

Gerenciamento de estoques: um estudo de caso na produção de aeronaves

¹Rafael Soares Ribeiro, ¹Amanda Santana Levada, ¹Felipe Mancilha e ¹Jennifer Pires

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo— Este artigo apresenta um estudo de caso em uma indústria de aeronaves do Brasil. Para a produção de aviões a empresa recebe peças de um fornecedor que oferece duas modalidades de entrega: via transporte aéreo e marítimo. O desafio é determinar um plano para gerenciar o estoque e selecionar o meio de transporte mais adequado, respeitando o *lead-time* dos produtos e a capacidade da linha de montagem. A principal contribuição desse trabalho é a proposta de um modelo de programação inteira mista para tratar o problema de seleção de fornecedores com restrições de *lead-time* e estoque de segurança. A implementação computacional mostra que os níveis atuais de estoque de segurança praticados pela empresa são ótimos, podendo haver variação quanto à seleção do modal de transporte.

Palavras-Chave— dimensionamento de lotes, estoque de segurança, seleção de fornecedor.

I. INTRODUÇÃO

A globalização e o aumento da interdependência entre as organizações tem gerado terceirização na produção de peças e serviços. Centrais a esse contexto estão a seleção de fornecedores e o dimensionamento de lotes [1]. Essas decisões são cruciais para minimizar custos de produção e de estoque e para atender às demandas dos clientes. Problemas de dimensionamento de lotes foram extensivamente revisados em [2].

Diversos modelos têm sido desenvolvidos para otimização do planejamento da produção e gestão de estoques. Os modelos de dimensionamento de lotes determinam o tempo ideal de reposição de estoque e o nível de produção e podem ser classificados de acordo com diferentes critérios como: natureza dos dados (determinísticos ou estocásticos), natureza da escala de tempo (contínua ou discreta) entre outros. O modelo de Lote Econômico de Compras (Economic Order Quantity), por exemplo, assume uma escala de tempo contínua, uma taxa de demanda constante e um horizonte de tempo infinito [3][4].

As organizações estão inseridas em um ambiente competitivo, no qual a velocidade de produção e a entrega de produtos de qualidade com menor custo possível tornou-se um requisito. A criticidade da seleção de fornecedores é evidente a partir da atenção significativa na literatura e seu impacto no desempenho organizacional. Seu planejamento estratégico está relacionado ao mais alto nível de tomada de decisão.

Diante disso, este trabalho envolve o desenvolvimento de um modelo para o problema de dimensionamento de lote de

item único e de definição de estoque de segurança para um horizonte de planejamento finito. O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção II apresenta uma revisão da literatura. Na Seção III, o problema industrial estudado é descrito. A formulação do modelo de programação matemática é apresentada na Seção IV. Na Seção V temos os resultados e sua análise, sendo a Seção VI dedicada a avaliação da performance do modelo segundo a teoria de decisões e por fim, a Seção VII traz as conclusões e perspectivas futuras.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

As decisões de seleção de fornecedores afetam várias áreas funcionais da aquisição de matérias-primas e componentes para a produção e entrega dos produtos finais [5]. A maioria das estruturas de seleção de fornecedores na literatura incluem várias fases. Segundo [1], as etapas de tomada de decisão que compõem o processo de seleção dos fornecedores iniciam na preparação, alcançada através da formulação do problema dos diferentes critérios de decisão. Após essa etapa, a pré-qualificação dos potenciais fornecedores e escolhas finais são sucessivamente elaboradas.

De acordo com [5] existem quatro decisões principais relacionadas ao problema de seleção de fornecedores: que produtos ou serviços solicitar, de que fornecedores, em quais quantidades e em quais períodos. Para [1] os critérios preço, entrega, objetivo e qualidades do comprador, bem como a capacidade dos fornecedores de atingir esses objetivos, representam fatores importantes na decisão de quanto pedir aos fornecedores disponíveis.

Na literatura, [6][7] e [8] propuseram um modelo de dimensionamento de lotes de configuração total que usa uma regressão de mínimos quadrados da tabela de preços do fornecedor para estimar os custos fixos e variáveis. Esses custos são então incorporados aos custos de ordenação fixos do comprador para estimar a quantidade de ordem econômica.

[9] apresentaram um procedimento computacional mais eficiente para determinar a quantidade ótima de pedidos ao fornecedor. [10] apresentam o estudo do problema considerando estoque de segurança. [11] propuseram um modelo de programação linear para determinar simultaneamente: prazo de compra, tamanho dos lotes, fornecedores e transportadoras a serem escolhidos de forma a incorrer no menor custo total durante o horizonte de planejamento. [12] apresentou uma política de estoque quase ótima para uma rede de produção e distribuição com múltiplos fornecedores. O modelo proposto por ele é uma síntese de três componentes: (i) análise de estoque nos fornecedores; (ii) análise de demanda e (iii) análise de

Rafael Soares Ribeiro, 18rafaelr@gmail.com, Amanda Santana Levada, amanda.santana92@hotmail.com, Felipe Mancilha, felipe.mancilha@uol.com.br, Jennifer Pires, jenni.elis@hotmail.com.

estoque na fábrica. As decisões no modelo desenvolvido foram feitas por meio de uma estrutura abrangente de custos baseada em distribuição que inclui estoque, transporte e trânsito de componentes na cadeia de suprimentos.

Outro modelo foi proposto por [13] para resolver múltiplos problemas de avaliação e alocação de fornecedores, levando em consideração o custo total da logística e as limitações do comprador. Além disso, seu modelo forneceu um cronograma de entregas, que informa o comprador quando e quanto comprar de cada fornecedor. O tópico a seguir descreve o problema estudado.

III. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O problema abordado nesse artigo trata-se do dimensionamento de lotes integrado com o problema de aquisição de peças numa indústria de aviões (o problema pertence ao sistema de planejamento de requisitos de materiais, ou *Material Requirements Planning* - MRP). Para a fabricação de aeronaves executivas, a empresa compra peças de um fornecedor que oferece duas modalidades de transporte para a entrega: via aéreo e via transporte marítimo. Cada modal apresenta diferentes prazos de entrega e custo.

Atualmente a empresa realiza a compra do material utilizando somente o modal marítimo. Questões de pesquisa e que são de interesse para a empresa são: a investigação das vantagens e desvantagens caso o departamento de compras decida incluir em seu planejamento pedidos entregues via transporte aéreo. A empresa faz uso de estoque de segurança para atenuar os efeitos de variação de demanda e no fornecimento da matéria-prima, sendo de interesse a definição do nível desse estoque, que atualmente é composto por duas unidades.

A empresa fabrica aviões com diferentes especificações nas áreas comercial, executiva e militar. O cronograma de produção indica as demandas mensais e a quantidade esperada de produção mensal que, normalmente, é constante ao longo do tempo.

O foco de pesquisa do presente estudo de caso é o setor de produção de aeronaves executivas. O referido setor geralmente tem como base o fluxo de produção formado por 5 estações que executam etapas de produção, a saber: fuselagem, junção 1, junção 2, equipagem 1 e equipagem 2. Cada etapa possui restrições de precedência e somente uma aeronave ocupa cada etapa de produção por vez. A Figura 1 ilustra a sequência de tarefas de produção na linha e o tempo de duração de cada atividade (em dias). Por exemplo, a etapa Equipagem 2 requer 7 dias de trabalho para sua conclusão. Por meio da Figura 1, tem-se que o ciclo médio de fabricação de uma aeronave é de 20 dias.

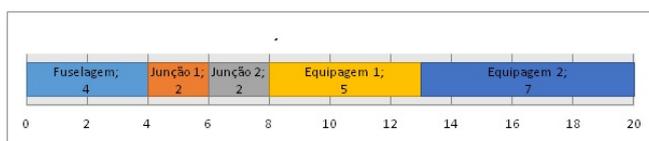


Fig. 1 - Duração em dias das etapas da linha de montagem.

A Equipagem 1 é a etapa em que é feito o acabamento do interior do avião, que deve ser devidamente pressurizado,

o que justifica a precedência pela tarefa de Junção 2 onde é feita a montagem da carcaça do bico do avião. Essa estrutura do avião é o foco do trabalho, pois nela são colocados os itens aqui estudados: para-brisas e janelas laterais, que representam uma importante questão da segurança do avião durante a sua operação.

Observa-se que em termos do desenvolvimento do trabalho, o entendimento do funcionamento da linha de montagem permite estimar a capacidade do sistema de produção. Considerando que na realização de um pedido de peças ocorre um custo de pedido relacionado com a alocação do estoque da fábrica, esse custo é tradicionalmente considerado na literatura de dimensionamento de lotes como um custo de preparação das máquinas para a produção dos itens.

A Figura 2 discrimina o intervalo de tempo em dias para a produção da aeronave considerando o tempo de entrega para os 2 modais de transporte. A produção da aeronave necessita de 20 dias de trabalho independente do meio de transporte selecionado para entrega dos itens. Os prazos de entrega via modal aéreo e via modal marítimo são de 45 e 90 dias respectivamente. Portanto, a utilização do transporte aéreo representaria uma redução de 50% no tempo de entrega e de 40% na taxa de produção em relação ao transporte marítimo. Em contrapartida, o custo do modal aéreo é 220% maior do que o marítimo.

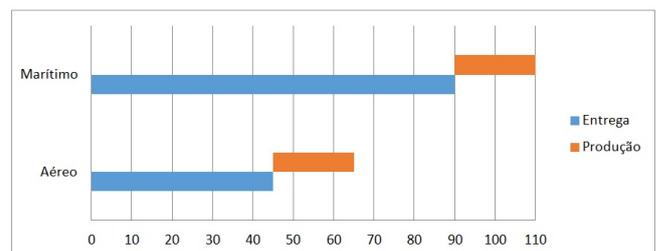


Fig. 2 - Gantt dos setores da cadeia de suprimentos (dias).

A empresa adota uma política de produção baseada na filosofia JIT (*just-in-time*), produzir no último momento para atender imediatamente os pedidos. Isso é condizente com o sistema de produção da empresa, pois ela fabrica produtos customizados, que dependem das especificações de cada cliente.

Tendo o cenário industrial estabelecido, definimos o problema como determinar um plano de produção que minimize os custos de pedido e de estoque e que atenda a demanda de aeronaves, respeitando o *lead-time* dos itens. Os custos considerados são os de estocagem, transporte e de pedido. O plano aqui proposto deve indicar a melhor opção de transporte do fornecedor para cada peça e controlar o nível do estoque de segurança. A seção seguinte apresenta a formulação matemática para o problema.

IV. MODELAGEM MATEMÁTICA

Essa seção apresenta a formulação matemática do problema. Trata-se de um problema de dimensionamento de lotes monoestágio com restrição de capacidade em que a variável de

produção foi modelada como uma variável de transporte – proveniente do problema de localização de facilidades [14].

No problema de localização de facilidades temos conjuntos de clientes e de facilidades, e temos que decidir quais facilidades deverão ser abertas, de modo a minimizar os custos de abertura e de atendimento dos clientes, que pode ser representado como a distância da facilidade ao ponto de demanda. Fazendo alusão ao problema de dimensionamento de lotes, a facilidade representa a produção de um período, o cliente a quantidade de demanda e a distância representa o custo de estocagem.

Índices e Conjuntos

$j \in J$ – Conjunto de meios de transporte.

$t, k \in T$ – Conjunto de períodos.

Parâmetros

h_t – Custo de estocagem no período t .

ct_j – Custo de transporte pelo modal j .

cs_t – Custo de utilização do estoque de segurança no período t .

cp_t – Custo de pedido no período t .

pe_j – Prazo de entrega do modal j .

d_t – Demanda de aviões no período t .

Variáveis de decisão

x_{kt}^j – Quantidade de peças pedidas no período k , transportadas pelo meio j para o atendimento da demanda do período t .

ss_t – Estoque de segurança utilizado para atender a demanda do período t .

y_k – Variável binária que assume valor 1 quando é realizado um pedido no período k e 0 caso contrário.

Formulação matemática

$$\sum_{t \in T} \left(cs_t ss_t + cp_t y_t + \sum_{j \in J} \sum_{k \in T} ((t - k - pe_j) h_t + ct_j) x_{kt}^j \right) \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k=1}^{t-pe_j} x_{kt}^j + ss_t = d_t \quad t \in T \quad (2)$$

$$x_{kt}^j \leq d_t y_k \quad j \in J, t, k \in T \quad (3)$$

$$x_{kt}^j = 0 \quad j \in J, t, k \in T, t - k < pe_j \quad (4)$$

$$x_{kt}^j \geq 0 \quad j \in J, t, k \in T \quad (5)$$

$$ss_t \geq 0 \quad t \in T \quad (6)$$

$$y_k \in \{0, 1\} \quad k \in T \quad (7)$$

A expressão (1) denota a função objetivo que deve ser minimizada e representa o custo total. O custo da variável x_{kt}^j é dado pelo custo de transporte e de estocagem $(t - k - pe_j) h_t$, desde o momento da chegada do produto na fábrica até o período t onde é feita a produção da aeronave. Por fim, as outras parcelas da função denotam o custo de utilização do

estoque de segurança e de pedidos. A restrição (2) garante o atendimento das demandas durante o horizonte de planejamento, pelos itens comprados e pelo estoque de segurança. A limitação do prazo de entrega é tratada nessa restrição. A restrição (3) implica num custo de pedido quando a produção é positiva. As restrições (4) impõem a utilização das peças para o caso onde os pedidos respeitam o tempo de entrega do fornecedor. Esse conjunto de restrições é necessário, pois caso contrário tem-se variáveis com custo negativo na função objetivo. O grupo de restrições (5)-(7) define o domínio das variáveis de decisão do modelo.

V. ESTUDO DE CASO

Nessa Seção apresentamos um estudo do problema. Primeiramente analisamos a estratégia gerada pela resolução do modelo matemático. Posteriormente investigamos alternativas segundo o cálculo diferencial e a teoria de probabilidades e comparamos os resultados com a política da empresa.

A. Ambientes de teste e geração de dados

Para a implementação computacional do modelo matemático foi adotado o pacote de otimização *LPsolve IDE 5.5.2.5* na configuração padrão. Todos os testes computacionais foram feitos em um notebook com processador Intel (R) Core (TM)2 CPU T6600, 2.20GHz com memória RAM 4.0GB, sob o sistema operacional Windows 7. Utilizando como critérios de parada o tempo de execução de 1 hora e GAP de 10^{-4} , onde o GAP representa o erro relativo entre a função objetivo e o melhor limitante inferior encontrado pelo *LPsolve IDE*.

Sobre os dados, tem-se que as informações de demanda são dadas para o período de 1 ano, então nos testes consideramos que cada período de planejamento corresponde a uma quinzena. Todos os custos dos parâmetros do modelo e nos resultados são dados em reais. O custo de estocagem diária por unidade do item é dado por 75 dólares, então tem-se $h_t = 3679$ (considerando a taxa de câmbio 3,27). O custo de utilização do estoque de segurança (cs_t), embora esteja relacionado com o custo de um pedido para a reposição do estoque, é assumido como $10h_t$, a fim de evitar sua utilização. O custo de pedido (cp_k) é estimado com base no esforço de trabalho necessário para o recebimento das peças dado por 5000. Os custos de transporte por modal marítimo e aéreo (ct_j) são de 3800 e 8360, respectivamente. Os prazos de entrega (pe_j) dos modais marítimo e aéreo são de 90 e 45 dias respectivamente, fazendo a conversão de 15 dias por período de planejamento temos $pe_1 = 3$ (avião) e $pe_2 = 6$ (navio). A demanda (d_t) é uniformemente distribuída no intervalo [2,9]. O horizonte de planejamento é de 24 períodos (360 dias).

B. Análise dos resultados

A solução ótima do problema de programação e dimensionamento de lotes foi obtida em 0,042 segundos. Em relação à complexidade do problema, tem-se um conjunto de 24 variáveis binárias e 1176 variáveis contínuas. Na solução ótima, todas as peças foram transportadas por meio de transporte marítimo. A Figura 3 ilustra o plano de produção com a

demanda e a quantidade de aviões produzidos em cada mês. A solução forneceu um plano em que a produção acompanha a demanda.

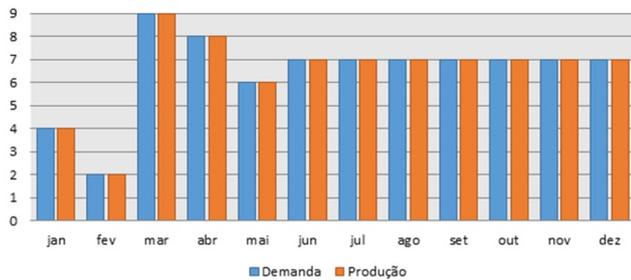


Fig. 3 - Plano de produção proposto.

Foram realizados pedidos ao fornecedor todos os meses do horizonte analisado e isto é justificado por meio do exemplo a seguir. Suponha que no mês de junho não foram realizados pedidos. Então, não haverá itens para o atendimento da demanda de agosto. Para evitar a infactibilidade do problema, o *LPsolver* acusaria o aumento do número de peças encomendadas no mês de maio, gerando um crescimento do nível de estoque. Pela Figura 3 sabe-se que a demanda de agosto equivale a 7 itens. O pedido realizado pela empresa em maio, chegaria na empresa em julho (considerando o *lead-time* de entrega por transporte marítimo), implicando em um custo de estocagem de $2h_t d_8 = 51502$, ou seja, o custo de estocagem é dez vezes maior que o custo de pedido, sendo vantajoso para a empresa, neste caso, a realização dos pedidos todos os meses do horizonte de programação.

Por fim, tem-se que no plano de produção fornecido pelo *LPsolver* a utilização do estoque de segurança ocorreu somente durante os dois primeiros meses (janeiro e fevereiro).

VI. ANÁLISE DO ESTOQUE DE SEGURANÇA

A programação matemática indica que a política de produção da empresa é eficiente para o problema. Nesta seção é de interesse estabelecer um nível para o estoque de segurança e produção segundo o cálculo diferencial e a teoria de probabilidades.

A. Cálculo da produção

Suponha-se que o fornecimento e a quantidade das peças por entrega é estabelecido por um contrato anual. É do interesse da indústria determinar um nível ótimo de produção ou de compra.

Sendo assim, assumindo demanda constante ao longo do tempo, pode-se modelar o problema industrial como o problema do lote econômico. Sejam x o número de itens encomendados, K o custo de pedido, D a demanda média mensal e h o custo de estocagem mensal, define-se por $f(x)$ (expressão (8)), à função que representa o custo total da empresa (custo de pedido e de estoque).

$$f(x) = \frac{KD}{x} + \frac{hx}{2} \quad (8)$$

Derivando $f(x)$ e igualando a zero, tem-se:

$$f'(x) = -\frac{KD}{x^2} + \frac{h}{2} = 0 \rightarrow x = \sqrt{\frac{2KD}{h}} \quad (9)$$

Substituindo os parâmetros pelos dados obtidos do estudo de caso temos:

$$x = \sqrt{\frac{2KD}{h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5000 \cdot 7}{7356}} \cong 3 \quad (10)$$

Portanto, a fim de minimizar os custos é ideal a encomenda de lotes de 3 peças a cada pedido. Logo deve ser realizado 3 pedidos durante o mês, de modo suprir a taxa de demanda e minimizar o custo de estocagem.

Na configuração atual, a empresa realiza a encomenda de 4 itens por pedido, portanto a abordagem matemática permite um saldo negativo de uma peça. Agora pode-se estimar a economia relacionada. Suponha-se que 4 peças tenham que atravessar a linha de montagem (Figura 1). Para a quarta peça sair do estoque e entrar na linha temos que o *makespan* das atividades até completar a junção 2 (foco desse trabalho) é de: 8 dias (montagem do primeiro avião) acrescentado de 2 dias de trabalho na junção 2, para cada peça em estoque (duas peças) dando o total de 4 dias. Então o quarto item paga um custo de estocagem durante 12 dias, o que implica numa economia de 2943 unidades de custo.

B. Cálculo do estoque de segurança

Da teoria de probabilidades tem-se que os dados da demanda podem ser aproximados por uma distribuição normal com média (μ) e desvio padrão (σ). Na Figura 4 tem-se uma representação do gráfico da distribuição normal, com média e desvio padrão calculados segundo a planilha de demandas da empresa.

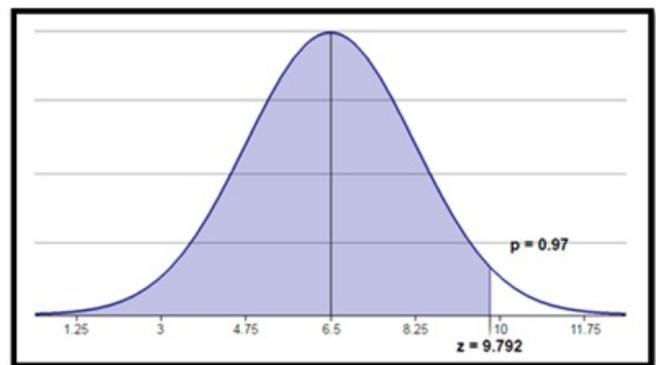


Fig. 4 - Gráfico da distribuição da demanda

O estoque de segurança (δ) é calculado por meio da equação:

$$\delta = z \cdot \sigma \cdot \sqrt{L} \quad (11)$$

Onde z é definida como a variável da distribuição e L o tempo de ciclo do pedido, isto é, o *lead-time* para a entrega do pedido ao cliente desde que o pedido foi realizado (Figura 2), dado em meses.

Assumindo o nível de serviço de 97% tem-se $z = 9.792$ (Figura 4). Calculando o estoque de segurança para o transporte de navio (δ_n) e de avião (δ_a) tem-se:

$$\delta_n = 9,792.1,7559.\sqrt{\frac{110}{30}} = 32,92 \quad (12)$$

$$\delta_a = 9,792.1,7559.\sqrt{\frac{65}{30}} = 25,31 \quad (13)$$

Para cada mês é promissor um estoque de segurança com as quantidades acima propostas, logo para cada dia devemos ter $\delta_n = 1,1$ e $\delta_a = 0,84$.

Portanto, pelo estudo desenvolvido e considerando o modal marítimo, é necessário manter um estoque de segurança de 1 unidade para manter um alto nível de serviço, isto é, um atendimento de qualidade e sem atrasos. Porém, a utilização do modal aéreo, embora tenha um custo mais elevado, pode reduzir o nível de estoque de segurança. Esses resultados contrapõem a política atual da empresa, que utiliza um estoque de segurança de 2 peças, o que resultaria numa economia anual de 88275 unidades de custo.

VII. CONCLUSÕES

O problema de dimensionamento de lotes de item único, com único fornecedor, múltiplos modais de entrega e horizonte de planejamento finito foi abordado neste artigo, com desenvolvimento de um modelo de programação linear para o levantamento de soluções e análises. O problema possui complexidades derivadas dos problemas de seleção de fornecedores, localização de facilidades, planejamento da produção e planejamento de requisitos de materiais (*Material Requirements Planning – MRP*). O objetivo do modelo proposto é a otimização de processos, com minimização de custos de pedido e de estoque, pertinentes a área de pesquisa operacional.

Problemas de dimensionamento de lotes vem sendo estudados aplicando-se diferentes técnicas de análise que variam de pontuação ponderada simples a programações matemáticas complexas. O artigo traz as seguintes contribuições: (1) apresentação de um quadro abrangente e sistemático quanto ao estudo de problemas de dimensionamento de lotes monoestágio com restrições de capacidade; (2) uso de um estudo de caso real, demonstrando a aplicabilidade do modelo desenvolvido e das análises que dele surgirem; (3) fornecimento de dados e informações concretas para auxiliar os tomadores de decisões da empresa. O modelo matemático e sua implementação computacional se mostraram eficientes no estudo do problema e análise de alternativas de tamanho de lote, período de pedido e modal de transporte.

Para estudos futuros, é sugerida a aplicação do modelo para o caso com múltiplos itens, abordando o problema de dimensionamento de lotes multiestágio. A seleção de heurísticas e *softwares* de resolução de modelos também podem melhorar os resultados e análises obtidos. Finalmente esse estudo demonstrou que a política *just-in-time* é eficiente para tratar esse problema industrial, então uma oportunidade de pesquisa seria o estudo de métodos apropriados para a previsão de demanda.

REFERÊNCIAS

- [1] AISSAOUI, N.; HAOUARI, M.; & HASSINI, E. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: a review. *Computers & Operations Research*, (34), 3516-3540.
- [2] BAHL, H. C.; & GUPTA, J. N. D. (1987). Operational Research practice – Determining lot sizes and resource requirements: a review, (35), 329-345.
- [3] JANS, R.; & DEGRAEVE, Z. (2008). Modeling industrial lot sizing problems: a review. *International Journal of Production Research*, (46:6), 1619-1643.
- [4] BRAHIMI, N.; ABSI, N.; DAUZÈRE-PÉRÈS, S.; NORDLI A. (2017). Single-item dynamic lot-sizing problems: an updated survey. *European Journal of Operations Research*.
- [5] SONGHORI, M; AZADEH, A.; KHAKBAZ, M. (2010). A supplier selection and order allocation model with multiple transportation alternatives. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 366-376.
- [6] BRITNEY, R.; KUZDRALL, P. J.; FARTUCH, N. (1983). Full fixed cost recovery lot sizing with quantity discounts. *Journal of Operations Management*, (3), 131-140.
- [7] BRITNEY, R.; KUZDRALL, P. J.; FARTUCH, N. (1983). Note on total setup lot sizing with quantity discounts. *Decision Sciences*, (14), 282-291
- [8] KUZDRALL, P. J.; BRITNEY, R. (1982). Total setup lot sizing with quantity discounts. *Decision Sciences*, (13), 101-112.
- [9] RUBIN, P. A.; DILTS, D. M.; BARRON, B. A. (1983). Economic order quantity discount: Grandma does it best. *Decision Sciences*, (14), 270-281.
- [10] AOUADNI, S.; REBAI, A. (2013). Lot-sizing problem with supplier selection considering safety stock. *IEEE*, 766-769.
- [11] CHOUDHARY, D.; SHANKAR, R. (2013). Joint decision of procurement lot-size, supplier selection, and carrier selection. *Journal of Purchasing Supply Management*, (19), 16-26.
- [12] GANESHAN, R. (1999). Managing supply chain inventories: A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model. *International Journal of Production Economics*, (59), 341-354.
- [13] GHODSYPOUR, S. H.; O'BRIEN, C. (2001). The total cost of logistics in supplier selection under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International Journal of Production Economics*, 73 (1), 15-27.
- [14] ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. (2007). Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia. Elsevier, Editora Campus, Capítulo 3, 200-215.