

PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA QUANTITATIVA PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES

Jorge Arnaldo TROCHE-ESCOBAR (UFBA) E-mail: jorge.troche@gmail.com

Resumo

O presente trabalho visa a proposição de um modelo de decisão para as empresas e como suporte perante a crescente competitividade e busca de estratégias para aumentar a eficiência e redução de custos. Estes fatores desencadearam num aumento da complexidade nas operações da cadeia de suprimentos, com decisões de outsourcing de operações, globalização, entre outros. Assim, o problema de seleção de fornecedores ganhou importância como alternativa para a redução de custos, tempos de entrega e aumento da qualidade na cadeia de fornecimento. A metodologia de pesquisa é quantitativa, envolvendo a formulação de um modelo matemático para seleção de fornecedores em cadeias de suprimentos, na abordagem do vendor selection problem (VSP). Após a formulação do modelo, são testados uma série de situações através do software Matlab® de forma a obter resultados comparativos que permitam a avaliação de cada cenário.

Palavras-chaves: cadeia de suprimentos, modelos matemáticos, fatores de decisão, vendor selection problem (VSP).

1. Introdução

A crescente competitividade exige às empresas a busca de estratégias para aumentar a eficiência e redução de custos. Levando com mais frequência para um aumento da complexidade nas operações da cadeia de suprimentos, incluindo decisões de outsourcing de operações, globalização, etc.

Neste sentido, a construção de uma robusta cadeia de suprimentos tem ganho prioridade. Pois grande parte dos objetivos da empresa possui uma dependência direta do suprimento de produtos e materiais sem atrasos, a um preço competitivo, e sem comprometer a qualidade. Cabe por tanto, conhecer a real capacidade de resposta da rede de fornecedores, sendo imperativo os mecanismos de seleção ou qualificação.

As metodologias de seleção ou qualificação de fornecedores incluem o método de apoio à decisão multicritério, teoria *fuzzy*, programação matemática, *data envelopment analysis* (DEA), métodos estatísticos, ponderação linear, inteligência artificial, *total cost of ownership* (TCO), e *data mining* (VIANA; ALENCAR; 2012). Os novos modelos de decisão incluem cada vez maior variedade de fatores de decisão como a tecnologia, serviço ao cliente, reputação, etc. Neste sentido, os métodos que englobam custo, tempo de entrega e qualidade como fatores de decisão, continuam sendo frequentemente usados, mesmo podendo ser considerados como tradicionais, pois esses três fatores continuam sendo considerados como os mais importantes por um grande número de empresas.

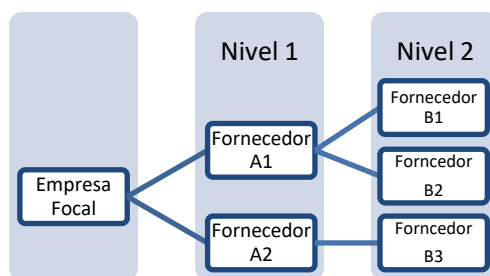
O problema de seleção de fornecedores ganhou importância enquanto busca pela redução de custos, tempos de entrega e aumento da qualidade na cadeia de fornecimento. A abordagem do problema de seleção de fornecedores (*vendor selection problem*; VSP) envolve a seleção de um fornecedor específico ou a assinatura de cotas entre determinado grupo de fornecedores (KUMAR et al., 2004). Estas duas alternativas são críticas no momento do design da cadeia de abastecimento, pois os fornecedores têm um rol fundamental para a estratégia logística da empresa. Uma configuração adequada permitirá uma melhor consecução dos objetivos, como ser: prazos de entrega, redução de custos, melhoria contínua, redução de prazos de entrega, entre outros.

O objetivo do presente trabalho definição de um processo de decisão envolvendo os principais critérios de decisão no momento de escolher o qualificar os fornecedores, como ser: o preço do produto, a qualidade e o tempo de entrega. De esta forma descreve o processo de aplicação de um modelo matemático para seleção de fornecedores em cadeias de suprimentos e a posterior avaliação desse modelo por meio do software comercial Matlab®.

2. O problema de seleção de fornecedores

O problema de seleção do vendedor (VSP) consiste na configuração da rede de abastecimento de uma empresa (Figura 1). No entanto pode ser considerado um problema complexo (WEBER; CURRENT, 1993; KUMAR et al., 2004; SAWIK, 2011), pois pode envolver vários critérios de decisão como ser: custo, prazos de entrega, taxa de atrasos, localização, descontos por volumes, entre outros.

Figura 1 - Rede de abastecimento teórico para uma empresa focal



Fonte: Adaptado de Balhou (2006)

Além disto, as informações relacionadas aos critérios de decisão podem não estar disponíveis ou serem por vezes imprecisas. Sendo assim uma das suas principais críticas a subjetividade no momento de assignar a importância de cada critério de decisão. Para diminuir essa subjetividade, são utilizadas diferentes ferramentas, desde a formação de equipes de especialistas até a inteligência artificial. Outro recurso importante é a formação de cenários, onde diferentes situações podem ser testadas e os resultados comparados para finalmente optar pelo cenário mais conveniente desde o ponto de vista dos objetivos da empresa.

Um breve resumo sobre os métodos de resolução de problemas de seleção de fornecedores presentes na literatura é apresentado no Quadro 1, baseado nos estudos de Hu et al. (2016). Outra revisão detalhada de literatura sobre o assunto pode ser encontrada em Viana e Alencar (2012).

Quadro 1. Metodologias para seleção de fornecedores presentes na literatura

Autor	Método
Kumar et al. (2004)	Aplicou conjuntos difusos (fuzzy) para formular o problema de seleção de fornecedor por programação multiobjectivo inteira (MIP_VSP), minimizando os custos de pedido, entrega de pedidos com atraso e rejeição de itens.
Kumar et al. (2008)	Aplicação de técnicas de AHP (Analitical Hierarchy process) e programação linear difusa para seleção de fornecedor com minimização de custos.
Lee (2009)	Classificação de fornecedores segundo o desempenho, oportunidades de marketing, custo e risco. Posteriormente seleção de fornecedores com técnica AHP difusa.
Kokangul e Susuz (2009)	Utilização de AHP e programação não linear para formular uma função objetivo a maximizar o valor total de pedido e minimizar o custo total de pedido, selecionando fornecedores e alocação de ordens.

Mafakheri et al. (2011)	Aplicação de técnica AHP para classificar potenciais fornecedores, e posteriormente goal programming para maximizar o valor total de pedido e minimizar o custo total de pedido.
Shaw et al. (2012)	AHP e objetivos difusos para selecionar fornecedores. O AHP difuso (fuzzy) é empregado para a assignação de pesos, para posterior utilização em goal programming para seleção de fornecedor.
Qian (2014)	Análise de fatores para seleção de fornecedores, tais como: custo de pedido, desempenho na entrega, produção lean. Consideração destes fatores em diferentes mercados com e sem certeza de demanda para balance de desempenho e seleção de fornecedor.
Choudhary e Shankar (2014)	Formulação de um modelo de programação para resolução sobre inventários, seleção de fornecedor, e transporte pelo modelo goal programming, com a comparação de soluções para identificação de vantagens e desvantagens dos diferentes métodos.
Kar (2015)	Combinação de redes algoritmos neurais, AHP, e modelos difusos para seleção de fornecedores.
Scott et al. (2015)	Combinação de AHP e desdobramento da função da qualidade (QFD) para pesquisar sobre requerimentos de stakeholders na seleção de fornecedor.

Fonte: Adaptado de Hu et al. (2016).

Segundo Viana e Alencar (2012) pode ser identificado uma predominância na literatura dos métodos de apoio à decisão multicritério, que aparecem em 50% das publicações analisadas. Também segundo o mesmo estudo, a seguir destacam-se os modelos com base na teoria fuzzy (25%), que aparecem predominantemente nos trabalhos mais recentes, seguidos pela programação matemática (23%), que incluem programação linear, linear multiobjetivo, inteira mista, inteira mista multiobjetivo ou dinâmica (VIANA; ALENCAR, 2012).

O VSP é tipicamente um problema de tomada de decisão multicritério (KUMAR et al., 2008). A metodologia de análise proposta aqui é denominado na literatura internacional como *Mixed integer programming for Vendor Selection Problem* ou MIP_VSP (KUMAR et al., 2004; WU et al., 2006). Consiste na determinação de um fator de decisão que integra três variáveis: custo, tempo de entrega e nível de rejeição.

O método de integração mais utilizado é conhecido como o método dos pesos, onde cada um dos fatores recebe um valor ou peso (KUMAR et al., 2004; WU et al. 2006). O valor do peso assignado pode ser equivalente entre todos os fatores, ou cada fator pode receber um peso diferente segundo a sua importância, desde que a soma de todos os pesos seja equivalente ao 100%. De esta forma a utilização de pesos para resolução de problemas é baseado em que diferentes empresas assignam uma importância para critério de decisão, não sendo sempre o mesmo.

2. Metodologia

A metodologia de pesquisa é quantitativa (SAUNDERS et al. 2007), envolvendo a formulação de um modelo matemático para seleção de fornecedores em cadeias de suprimentos, na abordagem do vendor selection problem ou VSP (KUMAR et al., 2004).

Após a formulação do modelo, são testados uma série de situações através do software Matlab® de forma a obter resultados comparativos que permitam a avaliação de cada cenário. Como dados experimentais foram utilizados os dados de uma rede de fornecedores da indústria farmacêutica dos Estados Unidos, apresentados originalmente na publicação de Weber e Desai (1996). Estes dados também serviram de base para os estudos de Talluri e Narasimhan (2002).

Para uma melhor interpretação dos resultados, são utilizados os dados de três fornecedores (vendedor 1, 2, e 5) dos seis possíveis. Esta decisão na entrada dos dados experimentais também obedece à limitação na extensão do artigo.

O problema proposto e o conjunto de restrições foram modelados a traves do software Matlab® na versão R2012b-(8.0.0.873). Para a resolução, foi utilizada a ferramenta *fmincon*, pois ela encontra mínimos para funções multivariáveis com restrições, como detalhado na definição no próprio help do Matlab®:

Fmincon: Tenta encontrar um mínimo limitado de uma função escalar de várias variáveis a partir de uma estimativa inicial. Isso é geralmente chamado de otimização não linear ou programação não-linear.

Finalmente são apresentados e discutidos os resultados, incluindo a identificação das limitações do estudo e a possibilidade de estudos mais aprofundados.

3. Definição e formulação do problema

3.1. Restrições e definição de variáveis

Na definição inicial do problema, parte-se das seguintes considerações:

- a) Somente um tipo de item (X) é abastecido desde cada fornecedor;
- b) Não são considerados descontos por quantidade;
- c) Não é permitida alteração das quantidades a entregar por qualquer vendedor;

d) A demanda dos itens é constante e conhecida com certeza.

Índices:

i: índice do vendedor, para cada $i=1,2,\dots,n$

Variável de decisão:

X_i : quantidade ordenada para cada vendedor i .

Parâmetros:

D: Demanda global do item a ser atendido

P_i : preço de uma unidade do item X_i ordenado desde o vendedor i

R_i : percentagem de unidades enviadas desde o vendedor i e que são rejeitadas

A_i : percentagem de unidades enviadas/entregues com atraso desde o vendedor i

W_j : peso assignado a cada critério de decisão, $j=1,2,3$.

3.2. Modelo matemático e critérios de decisão

Os três objetivos que conformam a formulação do MIP_VSP são:

Minimizar o custo líquido para todos os itens: Minimizar $Z_1 = \sum_{i=1}^n P_i \cdot (X_i)$

Minimizar o nível de itens rejeitados para cada fornecedor: $Z_2 = \sum_{i=1}^n R_i \cdot (X_i)$

Minimizar o nível de entregas com atraso desde os fornecedores: Minimizar $Z_3 = \sum_{i=1}^n A_i \cdot (X_i)$

Desta forma a equação geral que representa o modelo será: **$Min Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 \dots$** (1)

Sujeito às seguintes restrições:

$$D = \sum_{i=1}^n X_i = 1 \quad \text{Restrição da demanda global dos itens definida como a unidade de produto} \quad \dots (2)$$

$$1 \geq X_i \geq 0; e \text{ inteiro} \quad \text{Não negatividade de pedidos ou ser igual à unidade.} \quad \dots (3)$$

A equação (2) estabelece o de uma unidade do produto como pedido a ser atendido. A equação (3) por sua vez as condições de não negatividade de um pedido atendido por cada fornecedor, assim como o limite de stock de uma unidade de produto em cada fornecedor. Desta forma espera-se que a soluções do conjunto de equações escolha um único fornecedor para cada cenário proposto.

3.3. Questões propostas para avaliação no modelo

São propostas as seguintes questões para avaliar no modelo:

- a) Testar no modelo a seleção do fornecedor segundo diferentes cenários: sem correção de pesos; com pesos equitativos: $w_1=w_2=w_3=1/3$, cenário de custo ideal $w = (1 \ 0 \ 0)$; quantidade ideal de rejeições $w = (0 \ 1 \ 0)$; cenário de tempo ideal de atraso $w = (0 \ 0 \ 1)$.
- b) Gerar o gráfico de análise comparativo para as variáveis de decisão.

3.4. Dados experimentais

Os dados experimentais para testar o modelo (Tabela 1) corresponde a uma rede de fornecedores da indústria farmacêutica dos Estados Unidos. Estes dados foram apresentados originalmente na publicação de Weber e Desai (1996) e também utilizados na publicação de Talluri e Narasimhan (2002).

Tabela 1: Dados experimentais para uma rede de fornecedores.

Variável	Medida	Vendedor 1	Vendedor 2	Vendedor 5
P	Preço por unidade (\$/und.)	0.1958	0.1881	0.2118
R	Rejeições (%)	1.2	0.8	2.3
A	Entregas com atraso (%)	5.0	7.0	3.0

Fonte: Weber e Desai (1996); Talluri e Narasimhan (2002).

4. Resultados e Discussão

Em primeiro lugar, a definição da função objetivo a minimizar (da equação 1, ajustada com os pesos):

$$\text{Min } Z = w_1.Z_1 + w_2.Z_2 + w_3.Z_3$$

$$\text{Min } Z = w_1.\Sigma(P_i.x_i) + w_2.\Sigma(R_i.x_i) + w_3.\Sigma(A_i.x_i)$$

$$\text{Min } Z = (w_1.P_1.x_1 + w_1.P_2.x_2 + w_1.P_3.x_3) + (w_2.R_1.x_1 + w_2.R_2.x_2 + w_2.R_3.x_3) + (w_3.A_1.x_1 + w_3.A_2.x_2 + w_3.A_3.x_3)$$

$$\text{Min } Z = (w_1.P_1 + w_2.R_1 + w_3.A_1).x_1 + (w_1.P_2 + w_2.R_2 + w_3.A_2).x_2 + (w_1.P_3 + w_2.R_3 + w_3.A_3).x_3 \dots (5)$$

Aqui:

- P1, P2, P3, R1, R2, R3, A1, A2, e A3 são dados (tabela 1); assim, cada somatória no parêntesis da equação (4) serão substituídos pelos índices a, b, c, cujos valores serão conhecidos.
- w1, w2 e w3 são os pesos a serem assignados na equação segundo cada cenário a ser avaliado.

Finalmente a função objetivo fica resumida em: $\text{Min } Z = a.x_1 + b.x_2 + c.x_3$

A seguir, a segunda etapa do estudo que envolve o teste de cenários. Para isso foi criado um arquivo .m no software matlab® contendo a função a minimizar. Também é criado outro script no matlab para a utilização do *toolbox fmincon*, junto com a configuração das restrições.

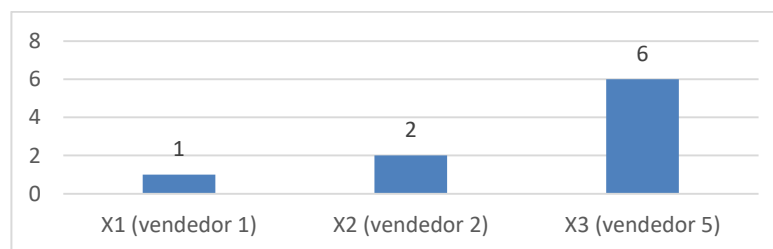
Uma vez configurado os arquivos, foram testados os diferentes cenários, primeiro sem utilização dos fatores de peso w1, w2 e w3; e a seguir diferentes casos para avaliação, resultando em 8 cenários segundo detalhado na tabela 2. Na mesma tabela são apresentados os resultados gerados pelo software enquanto a figura 2 apresenta um resumo da frequência em que cada um dos fornecedores foi selecionado.

Tabela 2 - Resultados do estudo.

Cenários				Coeficientes para x_i			Resultados			
Nro.	w1	w2	w3	a	b	c	x1	x2	x3	Fval
1	N/A	N/A	N/A	6,40	7,99	5,51	0	0	1	5,51
2	0,33	0,33	0,33	2,11	2,64	1,82	0	0	1	1,82
3	0,6	0,3	0,1	0,98	1,05	1,12	1	0	0	0,98
4	0,1	0,3	0,6	3,38	4,46	2,51	0	0	1	2,51
5	1	0	0	0,20	0,19	0,21	0	1	1	0,19
6	0	1	0	1,20	0,80	2,30	0	1	0	0,8
7	0	0	1	5,00	7,00	3,00	0	0	1	3
8	0,3	0,1	0,6	3,18	4,34	2,09	0	0	1	2,09

Fonte: Resultado do estudo obtidos com o software Matlab®.

Figura 2 - Frequência de escolha de fornecedor para os cenários propostos.



Fonte: Resultado do estudo.

Desta forma podemos analisar os diferentes cenários resultantes (tabela 2 e figura 2). O fornecedor 5 foi selecionado em maior número de cenários, apresentando assim melhor desempenho para uma maior variedade de situações. O vendedor 2 foi selecionado em duas situações, sendo elas quando consideramos prioritários apenas um dos fatores, seja o preço ou qualidade dos itens, isto coincide com a informação apresentada na tabela 1, onde o fornecedor 2 oferece melhores índices de preço y nível de rejeição. Por sua parte, o fornecedor 1 foi selecionado somente numa situação, podendo ser considerado o fornecedor menos favorável para diferentes cenários.

4. Considerações finais

O problema de seleção de fornecedor (VSP) estudado no presente trabalho visa a configuração da rede de abastecimento de uma empresa, com uma série de critérios de decisão com frequência considerados como os mais importantes, a tríade preço, qualidade e tempo de entrega. Estes três fatores são determinantes na hora de pontuar os fornecedores e tomar possíveis decisões como troca de fornecedores ou alteração dos pedidos futuros.

O método de pesos, uma variante do problema, permite a correção das variáveis, por meio da distribuição de importância a cada fator (WEBER; CURRENT, 1993). Neste procedimento deve ser considerada a importância no momento de considerar os pesos para cada um dos fatores, pois caso contrário, podem trazer erros nos resultados.

O processo metodológico proposto conseguiu resolver cada cenário específico, escolhendo um fornecedor específico para cada caso. Isto finalmente permitiu resumir e classificar os fornecedores segundo a frequência em que foram escolhidos. No entanto, é importante considerar que o estudo não considerou outras restrições adicionais que podem ser considerados chaves em determinadas situações, como a limitação de capacidade para alguns dos fornecedores, quebre no fornecimento por parada de produção, variação na demanda, etc.

A metodologia de solução proposta no presente trabalho pode ser considerada limitada, pois existem algoritmos de resolução mais complexos, como o *goal assignment*, algoritmos genéticos, entre outros. No entanto, pode ser considerado como um estudo exploratório para melhor entendimento do problema.

Desta forma, espera-se que trabalhos futuros incluam dados reais obtidos em estudos de caso com empresas locais, além de mais restrições, como capacidade de fornecedores, além de incluir uma demanda global para o item.

REFERENCIAS

BALLOU, R. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística empresarial** 5ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CHOUDHARY, D.; SHANKAR, R. A goal programming model for joint decision making of inventory lot-size, supplier selection and carrier selection. **Computers & Industrial Engineering**, 71(1), 1–9, 2014.

- HU, H.; XIONG, H.; YOU, Y.; YAN, W. A Mixed Integer Programming Model for Supplier Selection and Order Allocation Problem with Fuzzy Multiobjective. **Scientific Programming**, 1-13, 2016.
- QIAN, L. Market-based supplier selection with price, delivery time, and service level dependent demand. **International Journal of Production Economics**, 147, 697–706, 2014.
- KAR A. K. A hybrid group decision support system for supplier selection using analytic hierarchy process, fuzzy set theory and neural network. **Journal of Computational Science**, 6, 23–33, 2015.
- KOKANGUL A.; SUSUZ, Z. Integrated analytical hierarch process and mathematical programming to supplier selection problem with quantity discount. **Applied Mathematical Modelling**, 33(3), 1417–1429, 2009.
- KUMAR, M.; VRAT, P.; SHANKAR, R. A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain, **Computers & Industrial Engineering**, 46(1), 69–85, 2004.
- KUMAR, P.; SHANKAR, R.; YADAV, S. S. An integrated approach of analytic hierarchy process and fuzzy linear programming for supplier selection. **International Journal of Operational Research**, 3(6), 614–631, 2008.
- LEE, A. H. I. A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks **Expert Systems with Applications**, 36(2), 2879–2893, 2009.
- MAFAKHERI, F.; BRETON; M.; GHONIEM, A. Supplier selection order allocation: a two-stage multiple criteria dynamic programming approach. **International Journal of Production Economics**, 132(1), 52–57, 2011.
- SAW, K; SHANKAR, R.; YADAV, S. S.; THAKUR, L. S. Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. **Expert Systems with Applications**, 39(9), 8182–8192, 2012.
- SAWIK, T. Supplier selection in make-to-order environment with risks, **Mathematical and Computer Modelling**, 53 (9 -10) 1670–1679, 2011.
- SAUNDERS, M., LEWIS, P., e THORNHILL, A., **Research Methods for Business Students**, 4ta Edição, Edinburg Gate: Financial Times-Prentice Hall, 2007.
- SCOTT, J.; HO, W.; DEY, P. K.; TALLURI, S. A decision support system for supplier selection and order allocation in stochastic, multi-stakeholder and multi-criteria environments. **International Journal of Production Economics**, 166, 226–237, 2015.

- TALLURI, S.; NARASIMHAN, R. Vendor evaluation with performance variability: A max–min approach, **European Journal of Operational Research**, 146, 543–552, 2003.
- VIANA, J. C.; ALENCAR, L. H. Metodologias para seleção de fornecedores: uma revisão da literatura. **Produção**, 22(4), 625–636, 2012.
- WEBER, C.; CURRENT, J. R. A multiobjective approach to vendor selection, **European Journal of Operational Research**, 68(2), 173–184, 1993.
- WEBER, C.A., DESAI, A., 1996. Determination of paths to vendor market efficiency using parallel coordinates representation: A negotiation tool for buyers. **European Journal of Operational Research**, 90 (1), 142–155.