem de produtos rejeitados entre o nível de quebra de preço m e m+1 no período t;
l_{mt}: porcentagem de produtos atrasados entre o nível de quebra de preço m e m+1 no período t
C_t: capacidade de fornecimento no período t;
w: capacidade de armazenamento do comprador;
d_t: demanda do produto no período t;
g_t: Estoque mínimo adotado como margem de segurança no período t.

Variáveis de Decisão

I_t: Quantidade em estoque no período t;
x_{mt}: Tamanho do lote de acordo com o nível de quebra de preço m no período t;
y_t: variável auxiliar para indicar realização de ordem de compra.
F_t: Variável auxiliar para indicar a quantidade de lote mínimo;
G_{mt}: variável auxiliar para indicar realização de ordem de compra em nível de quebra de preço m e período t;
n_t: Quantidade múltipla de lotes.

5. Ilustração do modelo implementado

O problema apresentado envolve características genéricas de diversos setores produtivos ou de serviços que, dentre outras atividades, realizam a gestão de inventário para o atendimento das suas especificidades de negócios. O modelo foi implementado e resolvido utilizando o software *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio* 12.6 em um hardware com processador *Intel Core i7* de 2,7GHz de processamento e 8Gb de memória RAM.

As tabelas de 1-3 apresentam as informações do cenário 1 de teste. A tabela 1 apresenta os dados de entrada para um cenário com período igual a 7. Neste cenário foram considerados que demanda e estoque de segurança mínimo variavam ao longo do horizonte de planejamento, os demais *inputs* foram assumidos constantes ao longo dos períodos. A tabela 2 apresentam os resultados da função objetivo e das variáveis de decisão: quantidade a ser solicitada e estoque para cada um dos períodos. A tabela 3 apresenta os dados da análise pós processamento para o cenário testado.

Tabela 1- Informações de entrada do cenário 1.

Dados de entrada								
Lote mínimo (un)		100						
Lote múltiplo (un)		50						
Capacidade de armazenamento (un)		250						
Capacidade de fornecimento (um)		2000						
Período		1	2	3	4	5	6	7
Dia de recebimento		1	1	1	1	1	0	0
Custo unitário (R$)	(0-200) (201-400) (>400)	300,00 200,00 150,00	300,00 200,00 150,00	300,00 200,00 150,00	300,00 200,00 150,00	300,00 200,00 150,00	300,00 200,00 150,00	300,00 200,00 150,00
Custo de ordem (R$)		10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Custo de transporte (R$)	(0-200) (201-400) (>400)	300,00 350,00 400,00	300,00 350,00 400,00	300,00 350,00 400,00	300,00 350,00 400,00	300,00 350,00 400,00	300,00 350,00 400,00	300,00 350,00 400,00
Custo armazenamento (R$)		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
% rejeição	(0-200) (201-400) (>400)	0,00 0,00 0,00	0,10 0,10 0,10	0,00 0,00 0,00	0,05 0,05 0,05	0,1 0,1 0,1	0,1 0,1 0,1	0,00 0,00 0,00
% atrasados	(0-200) (201-400) (>400)	0,10 0,10 0,10	0,10 0,10 0,10	0,00 0,00 0,00	0,30 0,30 0,30	0,10 0,10 0,10	0,10 0,10 0,10	0,10 0,10 0,10
Capacidade fornecimento (un)		2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Demanda (un)		100	200	30	200	200	100	100
Estoque mínimo (un)		100	100	170	0	0	100	100

Fonte: [Autores, 2020]

Tabela 2- Resultados obtidos com os dados de entrada do cenário 1.

Resultados							
Período	1	2	3	4	5	6	7
Quantidade solicitada (un)	300	200	100	0	500	0	0

Estoque (un)	170	160	250	50	250	200	100
Função Objetivo	R$ 218.540,00						

Fonte: [Autores, 2020]

Tabela 3- Análise pós processamento dos resultados do cenário 1.

Análise							
Período	1	2	3	4	5	6	7
Quantidade rejeitada (un)	0	20	0	0	50	0	0
Quantidade atrasada (un)	30	20	0	0	50	0	0
Quantidade disponível (un)	270	360	280	250	450	300	200

Fonte: [Autores, 2020]

As tabelas 2 e 3 possibilitam a compreensão esquemática do modelo proposto. O planejamento apresenta os resultados que minimizam os custos envolvidos, considerando a economia de escala de acordo com os níveis de quebra de preço e as capacidades de fornecimento e armazenagem. Verifica-se que a demanda foi atendida em todos os períodos, resultando em um estoque final de 100 unidades ao final do horizonte de planejamento. Em todos os períodos, também são atendidas as quantidades mínimas disponíveis que garante um estoque de segurança. Quanto aos itens rejeitados e em atraso, verifica-se que estes são descontados das quantidades disponíveis em cada período, sendo os itens em atraso recebidos em período subsequente, e as quantidades rejeitadas devolvidas, tendo seu valor descontado no custo total da operação. Também se verifica que todos os lotes se encontram dimensionados de acordo com as quantidades mínimas e múltiplas permitidas.

Um segundo cenário com as características apresentadas na Tabela 4 foi testado de forma a verificar o tempo de processamento para instâncias com maior quantidade de dados de entrada. Os resultados demonstraram baixo tempo de processamento.

Outros cenários também foram testados e verificou-se que, para o horizonte de planejamento de trinta períodos e até seis níveis de quebra de preço, o modelo implementado apresentou resultados em poucos segundos, tendo o aumento da quantidade de níveis de quebra de preço, realizado maior influência neste tempo de processamento, de acordo com os cenários testados.

Tabela 4- Informações de entrada do cenário 2.

Dados de entrada[1]		
Lote mínimo (un)		1000
Lote múltiplo (un)		500
Capacidade de armazenamento (un)		20000
Capacidade de fornecimento (um)		De 20.000 a 100.000
Período		30
Dia de recebimento		Variáveis ao longo do período
Custo unitário (R$)	(0-2000) (2001-10000) (10001-20000) (>20000)	300 200 150 100
Custo de ordem (R$)		200

[1] Para todos os dados são informadas as variações ao longo do período adotado.

Custo de transporte (R$)	(0-2000) (2001-10000) (10001-20000) (>20000)	300 1000 2000 4000
Custo armazenamento (R$)		50
% rejeição	(0-2000) (2001-10000) (10001-20000) (>20000)	De 0 a 10%
% atrasados	(0-2000) (2001-10000) (10001-20000) (>20000)	De 0 a 20%
Capacidade fornecimento (un)		100000
Demanda (un)		De 3000 a 100000
Estoque mínimo (un)		De 1000 a 10000

Fonte: [Autores, 2020]

6. Conclusões

Problemas de dimensionamento de lotes estão presentes nos diversos setores produtivos e apresentam, mesmo dentro de um mesmo setor, uma ampla gama de características que tornam a tomada de decisão da quantidade e do momento de aquisição de lotes, uma tarefa complexa aos gestores. Este trabalho apresenta um modelo para um problema de dimensionamento de lote de produto único com demanda variável, descontos por tamanho de lote e restrições de: rejeição, atraso na entrega, estoque de segurança e limitações na aquisição.

As características e restrições consideradas, não são apresentadas, em perfeito ajuste, na literatura da área. Com a implementação do modelo e a realização dos testes, pode-se concluir que o objetivo do trabalho foi alcançado, visto que tornou possível realizar o dimensionamento dos lotes dentro do horizonte de planejamento considerado.

Assim, este trabalho possibilita a compreensão e implementação dos modelos por parte de desenvolvedores e futuramente a possível aplicação em cenários reais do ambiente industrial, seja pelo perfeito encaixe do modelo, ou por meio de ajustes que se adequem às condições específicas apresentadas.

Um melhor de planejamento dos estoques, possibilita aos tomadores de decisão e gestores de empresas o direcionamento de recursos em atividades que agreguem maior valor aos produtos e/ou possibilitem uma melhor operacionalização de serviços.

Modelos que se adequem as condições de negócio, também possibilitam maior segurança no atendimento à produção e/ou aos clientes. Tais resultados, aliados a uma maior precisão nas previsões de demanda, minimizam a incidência de ruptura de estoque, a ocorrência de efeito chicote e, consequentemente, possibilitam o alcance de alta eficiência na cadeia de suprimentos.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Referências

Absi, N., Dauzère-Pérès, S., Kedad-Sidhoum, S., Penz, B., & Rapine, C. (2016). The single-item green lot-sizing problem with fixed carbon emissions. European Journal of Operational Research, 248(3), 849-855.

Aguiar, F. H. O. D., & Sampaio, M. (2014). Identificação dos fatores que afetam a ruptura de estoque utilizando análise de agrupamentos.

Araujo, S. A. (2003). Modelos e métodos para o planejamento e programação da produção aplicados no setor de fundições 143 f. 2003. Tese de Doutorado. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Ballou, R. H. (2009). Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos-: Logística Empresarial. Bookman Editora.

Belo-Filho, M. A., Toledo, F. M., & Almada-Lobo, B. (2014). Models for capacitated lot-sizing problem with backlogging, setup carryover and crossover. Journal of the Operational Research Society, 65(11), 1735-1747.

Benton, W. C. (1991). Quantity discount decisions under conditions of multiple items, multiple suppliers and resource limitations. The International Journal of Production Research, 29(10), 1953-1961.

Benton, W. C., & Park, S. (1996). A classification of literature on determining the lot size under quantity discounts. European Journal of Operational Research, 92(2), 219-238.

Brahimi, N., Absi, N., Dauzère-Pérès, S., & Nordli, A. (2017). Single-item dynamic lot-sizing problems: An updated survey. European Journal of Operational Research, 263(3), 838-863.

Chaudhry, S. S., Forst, F. G., & Zydiak, J. L. (1993). Vendor selection with price breaks. European Journal of Operational Research, 70(1), 52-66.

Choudhary, D., & Shankar, R. (2011). Modeling and analysis of single item multi-period procurement lot-sizing problem considering rejections and late deliveries. Computers & Industrial Engineering, 61(4), 1318-1323.

Coelho, L. C., Follmann, N., & Rodriguez, C. M. T. (2009). O impacto do compartilhamento de informações na redução do efeito chicote na cadeia de abastecimento. Gestão & Produção, 16(4), 571-583.

Fiorotto, D. J., Jans, R., & De Araujo, S. A. (2017). An analysis of formulations for the capacitated lot sizing problem with setup crossover. Computers & Industrial Engineering, 106, 338-350.

Gruen, T. W., Corsten, D. S., & Bharadwaj, S. (2002). Retail Out of Stocks: A Worldwide Examination of Extent. Causes, and Consumer Responses, Grocery Manufacturers of America, Washington DC.

Karimi, B. et al (2003). The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms Omega, 31(5), 365 – 378.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Pirkul, H., & Aras, O. A. (1985). Capacitated multiple item ordering problem with quantity discounts. IIE transactions, 17(3), 206-211.

Slack, N. et al. (2009). Administração da produção. São Paulo: Atlas.

Wagner, H. M. e Whitin, T. M. (1958). Dynamic Version of the Economic Lot Size Model Management Science, v.5, n.1, p. 89-96.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings