

**MODELO MULTICRITÉRIO DE DESEMPENHO PARA ESCOLHA DE FORNECEDORES
INCLUINDO UMA PERSPECTIVA ECOLÓGICA**

LUIZ EDUARDO SIMÃO

luiz.es@univali.br

MODELO MULTICRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO PARA ESCOLHA DE FORNECEDORES: UMA PERSPECTIVA ECOLÓGICA

RESUMO

A seleção de fornecedores é uma decisão estratégica de compra que afeta o desempenho total de cada empresa. Essa decisão é um problema multicritério e um processo complexo que requer o uso de vários critérios frequentemente conflitantes. Este artigo tem como objetivo apresentar um modelo analítico multicritério para analisar a decisão de escolha de fornecedores com a estratégia de *outsourcing offshore*, incluindo critérios ecológicos. Para tratar o problema de seleção de fornecedores, propõe-se uma abordagem de solução baseada em modelo multicritério de programação matemática mista com uso do software de otimização solver do excel. Ao final, um caso numérico é apresentado considerando dois produtos com descontos por quantidades com opção de dois fornecedores, sendo que os resultados mostram que a abordagem tem bom potencial de aplicação prática.

PALAVRAS CHAVE. Outsourcing. Programação mista. Emissão CO₂

ABSTRACT

Selecting suppliers is a strategic buying decision that affects the overall performance of each company. This decision is a multicriteria problem and a complex process that requires the use of several frequently conflicting criteria. This article aims to present a multicriteria analytical model to analyze the decision to select suppliers with the strategy of offshore outsourcing, including ecological criteria. To address the supplier selection problem, a solution approach based on a multi-criteria model of mixed mathematical programming is proposed using the excel solver optimization software. At the end, a numerical case is presented considering two products with quantity discounts with option of two suppliers, and the results show that the approach has good potential for practical application.

KEYWORDS. Outsourcing. Offshore. Linear programming. CO₂ emission

1. Introdução

O outsourcing ou terceirização pode ser definido como a compra de serviços, produtos semiacabados, componentes ou produtos acabados de empresas externas quando antes esses elementos eram tradicionalmente fornecidos internamente (Domberger et al 2002). O outsourcing exige intenso intercâmbio de informações e coordenação entre os compradores e os fornecedores. O *outsourcing*, *offshore sourcing* ou *offshoring*, se consolidaram como uma tendência irreversível capaz de alterar os padrões de competição global impulsionado pela possibilidade da realização de atividade com menores custos e com pessoal mais qualificado. Representam uma nova tendência semelhante as que ocorreram anteriormente nas atividades de manufatura, com o deslocamento do eixo produtivo para países em desenvolvimento (Dibbern et al 2004; Jagersma e van Gorp 2007).

Existe uma confusão frequente entre *outsourcing*, *outsourcing offshore* e *offshoring*. De forma geral, o *outsourcing* (terceirização) ocorre quando um fornecedor está localizado no mesmo país do comprador. Quando um fornecedor está localizado em outro país, a terceirização torna-se *outsourcing offshore*. Em ambos os casos, o comprador move um processo interno para uma empresa externa ou, para simplificar, o processo a ser terceirizado diz respeito a uma parte do sistema de produção ou de um serviço. Por fim, quando um processo empresarial como um todo é transferido para outro país, usamos o termo *offshoring*. Além disso, a terceirização não deve ser confundida com a subcontratação. Subcontratação refere-se a tarefas ou serviços que são simplesmente entregues a uma empresa que tem a habilidade específica e/ou recursos necessários para ser eficiente. Um subcontratado trabalha "para" um comprador, enquanto um "fornecedor" trabalha "com" um comprador.

A seleção de fornecedores é uma decisão estratégica de compra que afeta o desempenho total da empresa. Essa decisão é um problema multicritério e um processo complexo que requer o uso de vários critérios frequentemente conflitantes (AGUEZZOUL, 2012). Para tratar o problema multicritério, este artigo propõe uma abordagem de solução baseada em modelos de programação linear com uso do software de otimização solver do excel.

Para tanto, inicialmente, na seção 2 é apresentado como a literatura trata este tipo de problema. Na seção 3 é descrito o modelo matemático usado para a tomada de decisão que iremos resolver como um caso numérico, apresentado na seção 4. Na seção 4 é feita uma descrição do problema de decisão para escolha de um fornecedor na forma de *offshore outsourcing* para uma empresa, considerando multicritérios, entre eles um critério de seleção baseado na emissão de CO₂. Ao final, o modelo de programação linear é testado na forma do estudo de caso descrito na seção 2 e os resultados são analisados e discutidos.

2. Fundamentação Teórica

Geralmente, a estratégia de internacionalização das empresas é vista apenas com relação a interface com a demanda da cadeia de suprimentos. Nesse contexto, as abordagens de internacionalização focam no processo de exportação, instalação de unidades de vendas e de manufatura próprias em outros países. Entretanto, a estratégia de internacionalização também pode ser considerada com relação a interface com os fornecedores (Chopra e Meindel, 2013).

Contudo, a internacionalização contínua do comércio e do fenômeno da globalização fizeram o *outsourcing* disponível e atraente para várias indústrias. Com isso, a necessidade de melhores fornecedores e a investigação sobre as competências e preocupações específicas relacionadas à concorrência internacional, obrigaram as empresas a melhorar a sua capacidade de lidar com fornecedores localizados em diferentes países ao redor do mundo (Golini e Kalchschmidt 2011). Um aspecto importante do *outsourcing* é a estratégia de *outsourcing offshore*, e, para (Ghodsypour e O'Brien 2001), o conceito de *outsourcing offshore* representa uma oportunidade para obter produtos e materiais a um custo menor do que no país de origem.

Outsourcing offshore é o processo de contratar fornecedores externos de produtos e serviços para a aquisição de bens ou serviços que eram formalmente supridos internamente fora da área geográfica a que a empresa pertence (Kotabe e Omura 1989; Murray et al, 1995a; Murray et al, 1995b). O *offshore outsourcing* pode ser definido como todo o processo de terceirização de uma empresa feito fora do país de sua matriz, em que o controle das operações é transferido totalmente a um terceiro no exterior. Dentre os

benefícios em investir em *outsourcing offshore*, está a redistribuição do trabalho em escala global e o desenvolvimento de experiências em mercados internacionais. Porém dentre as desvantagens, estão os lotes maiores, grandes estoques e a menor flexibilidade para se adaptar às mudanças de mercado (Nunes 2012).

As duas últimas décadas foram marcadas no cenário internacional pela crescente globalização e competitividade entre as empresas. Várias foram as novas abordagens de gestão propostas para esta realidade, cada uma com seu enfoque específico e seu nível de relevância dependendo de cada caso a ser estudado. O *outsourcing*, vista como uma estratégia moderna de gestão, consiste basicamente na transferência para fornecedores de atividades que agregam competitividade empresarial, baseada numa relação de confiança e respeito mútuo (NUNES, 2012).

Segundo (Bayle et. al 2003), a importância das atividades da área de suprimentos é garantir que o processo de *outsourcing* seja feito de forma adequada, ou seja, a atividade a ser terceirizado vai gerar vantagem competitiva para a empresa e o fornecedor selecionado é o que possui as melhores qualificações para exercer a atividade. Assim, o processo chave em um *outsourcing* é a eficiente seleção dos fornecedores, pois o objetivo deste processo é exatamente reduzir os riscos e maximizar o valor total da negociação para o comprador (Bayle et. al 2003).

Todo processo de *outsourcing* bem estruturado deve constar de algumas etapas que vão desde o surgimento da ideia de terceirizar determinada atividade, até o acompanhamento dos resultados práticos deste *outsourcing* no dia a dia. Conforme (Faria e Vanalle, 2006), pode-se dividir estas etapas em três:

- a) **Definição da atividade a ser terceirizada:** Discutir a idéia da terceirização como estratégia, definir o *core business* da empresa, estudar a viabilidade econômica de se terceirizar a(s) atividade(s) pretendida(s), e discutir a terceirização com os empregados que serão afetados por ela;
- b) **Seleção dos fornecedores:** Determinar critérios de seleção de fornecedores, realizar levantamento de potenciais fornecedores e selecionar de acordo com os critérios pré-estabelecidos, e elaborar o contrato para regulamentar a parceria.;
- c) **Avaliação e acompanhamento da parceria:** Definir indicadores de desempenho da parceria, e avaliar a parceria periodicamente através do acompanhamento dos indicadores de desempenho.

Faria e Vanalle (2006) destacam ainda que se deve levar em conta o impacto significativo das diferenças culturais entre as empresas prestadoras e contratantes. As questões culturais tendem a se constituir na principal barreira para o sucesso da atividade especialmente com relação às dificuldades de comunicação ocasionadas por estas diferenças.

A avaliação e seleção de fornecedores requer a consideração de múltiplos objetivos e critérios (Bhutta e Huq, 2002). A pesquisa tem sido robusta neste campo com estudo e inclui a adoção de abordagens e implementação de uma ampla gama de práticas matemáticas e metodologias. Conseqüentemente, inúmeras ferramentas de suporte a decisões multicritérios foram desenvolvidas para estruturar e apoiar tais decisões (Wu et al., 2010).

O primeiro trabalho na área foi apresentado por Wind e Robinson (1968), com o desenvolvimento do método de ponderação linear usada para classificar e selecionar os fornecedores com base em seu desempenho em múltiplas medições. Pesquisas posteriores ampliaram essa abordagem clássica ao longo de outras dimensões. Por exemplo, Gregory

(1986) introduziu a representação matricial de dados neste esquema e classificou diferentes fornecedores para suas alocações de quotas de fornecimento. Monozka e Trecha (1988) propuseram critérios múltiplos para avaliação de fornecedores com diferentes fatores de avaliação e um índice geral de desempenho de fornecedores.

Em comparação com os métodos de ponderação linear, normalmente utilizados na seleção de fornecedores, a programação matemática oferece uma ferramenta mais eficaz para lidar com o problema de seleção do fornecedor devido à capacidade do último de otimizar explicitamente algum objetivo declarado (Degraeve et al. 2005). Os modelos comumente usados incluem programação linear (LP), programação mista (MILP), processo analítico hierárquico (AHP), análise de envolvimento de dados (DEA), lógica fuzzy e programação de objetivos (GP).

As metodologias variam, mas também o problema. Por exemplo, Murthy et al. (2004) desenvolveram um modelo de LP para itens de fabricação sob encomenda em uma situação que envolve custos fixos, restrições de capacidade compartilhada e descontos baseados em volume. O objetivo foi minimizar o abastecimento total e custos de compra. Dahel (2003), por sua vez, estudou um problema com múltiplos fornecedores, múltiplos produtos, em um ambiente de suprimento competitivo. Ele desenvolveu um modelo de programação mista (MILP) para determinar o número de fornecedores e a alocação de produtos para cada um deles. O método AHP foi utilizado em Handfield et al. (1999) para gerar pesos para o problema de seleção do fornecedor. Já Ghodsypour e O'Brien (2001) ofereceram um sistema integrado de apoio à decisão que combina o método AHP com LP.

Há muitos outros estudos que se concentram no aspecto multicritérios do problema de seleção do fornecedor (preço, qualidade, flexibilidade e tempo de entrega). Por exemplo, o modelo de negociação em Zhu (2004), o modelo DEA utilizado por Liu et al. (2000) e Weber et al. (2000), o modelo de GP com Sharma et al. (1989) e o modelo de GP misto com fuzzy com Kumar et al. (2004).

Apesar da existência de uma grande e crescente corpo de literatura para avaliação e seleção de fornecedores, com diferentes metodologias, a literatura sobre a avaliação de fornecedores verdes que considera fatores ambientais são ainda relativamente limitadas (Govindan et al., 2015). Pesquisa recentemente estabelecida utilizou a seleção de fornecedores mecanismos que consideram problemas de proteção ambiental (Humphreys et al., 2003; Yeh e Chuang, 2011). Um potencial na forma efetiva de gerenciar a política ambiental de uma empresa é ligando-a de perto com atividades de função de compra ou suprimentos, ou seja, através de seleção de fornecedores (Humphreys et al., 2003). Os critérios ambientais são geralmente estruturados em relação ao produto ou serviço que está sendo comprado ou ao fornecedor que os produz ou fornece (Govindan et al., 2015).

Recentemente Govindan et al. (2015) apresentaram uma extensa revisão bibliográfica indicando as diferentes abordagens individuais e integradas com *analytical hierarchy process* (AHP), *analytic network process* (ANP), programação matemática, fuzzy, entre outros. Além disso, os autores apresentam também os diferentes critérios utilizados na seleção de fornecedores como gerenciamento de sistemas ambientais, imagem verde, desempenho ambiental, entre outros.

Por isso, nesse artigo, estudamos o processo de usando um modelo multicritério de seleção de fornecedores usando programação linear (LP), incluindo um critério ecológico de seleção pela emissão de CO₂ no processo de manufatura e transporte. Assume-se que o cliente tem informações prévias sobre os fornecedores.

A partir dos avanços teóricos aqui expostos, será desenvolvida a investigação numérica, cuja formulação do modelo é apresentada a seguir.

3. Formulação do Modelo

Como mencionado acima, selecionar e avaliar o fornecedor é um problema multicritério, sendo que alguns critérios escolhidos podem ser conflitantes [Dolgui e Proth, 2008]. Por exemplo, a redução dos custos pode levar a uma deterioração da qualidade ou aumento do lead time. No modelo apresentado nesta seção, são levados em conta quatro critérios: qualidade, consistência de entregas com demandas, lead time e custo.

Assumimos que um comprador tem como objetivo selecionar um fornecedor entre um conjunto de fornecedores e que todos os valores dos parâmetros necessários para tomar uma decisão são conhecidos.

3.1. Parâmetros do Modelo

Esta seção é dedicada à introdução dos parâmetros do problema [Dolgui e Proth, 2008].

- $pt=1,\dots,PT$ são os tipos de produtos a serem terceirizados.

- $v=1,\dots,V$ são os candidatos (fornecedores) para a seleção.

- d é a demanda de produtos do tipo pt . Esta demanda é suposto ser estável ou porque estamos no nível de projeto do sistema e as demandas são previstas, ou estamos monitorando o sistema e as demandas são conhecidas.

- $l_{v,pt,i}$, $pt = 1, \dots, PT$; $v = 1, \dots, V$; $i = 0, 1, \dots, n_v - 1$. Este parâmetro é a quantidade mínima de tipo de produto pt a ser pedido ao vendedor v para começar a pagar o $(i+1)$ ésimo preço unitário para $i < n_v$. Definimos $n_{v,pt,0} = 0$. Aqui, n_v é o número de diferentes níveis de preços para o tipo de produto pt quando comprado do vendedor v .

- $C_{v,pt,i}$, $pt = 1, \dots, PT$; $v = 1, \dots, V$; $i = 0, 1, \dots, n_v - 1$. É o custo por unidade quando i comprando uma quantidade $l_{v,pt,i} \leq q_{v,pt} < l_{v,pt,i+1}$ do tipo de produto pt do vendedor v . Note-se que $l_{v,pt,n} = C_{p,v,pt,0}$ que significa que o último limite superior de um intervalo é igual à capacidade de produção. Observe que $C_{v,pt,i} \geq C_{v,pt,i+1}$.

- Su_v , $v = 1, \dots, V$, são os custos fixos associados ao monitoramento do fornecedor v .

- $\Theta_{v,pt}$, $v = 1, \dots, V$; $pt = 1, \dots, PT$, é o tempo de espera dos produtos do tipo pt quando fornecidos pelo fornecedor v .

- $def_{v,pt}$, $v = 1, \dots, V$; $pt = 1, \dots, PT$, é o percentual de defeitos para produtos do tipo pt quando fornecidos pelo fornecedor v .

- $em_{v,pt}$, $v = 1, \dots, V$; $pt = 1, \dots, PT$, é a quantidade de emissão em g de CO_2 por unidade de produtos do tipo pt quando fornecidos pelo fornecedor v .

- $inc_{pt,v} = 1, \dots, V$; $pt=1, \dots, PT$, é a relação entre o número de inconsistências sobre o número de entregas de produtos do tipo pt quando entregues pelo fornecedor v . Mais precisamente:

$$inc_{v,pt} = \frac{\sum_{d \in \bar{D}} \{\text{numero de produtos na entrega } d\}}{\sum_{d \in D} \{\text{número de produtos na entrega } d\}}$$

Onde \bar{D} é o conjunto de entregas de produtos do tipo pt do fornecedor v que são inconsistente com a demanda, e d é todo o conjunto de entregas de produtos do tipo pt do fornecedor v .

- $Cp_{pt,v} = 1, \dots, V$; $pt=1, \dots, PT$, é a capacidade de produção do fornecedor v em relação aos produtos do tipo pt .

Além dos parâmetros usados no modelo de seleção de fornecedores, é necessário também identificar as variáveis de decisão usadas no modelo.

3.2 Variáveis de decisão

Duas variáveis de decisão serão utilizadas neste modelo. A compensação entre os cinco critérios apresentados abaixo será alcançada através dos valores atribuídos às variáveis de decisão.

- $x_{v,pt,i}$ é o número de produtos do tipo pt fornecidos pelo vendedor v e pagos em preço do i -ésimo nível de preços.
- $y_{v,pt} = 1$ se o fornecedor v for selecionado para proporcionar produtos do tipo pt e $y_{v,pt} = 0$, se o fornecedor v não for selecionado.

Como mencionado no início da Seção 4, o modelo leva em conta cinco fatores: a qualidade, consistência das entregas com demandas, o lead time, a emissão de CO₂ e os custos. Podemos expressar esses cinco critérios matematicamente conforme formulas 1 a 7, apresentadas a seguir.

3.2.1. Qualidade

A medida da qualidade (QAL) é expressa da seguinte forma:

$$QAL = \sum_{v=1}^V \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{i=0}^{n_i-1} def_{v,pt} \times x_{v,pt,i} = \sum_{v=1}^V \sum_{pt=1}^{PT} \left[def_{v,pt} \left(\sum_{i=0}^{n_i-1} x_{v,pt,i} \right) \right] \quad (1)$$

O segundo membro da igualdade é a soma do percentual de defeitos ponderada pelas quantidades encomendadas. Quanto menor o QAL, melhor a qualidade global resultante da terceirização.

3.2.2. Consistência de Entregas

Considerando que o parâmetro $inc_{v,pt}$ refere-se as quantidades de produtos individuais, e não a demanda dos produtos. Como consequência, o critério que mede a consistência (CONS) é semelhante ao QAL:

$$CONS = \sum_{v=1}^V \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{i=0}^{n_i-1} inc_{v,pt} \times x_{v,pt,i} = \sum_{v=1}^V \sum_{pt=1}^{PT} \left[inc_{v,pt} \left(\sum_{i=0}^{n_i-1} x_{v,pt,i} \right) \right] \quad (2)$$

Quanto menor o critério consistência de entrega, melhor a consistência da entrega com as exigências da demanda dos produtos.

3.2.3. Lead Time

Para medir o tempo de resposta total do sistema (LT), usamos o seguinte critério:

$$LT = \sum_{v=1}^V \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{i=0}^{n_i-1} \theta_{v,pt} \times x_{v,pt,i} = \sum_{v=1}^V \sum_{pt=1}^{PT} \left[\theta_{v,pt} \left(\sum_{i=0}^{n_i-1} x_{v,pt,i} \right) \right] \quad (3)$$

O objetivo do modelo é reduzir o *lead time* tanto quanto possível.

3.2.4. Emissão de CO₂

Para medir emissão de CO₂ total do sistema (EM), usamos o seguinte critério:

$$EM = \sum_{v=1}^V \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{i=0}^{n_i-1} em_{v,pt} \times x_{v,pt,i} = \sum_{v=1}^V \sum_{pt=1}^{PT} \left[em_{v,pt} \left(\sum_{i=0}^{n_i-1} x_{v,pt,i} \right) \right] \quad (4)$$

O objetivo do modelo é reduzir a emissão de CO₂ tanto quanto possível.

3.2.5. Custo Total

O custo total é a soma de um custo variável que depende da quantidade comprada:

$$VC = \sum_{v=1}^V \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{i=0}^{n_i-1} c_{v,pt} \times x_{v,pt,i} \quad (5)$$

Mais um custo fixo para o monitoramento e controle do fornecedor:

$$CC = \sum_{v=1}^V \sum_{pt=1}^{PT} \sum_{i=0}^{n_i-1} Su_v \times \left(\sum_{pt=1}^{PT} y_{v,pt} \right) \quad (6)$$

Assim, o custo total de compra é:

(7)

$$CT = VC + CC$$

O objetivo do modelo é reduzir o custo total de compra, tanto quanto possível, considerando as restrições de qualidade, consistência de entrega, lead time e emissão de CO₂ de cada tipo de produto.

3. Descrição do Problema

Uma cadeia de suprimentos nacional de um grande fabricante de produtos têxteis decidiu terceirizar a fabricação de alguns produtos fabricados internamente para fornecedores internacionais (*offshore outsourcing*). Após um levantamento dos possíveis produtos e fornecedores, dois tipos de produtos P1 e P2 e dois fornecedores F1 e F2 foram pré-selecionados.

Os dados de capacidade, em unidades por mês, dos dois fornecedores para a o fornecimento dos dois produtos estão resumidos na tabela 1.

Produtos/Fornecedores	Fornecedor 1	Fornecedor 2
Produto 1	800	600
Produto 2	900	700

Tabela 1 – Capacidade em unidades dos fornecedores

Além disso, dois níveis de custos variáveis para cada tipo de produto, com base no volume máximo e mínimo foram identificados para cada fornecedor, conforme descrito na tabela 2.

Fornecedores	Fornecedor 1		Fornecedor 2	
	Quantidade (Max-Min)	Custo Variável	Quantidade (Max-Min)	Custo Variável
Produto 1 (Max.)	100	\$10	900	\$7
Produto 1 (Min.)	80	\$12	800	\$8
Produto 2 (Max.)	100	\$11	700	\$7
Produto 2 (Min.)	50	\$14	600	\$9

Tabela 2 – Custos variáveis e quantidades

Além do custo variável unitário de compra de cada produto, existem também um custo fixo por unidade associado com o monitoramento de cada fornecedor que é de \$200 para o fornecedor 1 e de \$150 para o fornecedor 2.

Sabe-se que a demanda total de cada produto, em unidades é $d_1 = 600$ e $d_2 = 1000$, e que o tempo de entrega, em horas por unidades dos produtos (P1 e P2) fornecidos de cada fornecedor (F1 e F2) são resumidos na tabela 3.

Produtos/Fornecedores	Fornecedor 1	Fornecedor 2
Produto 1	1	3
Produto 2	2	3

Tabela 3 – Tempo de entrega de cada produto

O índice de qualidade com base no percentual de defeitos de cada produto de cada fornecedor está resumido na tabela 4.

Produtos/Fornecedores	Fornecedor 1	Fornecedor 2
Produto 1	96%	95%
Produto 2	90%	94%

Tabela 4 – Percentual de Qualidade por produto e fornecedor

A consistência de entregas em relação a demanda dos fornecedores baseado no percentual de consistência da entrega em relação ao pedido para cada produto estão resumidas na tabela 5.

Produtos/Fornecedores	Fornecedor 1	Fornecedor 2
Produto 1	95%	94%
Produto 2	98%	97%

Tabela 5 – Consistência de entrega por produto e fornecedor

Além dos quatro critérios de seleção de fornecedores tradicionais apresentados acima, também foi considerado um critério ecológico relacionado à emissão de g CO₂ por unidade de produtos na manufatura e transporte dos produtos de cada fornecedor até o comprador. Os valores de emissão em g de CO₂ por unidade, estão resumidos na tabela 6.

Produtos/Fornecedores	Fornecedor 1	Fornecedor 2
Produto 1	2,5	2,2
Produto 2	2,3	1,5

Tabela 6 – Emissão g de CO₂ por unidade

A partir dos dados dos critérios apresentados acima, e, usando o modelo analítico multicritério para seleção de fornecedores desenvolvido na seção 3, foi possível determinar a quantidade para cada um dos produtos a serem adquiridos de cada fornecedor, conforme apresentado na seção 5.

5. Parâmetros e Resultados do Caso

Considerando os dados apresentados na seção 4 e o modelo matemático multicritério introduzido na seção 3, podemos modelar o problema como segue.

Considerando que os valores dos parâmetros de capacidade dos fornecedores para cada produto são:

$$Cp_{1,1} = 800 \text{ unidades}$$

$$Cp_{1,2} = 900 \text{ unidades}$$

$$Cp_{2,1} = 600 \text{ unidades}$$

$$Cp_{2,2} = 700 \text{ unidades}$$

Os parâmetros de custo variável (c), baseado a quantidade máxima e mínima (l), considerando que $l_{v,pt,0} = 0$ tanto faz v e pt:

$$l_{1,1,1} = 100 \quad c_{1,1,1} = \$10$$

$$l_{2,1,1} = 900 \quad c_{2,1,1} = \$7$$

$l_{1,1,2} = 80$	$c_{1,1,2} = \$12$	$l_{2,1,2} = 800$	$c_{2,1,2} = \$8$
$l_{1,2,1} = 100$	$c_{1,2,1} = \$11$	$l_{2,2,1} = 700$	$c_{2,2,1} = \$7$
$l_{1,2,2} = 50$	$c_{1,2,2} = \$14$	$l_{2,2,2} = 600$	$c_{2,2,2} = \$9$

Os valores dos parâmetros de custo fixo monitoramento para cada fornecedor são:

$$Su_1 = \$200 \text{ e } Su_2 = \$150$$

Os parâmetros de valores da demanda de cada produto é:

$$d_1 = 600 \text{ unidades e } d_2 = 1000 \text{ unidades}$$

Já os parâmetros do lead time dos fornecedores para cada tipo de produto são:

$$\begin{array}{ll} \Theta_{1,1} = 1 \text{ hora} & \Theta_{2,1} = 3 \text{ horas} \\ \Theta_{1,2} = 2 \text{ horas} & \Theta_{2,2} = 4 \text{ horas} \end{array}$$

Os parâmetros dos índices de defeitos de qualidade dos fornecedores para cada produto são:

$$\begin{array}{ll} \text{def}_{1,1} = 4 \% & \text{def}_{2,1} = 5 \% \\ \text{def}_{1,2} = 10 \% & \text{def}_{2,2} = 6 \% \end{array}$$

Os índices de inconsistência dos fornecedores para cada produto são:

$$\begin{array}{ll} \text{inc}_{1,1} = 5 \% & \text{inc}_{2,1} = 6 \% \\ \text{inc}_{1,2} = 2 \% & \text{inc}_{2,2} = 3 \% \end{array}$$

Os índices de emissão de CO₂ dos fornecedores para cada produto são:

$$\begin{array}{ll} \text{em}_{1,1} = 2,5 \% & \text{em}_{2,1} = 2,2 \% \\ \text{em}_{1,2} = 2,3 \% & \text{em}_{2,2} = 1,5 \% \end{array}$$

Com base nos dados acima, com relação ao critério da qualidade a equação para o modelo será:

$$\text{Min QAL} = 2(x_{1,1,1} + x_{1,1,2}) + 3(x_{1,2,1} + x_{1,2,2}) + 3(x_{2,1,1} + x_{2,1,2}) + 4(x_{2,2,1} + x_{2,2,2})$$

Quanto menor o valor desse critério melhor é o resultado.

Com relação ao critério de consistência de entrega em relação a demanda a equação para o modelo será:

$$\text{Min COS} = 2(x_{1,1,1} + x_{1,1,2}) + 2(x_{1,2,1} + x_{1,2,2}) + 2(x_{2,1,1} + x_{2,1,2}) + 3(x_{2,2,1} + x_{2,2,2})$$

Assim como no critério da qualidade, quanto menor o valor desse critério melhor é o resultado.

Com relação ao critério do lead time a equação para o modelo será:

$$\text{Min LT} = 1(x_{1,1,1}+x_{1,1,2}) + 2(x_{1,2,1}+x_{1,2,2}) + 3(x_{2,1,1}+x_{2,1,2}) + 3(x_{2,2,1}+x_{2,2,2})$$

Quanto menor o valor desse critério melhor é o resultado.

Com relação ao critério de emissão de CO₂ a equação para o modelo será:

$$\text{Min EM} = 2,5(x_{1,1,1}+x_{1,1,2}) + 2,3(x_{1,2,1}+x_{1,2,2}) + 2,2(x_{2,1,1}+x_{2,1,2}) + 1,5(x_{2,2,1}+x_{2,2,2})$$

Quanto menor o valor desse critério melhor é o resultado.

Com relação ao critério de custo a equação de custo total para o modelo será:

$$\text{Min TC} = 10x_{1,1,1}+12x_{1,1,2}+11x_{1,2,1}+14x_{1,2,2}+7x_{2,1,1}+8x_{2,1,2}+7x_{2,2,1}+9x_{2,2,2}+20(y_{1,1}+y_{1,2})+15(y_{2,1}+y_{2,2})$$

Quanto menor o valor desse critério melhor é o resultado.

As restrições de capacidade são:

$$x_{1,1,1} + x_{1,1,2} \leq 800. y_{1,1}$$

$$x_{1,2,1} + x_{1,2,2} \leq 900. y_{1,2}$$

$$x_{2,1,1} + x_{2,1,2} \leq 600. y_{2,1}$$

$$x_{2,2,1} + x_{2,2,2} \leq 700. y_{2,2}$$

As restrições de demanda são:

$$x_{1,1,1} + x_{1,1,2} + x_{1,2,1} + x_{1,2,2} \geq 600$$

$$x_{2,1,1} + x_{2,1,2} + x_{2,2,1} + x_{2,2,2} \geq 1000$$

As condições de contorna das variáveis de decisão são:

$$x_{1,1,1}; x_{1,1,2}; x_{1,2,1}; x_{1,2,2}; x_{2,1,1}; x_{2,1,2}; x_{2,2,1}; x_{2,2,2} > 0$$

As variáveis binárias são:

$$y_{1,1}; y_{1,2}; y_{2,1}; y_{2,2} \begin{cases} = 1, \text{ se o produto pt for designado para o fornecedor v} \\ = 0, \text{ caso contrário} \end{cases}$$

Para resolução do problema multicritério temos que, primeiro, converte-lo em um problema de critério único, tratando todos os critérios, exceto um, como restrições. Para o caso foi considerado o critério de custo como o critério principal e os demais critérios como restrições. Os valores de restrição dos demais critérios (qualidade, consistência de entrega, lead time e emissão CO₂) foram limitados em 100 unidades, 100 unidades, 5000 horas e 5000 gCO₂, respectivamente.

A seguir o modelo foi transformado em modelo de programação mista no solver excel, conforme figura 1.

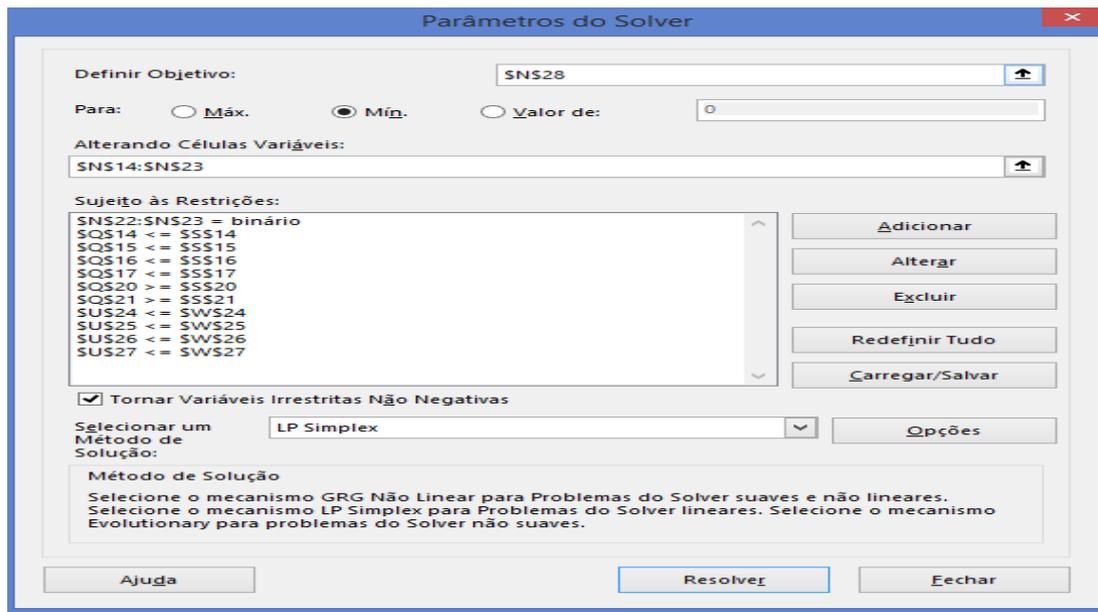


Figura 1 – Modelo Programação Mista Solver Excel

Os resultados do solver do excel indicam que o custo mínimo da decisão é de R\$13.600, sendo que a empresa deverá comprar apenas 283 unidades do produto 1 ao preço de \$10 por unidade e de 300 unidades do produto 1 ao preço de \$11 por unidade do fornecedor 1. Já do fornecedor 2 o modelo recomenda a compra de 317 unidades do produto 1 ao preço de \$7 por unidade e de 700 unidades do produto 2 também ao preço de \$7 por unidade. Ou seja, como o modelo tem como objetivo minimizar o custo total, ele escolheu o menor preço de cada produto/fornecedor, conforme descrito na figura 2.

Variáveis de Decisão:		Restrições:				
P111	283	Capacidade				
P112	0	P111+P112	283	<=	800	
P121	300	P121+P122	300	<=	900	
P122	0	P211+P212	317	<=	600	
P211	317	P221+P222	700	<=	700	
P212	0	Demanda				
P221	700	P111+P112+P211+P212	600	=	600	
P222	0	P121+P122+P221+P222	1000	=	1000	
Y11+Y12	1	Critérios				
Y21+Y22	1	Qualidade	$6(x_{1,1,1}+x_{1,1,2})+10(x_{1,2,1}+x_{1,2,2})+5(x_{2,1,1}+x_{2,1,2})+6(x_{2,2,1}+x_{2,2,2})$	100	<=	100
Função Objetivo		Consistência	$5(x_{1,1,1}+x_{1,1,2})+2(x_{1,2,1}+x_{1,2,2})+6(x_{2,1,1}+x_{2,1,2})+3(x_{2,2,1}+x_{2,2,2})$	60	<=	100
Minimizar Z= R\$ 13.600,00		Lead Time	$1(x_{1,1,1}+x_{1,1,2})+2(x_{1,2,1}+x_{1,2,2})+3(x_{2,1,1}+x_{2,1,2})+4(x_{2,2,1}+x_{2,2,2})$	4617	<=	5000
		Emissão	$3(x_{1,1,1}+x_{1,1,2})+4(x_{1,2,1}+x_{1,2,2})+3(x_{2,1,1}+x_{2,1,2})+2(x_{2,2,1}+x_{2,2,2})$	3147	<=	5000

Figura 2 – Resultado do solver excel para o modelo

Este resultado se deve ao fato de que as restrições impostas ao modelo. Com relação a capacidade, verifica-se que não foram superadas, assim como a demanda máxima imposta. Com relação aos multicritérios para seleção dos fornecedores e a quantidade comprada de cada um, o modelo proposto foi ajustado para aceitar ao critério de índice de

qualidade no máximo de 100 unidades de produtos com defeito e que teve como resultado 100 unidades reprovadas por baixa qualidade do produto. Quanto ao critério de consistência de entrega o máximo aceito também foi de 100 unidade dos produtos não entregues conforme o pedido, sendo que nesse critério o desempenho dos fornecedores foi de 60 unidades não entregues. Já no caso do tempo de resposta do fornecedor (lead time), o mesmo foi limitado a 5.000 horas e alcançou 4.617 horas. Por último, no critério emissão de CO₂, foi delimitado em no máximo 5.000g referentes aos processos de manufatura e transporte até a empresa compradora, sendo que a emissão máxima com o modelo foi de 3.147 g.

6. Conclusões

Este artigo tem como objetivo apresentar um modelo analítico multicritério para analisar a decisão de escolha de fornecedores com a estratégia de *outsourcing offshore*, incluindo critérios ecológicos. A principal contribuição do trabalho foi apresentar um modelo para a seleção de fornecedores como uma otimização combinatória de múltiplos critérios de forma simultânea, incluindo o critério ecológico de emissão de CO₂. A contribuição gerencial é prover um modelo de seleção de fornecedores fácil de usar considerando a grande necessidade na prática. Por fim, os resultados mostram que essa abordagem tem bom potencial de aplicação prática considerando a necessidade atual de as empresas tomarem decisões baseadas não somente em critérios tradicionais, mas incluindo também critérios ecológicos.

Referências

- AGUEZZOUL, A. (2012). Overview on Supplier Selection of Goods versus 3PL Selection. *Journal of Logistics Management*, 1(3): 18-23
- BAILY, P., FARMER, D., JESSOP, D., & JONES, D. (1998). *Purchasing Principles & Management* (8th ed.). Prentice Hall.
- CAOA, Q.; WANGB, Q. (2007). Optimizing vendor selection in a two-stage outsourcing process. *Computers & Operations Research*, 34:3757 – 3768
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. (2013). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento, e Operação*. In *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento, e Operação*. Pearson Prentice Hall.
- DAHEL N.E. (2003). Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments. *Supply Chain Management*, 8(3/4):35–42.
- DEGRAEVE, Z., ROODHOOFT, F., VANDOVEREN, B. (2005) The use of total cost of ownership for strategic procurement: a company-wide management information system. *The Journal of the Operational Research Society*, 56(1):51–9.
- DOLGUI, A.; PROTH, J.M. (2008). *Supply Chain Engineering: Useful Methods and Techniques*. Springer-Verlag London Limited.

DOMBERGER S., JENSEN P.H., STONECASH R.E. (2002). Examining the magnitude and sources of cost savings associated with outsourcing. *Public Performance and Management Review*, 26(2):148.

FARIA, P.O.; VANALLE, R.M. (2006). Critérios para a Seleção de Fornecedores: Uma Análise das Práticas de Grandes Empresas Industriais do Estado do Espírito Santo. *Anais XXVI ENEGEP*, Fortaleza, CE, 9 a 11 de Outubro de 2006.

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.

GOLINI, R.; KALCHSCHMIDT, M. (2011). Moderating the impact of global sourcing on inventories through supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 86–94.

GOVINDAN, K.; RAJENDRAN, S.; SARKIS, J.; MURUGESAN, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66-83.

GREGORY, R.E. (1986). Source selection: a matrix approach. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 24–9.

HANFIELD R.B., RAGATZ G.L., PETERSEN K.J., MONCZKA R.M. (1999). Involving suppliers in new product development. *California Management Review*, 42(1):59–72.

HUMPHREYS, P., MCIVOR, R., CHAN, F., (2003). Using case-based reasoning to evaluate supplier environmental management performance. *Expert Systems with Applications*, 25:141-153

KOTABE, M., & OMURA, G. S. (1989). Sourcing strategies of European and Japanese multinationals: A comparison. *Journal of International Business Studies*, 20(1):113–130.

KUMAR M., VRAT P., SHANKAR R. (2004). A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain. *Computers and Industrial Engineering*, 46(1):69–85.

LIU F., DING F.Y., LALL V. (2000). Using data envelopment analysis to compare suppliers for supplier selection and performance improvement. *Supply Chain Management: An International Journal*, 5(3):143–50.

MONCZKA R.M., TRECHA S.J. (1988) Cost-based supplier performance evaluation. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 2–7.

MURRAY, J. Y., KOTABE, M., & WILDT, A. R. (1995a). Strategic and financial performance implications of global sourcing strategy: A contingency analysis. *Journal of International Business Studies*, 26(1): 181–202.

MURRAY, J. Y., WILDT, A. R., & KOTABE, M. (1995b). Global sourcing strategies of US subsidiaries of foreign multinationals. *Management International Review*, 35(4): 307–324.

MURTHY N.N., SONI S., GHOSH S. (2004). A framework for facilitating sourcing and allocation decisions for make-to-order items. *Decision Sciences*, 35(4):609–27.

NUNES, M.P; TONDOLO, V. A. G; STREINBRUCH, F. K. (2012). Aprendendo por meio da operação offshore – Uma análise da realidade das empresas brasileiras. *Revista Gestão Contemporânea*, Porto Alegre, 9(11):7-34.

SHARMA D., BENTON W.C., SRIVASTAVA R. (1989). Competitive strategy and purchasing decisions. In: *Proceedings of the 1989 annual conference of the decision sciences institute*, 88–90.

SNIR E.M., HITT L.M. (2004). Vendor screening in information technology contracting with a pilot project. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 14(1):61–88.

WEBER C.A., CURRENT J.R., DESAI A. (2000). An optimization approach to determining the number of vendors to employ. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2(5):90–98.

WIND, Y., ROBINSON P.J. (1968). The determinants of vendor selection: the evaluation function approach. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 29–41.

YEH, W.C., CHUANG, M.C. (2011). Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. *Expert Systems with Applications*, 38:4244-4253.

ZHU J.A. (2004). buyer-seller game model for selection and negotiation of purchasing bids: extensions and new models. *European Journal of Operational Research*, 154(1):150–6.