



Encontro Internacional sobre Gestão
Empresarial e Meio Ambiente

ISSN: 2359-1048
Dezembro 2016

Avaliação de Desempenho de Cadeias de Suprimento Lean usando o Método Fuzzy-TOPSIS

JULIO CESAR CORRÊA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO EDUCACIONAL GUAXUPÉ
juliocorrea@hotmail.com.br

FRANCISCO RODRIGUES LIMA JUNIOR

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)
eng.franciscojunior@gmail.com

Avaliação de Desempenho de Cadeias de Suprimento *Lean* usando o Método *Fuzzy-TOPSIS*

Resumo

Uma cadeia de suprimento engloba todos os estágios envolvidos direta ou indiretamente no atendimento do pedido de um cliente. Uma cadeia de suprimento *lean* preocupa-se com a redução de custos de operação dos processos de fabricação e serviços com o menor de desperdício. A fim de avaliar a eficiência e a eficácia das práticas de gestão de cadeias de suprimento *lean*, alguns modelos baseados em técnicas quantitativas de tomada de decisão e em múltiplos indicadores de desempenho vêm sendo propostos na literatura acadêmica. Este estudo propõe um modelo quantitativo de apoio à avaliação de desempenho de cadeias de suprimento *lean*, baseado no método *Fuzzy-TOPSIS* e em um conjunto de indicadores de desempenho selecionados a partir da literatura. O modelo proposto foi aplicado em um caso ilustrativo envolvendo a avaliação de 15 cadeias do setor automobilístico em relação a 5 indicadores de desempenho. Os resultados mostram que o *Fuzzy-TOPSIS* apresenta algumas vantagens de uso frente a outras técnicas utilizadas pelos modelos existentes. O modelo proposto permite ajudar os gestores de cadeias produtivas na gestão do desempenho por meio da identificação de pontos que necessitam de melhoria.

Palavras-chave: Avaliação de desempenho, cadeias de suprimento *lean*, método *Fuzzy-TOPSIS*.

Performance Evaluation of Lean Supply Chains based on the Fuzzy-TOPSIS Method

Abstract

A supply chain includes all of the stages involved, direct or indirectly, on the attendance of a customer order. A lean supply chain is focused on cost reduction of manufacturing processes and services, as well as waste reduction. In order to evaluate efficiency and effectiveness of lean supply chain management practices, in the academic literature some models based on decision-making quantitative techniques and multiple performance indicators has been proposed. This study proposes a quantitative model to support the lean supply chain performance evaluation that combines the Fuzzy-TOPSIS method with a set of performance indicators selected from the literature. The proposed model was applied in an illustrative case involving the evaluation of 15 supply chains of the automotive sector. The results indicate that the use of fuzzy TOPSIS method presents several advantages when compared to other techniques. The proposed model can help managers of supply chains by means of the aid to decision making and identification of areas that need improvements.

Keywords: *Performance evaluation, lean supply chain, Fuzzy-TOPSIS method.*

1. Introdução

Uma cadeia de suprimento (*Supply Chain* – SC) pode ser vista como um conjunto de processos integrados, através dos quais matérias-primas são transformadas em produtos finais e entregues aos consumidores (BEAMON, 1999). Para Cooper, Lambert e Pagh (1998), uma cadeia de suprimento consiste na integração dos processos de negócios do usuário final até os fornecedores originais que provem produtos, serviços e informações que agregam valor aos consumidores e outros *stakeholders*. Dessa forma, uma cadeia de suprimento engloba todos os estágios envolvidos direta ou indiretamente no atendimento do pedido de um cliente e não inclui apenas fabricantes e fornecedores, mas também, transportadoras, depósitos, varejistas e os próprios clientes (CHOPRA; MEINDL, 2003).

Para Mentzer et al. (2001), a gestão de uma cadeia de suprimento é a coordenação estratégica e sistêmica das funções de negócio tradicionais e de ações táticas numa companhia e através de seus negócios dentro da cadeia de valor, com o propósito de aprimorar o desempenho de longo prazo das companhias individualmente e da cadeia como um todo. A gestão da cadeia de suprimento é um processo que consiste em gerenciar estrategicamente diferentes fluxos (de bens, serviços, finanças, informações) bem como as relações entre empresas, visando alcançar e/ou apoiar os objetivos organizacionais. Com o crescimento da importância da gestão de cadeias de suprimento, a avaliação do desempenho destas cadeias é uma necessidade constante nas atividades de gerenciamento das empresas que se preocupam com a sua competitividade (PIRES, 1998; SHAFIEE; LOTFI; SALEH, 2014).

A avaliação de cadeias de suprimento consiste no processo de quantificar a eficiência e a eficácia das práticas de gestão das atividades de um negócio dentro da cadeia produtiva por meio de múltiplos indicadores de desempenho (NEELY; GREGORY; PLATTS, 1995; SHAFIEE; LOTFI; SALEH, 2014). Para Amaratunga, Baldry e Sarshar (2001), o principal objetivo de avaliar o desempenho da cadeia de suprimento é estimular a melhoria contínua, gerar mudanças de efeito positivo na cultura organizacional e nos processos de gestão a fim de alcançar metas de desempenho predeterminadas para cada indicador.

Atualmente, as cadeias de suprimento são mais dinâmicas e imprevisíveis do que no passado, pois os clientes estão mais exigentes, requerendo uma maior variedade de produtos, um tempo de entrega menor, preços baixos e maior qualidade (AGRAWAL et al., 2006), o que faz os membros das cadeias de suprimento traçarem diferentes estratégias competitivas conjuntas para sobreviverem neste ambiente volátil. Essas estratégias variam de acordo com as peculiaridades do ambiente em que as empresas operam. Com base nas características comuns a essas estratégias competitivas, Gattorna (2010) define quatro tipos de configuração diferentes para cadeias de suprimento: enxuta (*lean*), ágil (*agile*), totalmente flexível (*fully flexible*) e de reabastecimento contínuo (*continuous replenishment*). Além desses, há estudos na literatura focados nas estratégias de cadeia sustentável (*sustainable*) (EROL; SENCER; SARI, 2011) e cadeia “verde” (*green*) (NAINI; ALIAHMADI; JAFARI-ESKANDARI, 2011).

Muitas empresas têm buscado a abordagem “*lean*” para melhorar a eficiência de seus processos de negócio. Uma cadeia de suprimento enxuta trabalha com alto volume de pedidos, baixa variedade entre os produtos e baixos custos. Sua gestão foca em programas de redução de custo, obtenção de previsibilidade do comportamento da demanda e de *lead times*, aumento da eficiência produtiva e alta confiabilidade (GATTORNA, 2010). Com o objetivo de apoiar a avaliação de desempenho de cadeias de suprimento enxuta, alguns modelos baseados em técnicas quantitativas vêm sendo propostos.

Na literatura podem ser encontrados modelos quantitativos para apoiar a avaliação de cadeia de suprimento enxuta que são baseados em técnicas estatísticas e métodos de tomada de decisão multicritério. As técnicas utilizadas incluem PCA - *Principal Component Analysis* (BEHROUZI; WONG, 2011), *Integrated stochastic-fuzzy approach* (BEHROUZI; WONG,

2013), ANP - *Analytic Network Process* (AGARWAL; SHANKAR; TIWARI, 2006) e AHP - *Analytic Hierarchy Process* (AFONSO; CABRITA, 2015).

Um método de tomada de decisão multicritério que incorpora recursos da lógica *fuzzy* e que apresenta diversas vantagens de uso consiste no *Fuzzy-TOPSIS* (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*). Diferentemente das técnicas baseadas em comparações par a par, como AHP e ANP, esse método não limita a quantidade de indicadores e de cadeias de suprimento que podem ser avaliada simultaneamente. Além disso, o *Fuzzy-TOPSIS* permite utilizar julgamentos em formato linguístico para avaliar o desempenho da cadeia e quantificar a importância relativa (peso) dos indicadores (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015). Apesar dessas potenciais vantagens de uso, na literatura não são encontrados modelos de avaliação de desempenho de cadeias de suprimento *lean* baseados no método *Fuzzy-TOPSIS*.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é desenvolver e aplicar um modelo *Fuzzy-TOPSIS* na avaliação de desempenho de cadeias de suprimento *lean*. A seção a seguir detalha os procedimentos metodológicos utilizados para a condução deste estudo.

2. Procedimentos Metodológicos

Essa pesquisa se caracteriza como modelagem e simulação computacional, sendo que as simulações realizadas são discretas, pois as variáveis dependentes variam discretamente em pontos específicos do tempo simulado; estáticas, já que o fator tempo não influencia na simulação; e determinísticas, uma vez que os valores das variáveis do modelo não apresentam flutuações aleatórias (PIDD, 2004). A execução desta pesquisa envolveu as seguintes etapas:

- **Revisão bibliográfica:** consistiu no estudo de livros e artigos de periódicos e congressos, sobre temas relacionados à gestão e avaliação de desempenho de cadeias de suprimento, cadeias *lean*, lógica *fuzzy* e sistemas de inferência *fuzzy-TOPSIS*, a fim de criar embasamento teórico para condução da etapa de modelagem computacional;

- **Modelagem computacional:** desenvolveu-se um modelo de apoio à tomada de decisão, baseado no método *fuzzy-TOPSIS* (CHEN, 2000), usando o *MS Excel*. Os indicadores de desempenho do modelo foram selecionados a partir de estudos da literatura;

- **Aplicação simulada:** um caso de aplicação ilustrativo foi desenvolvido usando dados simulados para demonstrar o uso do modelo proposto. Os julgamentos linguísticos quanto ao desempenho das cadeias de suprimento e ao peso dos indicadores de desempenho foram fornecidos pelos autores deste estudo.

3. Referencial Teórico

3.1 Cadeias de Suprimento Enxutas (*Lean*)

Nos últimos anos, nota-se um crescente interesse na implementação do conceito “manufatura enxuta” e dos conceitos mais abrangentes de “empresas enxutas” (AGARWAL et al., 2006). Os conceitos e as práticas *lean* possuem maior adaptação a ambientes onde a demanda é relativamente estável, previsível e há pouca variedade. As ideias que compõem a filosofia *lean* vêm sendo consolidadas ao longo dos anos e têm se transformado em diretrizes seguidas por diversas empresas que objetivam o aprimoramento e a excelência na busca pela competitividade. No entanto, para Duncan e Ritter (2014), seria um engano acreditar que a filosofia *lean* já tenha atingido seu máximo potencial. Os autores afirmam ainda que, os executivos que buscam extrair ainda mais valor da filosofia, possuem a disposição cada vez mais fontes de dados, aliadas às novas ferramentas analíticas capazes de resolver problemas cada vez mais sofisticados.

Com o acesso a informações em tempo real e com o aumento da concorrência global, os clientes têm cada vez mais poder de escolha, passando a exigir produtos com

características inovadoras, maior velocidade na entrega, desempenho confiável, alta qualidade e preço competitivo (BASU; WRIGHT, 2007). Para Hines (2006), uma cadeia de suprimento *enxuta* consiste em uma estratégia global de negócios, concebida com foco em inovação, baixo custo, serviços e qualidade. *Lean* é um termo que se refere à “agregação de valor pela eliminação dos desperdícios” (WOMACK; JONES, 2003). Uma cadeia de suprimento *lean* preocupa-se com a redução de custos de operação dos processos de fabricação e serviços com um mínimo de desperdício (QI; BOYER; ZHAO, 2009). O objetivo principal dessas cadeias é fornecer o que os clientes querem com o melhor custo e a melhor qualidade possível. Outros objetivos inter-relacionados consistem na eliminação de desperdícios, bom funcionamento do fluxo, elevado nível de eficiência e garantia da qualidade (BASU; WRIGHT, 2007):.

As características da cadeia de suprimento *lean* incluem a integração com fornecedores, integração com clientes, alta ênfase na eficiência e objetivos para realização de estoque mínimo. A redução de custos, a ênfase em velocidade de entrega e na melhoria contínua da qualidade dos produtos e serviços são fatores chave para a gestão da cadeia de suprimento *lean* (BASU; WRIGHT, 2007). A implantação dessa estratégia requer a comunicação de informações sobre os estoques, capacidade, planos de entrega e flutuações no âmbito *just-in-time* (JIT) (EL-TAWY; GALLEAR, 2011). Wincel (2004) lista seis atributos relacionados à aplicação dos princípios *lean* em cadeias de suprimento:

- a) **Gerenciamento baseado na demanda:** produção puxada pelos pedidos, ou com pedidos e estoque nivelador de produtos de alto giro;
- b) **Redução do custo de desperdícios:** processo de melhoria contínua buscando a redução constante dos sete desperdícios (superprodução, tempo de espera, excesso de transporte, processamento desnecessário, estoque em excesso, movimento em excesso e retrabalho de produtos defeituosos);
- c) **Padronização do processo:** através da padronização dos processos é possível obter melhorias continuamente (aplicação do ciclo PERP – Planejar, Experimentar, Refletir, Padronizar);
- d) **Produção padronizada:** o nivelamento, ritmo e fluxo ajudam a metodologia *lean* a sustentar um padrão de produção; a logística *lean* realiza a padronização das rotas de abastecimento das células produtivas;
- e) **Mudança cultural:** é um fator fundamental para a sustentação do projeto de cadeias *lean* no longo prazo. Equivale ao quinto “S” (disciplina) da ferramenta 5’S;
- f) **Colaboração entre empresas:** a implantação dos conceitos *lean* em uma cadeia de suprimento requer a colaboração de seus elos e a tomada de decisões compartilhada.

3.2 Avaliação de Desempenho de Cadeias de Suprimento

A avaliação e gestão do desempenho de cadeias de suprimento têm se tornado atividades de reconhecida importância, principalmente devido à complexa natureza dos processos de negócios, que geralmente envolvem múltiplos objetivos e indicadores de desempenho (CAI; LIU; LIU, 2009; YEH; CHENG; CHI, 2007). Neely, Gregory e Plattes (1995) definem medição de desempenho como o processo de quantificar a eficiência e a eficácia de uma ação. O desempenho se refere à informação sobre os resultados obtidos dos processos e produtos, que permite avaliar a comparação em relação a metas, padrões, resultados do passado e com outros processos e produtos (DE WAAL, 2007). De Wall (2007) complementa que a medição em si não conduz automaticamente a melhorias no desempenho da organização, sendo somente o início de uma sequência de ações de gestão que visam à identificação e melhoria de fatores críticos de desempenho. Um dos benefícios da avaliação do desempenho de cadeias de suprimento é a obtenção de um quadro compreensível e atual de informações sobre o desempenho do negócio. Outra contribuição é possibilitar um

diagnóstico das fraquezas do negócio e decidir quando e onde ações corretivas devem ser aplicadas (KUENG, WETTSTEIN; LIST, 2001).

De acordo com Nudurupati et al. (2011) e Shafiee, Lotfi e Saleh (2014), alguns complicadores que dificultam a avaliação de cadeias de suprimento são:

- Falta de alinhamento entre os indicadores adotados e a estratégia competitiva da cadeia;
- Adoção de grande número de medidas, difíceis de ser gerenciadas;
 - Foco no custo em detrimento dos indicadores qualitativos;
- Dificuldade de medir resultados que são qualitativos por natureza;
 - Encorajamento do término rápido;
 - Foco insuficiente no consumidor e concorrentes;
- Falta de comprometimento da alta gestão da organização;
- Falta de sistema pensativo.

Na literatura podem ser encontrados modelos conceituais e modelos quantitativos para apoiar a avaliação de desempenho de cadeias de suprimento. Gunasekaran, Patel e Tirtiroglu (2001) propuseram um modelo conceitual pioneiro para avaliação de desempenho de cadeias de suprimento que abrange os níveis estratégico, tático e operacional e usa indicadores financeiros e não financeiros associados ao desempenho em planejamento, aquisição, produção, entrega, satisfação e serviço ao cliente. Theeranuphattana e Tang (2008) propuseram um modelo quantitativo com base nos indicadores do modelo SCOR[®] para avaliar o desempenho global de cadeias de suprimento considerando as dimensões de desempenho confiabilidade, responsividade, custos, flexibilidade e ativos (patrimônio). Ahi e Searcy (2015) desenvolveram um modelo para medição de desempenho de cadeias sustentáveis que considera indicadores relacionados às dimensões econômica, ambiental, social, resiliência, fluxos, valor, *stakeholders*, eficiência, relacionamento e coordenação.

A Tabela 1 apresenta os estudos identificados na literatura que propõem abordagens quantitativas para a avaliação de desempenho de cadeias de suprimento *lean*, baseadas na combinação de múltiplos indicadores com métodos de tomada de decisão ou técnicas estatísticas. Enquanto a maioria dos estudos utiliza uma única técnica, o modelo proposto por Behrouzi e Wong (2013) integra a lógica *fuzzy* com a modelagem de variáveis estocásticas para obter vantagens provenientes de ambas as técnicas.

Tabela 1 – Modelos de avaliação de desempenho de cadeias de suprimento enxuta (*lean*)

Abordagem	Autores		Técnica(s)	Escopo
Métodos isolados	Afonso	e Cabrita (2015)	AHP (<i>analytic hierarchy process</i>)	Desenvolvimento de um quadro de desempenho de uma cadeia de suprimento enxuta com base na perspectiva do <i>balanced scorecard</i> (BSC).
	Arif-Uz-Zaman	e Ahsan (2014)	<i>Fuzzy numbers</i>	Medição de desempenho da cadeia de suprimento <i>lean</i> .
	Agarwal, Shankar	e Tiwari (2006)	ANP (<i>analytic network process</i>)	Modelagem das métricas de cadeia de suprimento <i>lean, agile e leagile</i> baseada em ANP.
	Behrouzi	e Wong (2011)	PCA (<i>principal component analysis</i>)	Investigação e identificação de medidas de desempenho da cadeia de suprimento <i>lean</i> nas SMEs automotivos.
	Kainuma	e Tawara (2006)	<i>The multi-attribute utility theory</i>	Uma abordagem baseada na teoria multiatributo para avaliação de cadeias de suprimento <i>lean e green</i> .
Métodos combinados	Behrouzi	e Wong (2013)	<i>Integrated stochastic-fuzzy approach</i>	Um sistema de modelagem integrado <i>stochastic-fuzzy</i> para avaliação de cadeias de suprimento <i>lean</i> .

Fonte: Autor

As técnicas adotadas para apoiar a avaliação de desempenho de cadeias de suprimento devem ser capazes de lidar com a imprecisão dos valores dos indicadores de desempenho, que pode ser causada pela ausência de dados históricos reais sobre o desempenho da cadeia avaliada, da existência de informações conflitantes, dificuldade de avaliar alguns aspectos qualitativos do desempenho ou impressão individual (subjetividade) que os tomadores de decisão possuem a respeito dos elementos do problema e que é transmitida ao modelo de decisão por meio dos julgamentos fornecidos para a parametrização do sistema e quantificação do desempenho da(s) cadeia(s) avaliada. As técnicas AHP e ANP lidam com a quantificação de aspectos qualitativos e imprecisos por meio da comparação pareada entre os elementos do problema. Já as abordagens baseadas em lógica *fuzzy* utilizam variáveis linguísticas representadas por números *fuzzy* que quantificam a imprecisão associada às informações e podem ser modeladas de acordo com os julgamentos dos tomadores de decisão (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2014).

Um aspecto importante para a escolha de um método de tomada de decisão adequado é que este permita a inclusão e a exclusão de critérios e de fornecedores sem gerar inconsistências nos resultados. Entretanto, os modelos de avaliação de desempenho de cadeias *lean* baseados nas técnicas AHP (AFONSO; CABRITA, 2015) e ANP (AGARWAL; SHANKAR; TIWARI, 2006) podem inverter o resultado do ranqueamento sempre que novos critérios ou alternativas forem incluídos ou excluídos. Além dessa limitação, as abordagens baseadas em tais técnicas comparativas limitam a quantidade de fornecedores que podem ser avaliados simultaneamente por requererem a comparação par a par entre as alternativas avaliadas (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2014). O uso do método *Fuzzy-TOPSIS*, descrito a seguir, permite contornar essas limitações.

4. O Método *Fuzzy-TOPSIS*

Chen (2000) propôs a primeira combinação entre o método TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) e a teoria dos conjuntos *fuzzy*, gerando o método *Fuzzy-TOPSIS*, que atualmente é bastante utilizado para tomada de decisão em cenários de incerteza. A teoria dos conjuntos *fuzzy* (*Fuzzy Set Theory - FST*) foi desenvolvida por Zadeh (1965) e vem sendo cada vez mais aplicada na modelagem de sistemas definidos por meio de variáveis imprecisas. A utilização da FST no tratamento de incerteza se deve principalmente à lógica que define o grau de inclusão dos elementos em conjuntos *fuzzy*: a FST modela um conjunto *fuzzy* por meio de uma função de lógica $\mu_A(x): X \rightarrow [0.0, 1.0]$, para permitir níveis parciais de inclusão. Ao contrário da teoria dos conjuntos clássica, em que um conjunto pode ser definido usando uma função característica $\mu_A(x): X \rightarrow \{0.0, 1.0\}$, na teoria dos conjuntos *fuzzy* e na lógica *fuzzy* (versão lógica desta teoria), como $\mu_A(x)$ toma valores no intervalo contínuo $[0.0, 1.0]$, admite-se a existência de níveis intermediários entre os valores de pertinência "falso" (0.0) e "verdadeiro" (1.0) (ZADEH, 1965; PEDRYCZ; GOMIDE, 2007; LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015).

No método *Fuzzy-TOPSIS*, as pontuações das alternativas e o peso dos critérios de decisão são definidos como variáveis linguísticas. Uma variável linguística é aquela cujos valores são definidas em linguagem natural ou artificial, permitindo distinguir qualificações por meio de faixas de gradações (ZADEH, 1973). Por exemplo, o valor da variável linguística "habilidade para responder à demanda" pode ser medido por meio dos termos linguísticos "ruim", "boa" e "ótima".

Termos linguísticos geralmente são representados por números *fuzzy* triangulares e trapezoidais. Números *fuzzy* são constituídos por conjuntos *fuzzy* que obedecem a condições de normalidade e continuidade. A estrutura de um número *fuzzy* permite a quantificação da imprecisão associada a uma dada informação, sendo definida por meio do comportamento de sua função de pertinência $\mu(x)$. Como ilustra a Figura 1, um número *fuzzy* triangular pode ser

escrito na forma (l, m, u) , em que m indica um valor *crisp* formal para o conjunto *fuzzy*, l é o limite inferior e u é o limite superior. Já os números *fuzzy* trapezoidais são funções lineares caracterizadas por 4 parâmetros (l, m, n, u) . Funções de pertinência não lineares, como as funções sigmoidais, também são usadas em aplicações envolvendo FST (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007; KAHARAMAN, 2008).

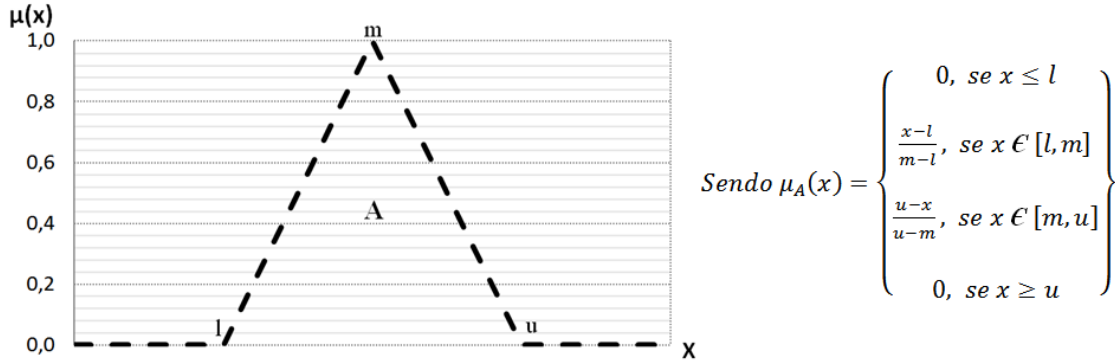


Figura 1 - Número *fuzzy* triangular. Fonte: Lima Junior e Carpinetti (2015)

Operações com dois números triangulares \tilde{A} e \tilde{B} podem ser feitas usando a equação 1 para soma, equação 02 para subtração, equação 03 para multiplicação e equação 04 para divisão (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007; LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015).

$$\tilde{A} + \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] + [l_B, m_B, u_B] = [l_A + l_B, m_A + m_B, u_A + u_B] \quad (01)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] - [l_B, m_B, u_B] = [l_A - u_B, m_A - m_B, u_A - l_B] \quad (02)$$

$$\tilde{A} * \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] * [l_B, m_B, u_B] = [l_A * l_B, m_A * m_B, u_A * u_B] \quad (03)$$

$$\tilde{A} / \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] / [l_B, m_B, u_B] = [l_A / u_B, m_A / m_B, u_A / l_B] \quad (04)$$

Postos alguns fundamentos da FST que são necessários para aplicar o método *Fuzzy-TOPSIS*, descreve-se a seguir o algoritmo deste método (CHEN, 2000; LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015):

i. Coletar os valores linguísticos fornecidos por cada um dos tomadores de decisão (DM_r). A equação 05 é usada para agregar as pontuações das alternativas fornecidas pelos vários tomadores de decisão. Nessa equação, \tilde{x}_{ij}^r descreve as pontuações da alternativa A_i ($i = 1, \dots, n$), em relação ao critério C_j ($j = 1, \dots, m$), dado pelo tomador de decisão DM_r ($r = 1, \dots, k$). As avaliações dos pesos dos critérios são agregados usando a equação 06, em que \tilde{w}_j^r descreve o peso do critério, dado por DM_r .

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{k} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^r + \dots + \tilde{x}_{ij}^k] \quad (05)$$

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{k} [\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \dots + \tilde{w}_j^k] \quad (06)$$

ii. Montar uma matriz de decisão *fuzzy* \tilde{D} para as pontuações das alternativas e um vetor *fuzzy* \tilde{W} para o peso dos critérios de acordo com as equações 07 e 08, respectivamente.

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_m \\ A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1j} & \dots & \tilde{x}_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ A_i & \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \dots & \tilde{x}_{ij} & \dots & \tilde{x}_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ A_n & \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{nj} & \dots & \tilde{x}_{nm} \end{matrix} \quad (07)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_m] \quad (08)$$

iii. Normalizar a matriz \tilde{D} usando uma escala de transformação linear. A matriz normalizada \tilde{R} é dada pela equação 09, sendo \tilde{r}_{ij} obtido por meio das equações 10 ou 11.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (09)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right), \text{ sendo } u_j^+ = \max_i u_{ij} \text{ (critérios de benefício)} \quad (10)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right), \text{ sendo } l_j^- = \min_i l_{ij} \text{ (critérios de custo)} \quad (11)$$

iv. Obter a matriz normalizada e ponderada \tilde{V} (equação 12) por meio da multiplicação dos pesos \tilde{w}_j pelos elementos \tilde{r}_{ij} da matriz normalizada conforme a equação 13.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad (12)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * \tilde{w}_j \quad (13)$$

v. Definir a solução ideal positiva *fuzzy* (*Fuzzy Positive Ideal Solution*, FPIS, A^+) e a solução ideal negativa (*Fuzzy Negative Ideal Solution*, FNIS, A^-) de acordo com as equações 14 e 15, em que $\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1)$ e $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$.

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_j^+, \dots, \tilde{v}_m^+\} \quad (14)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_j^-, \dots, \tilde{v}_m^-\} \quad (15)$$

vi. Calcular a distância D_i^+ entre os valores de FPIS e as pontuações das alternativas da matriz \tilde{R} usando a equação 16. Paralelamente, calcular a distância D_i^- entre os valores de FNIS e as pontuações das alternativas usando a equação 17. Nas equações 16 e 17, $d(\dots)$ representa a distância entre dois números *fuzzy* de acordo com o método *vertex*, que pode ser obtida por meio da equação 18 (para o caso de números *fuzzy* triangulares).

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad (16)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (17)$$

$$d(\tilde{x}, \tilde{z}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_x - l_z)^2 + (m_x - m_z)^2 + (u_x - u_z)^2]} \quad (18)$$

vii. Calcular o coeficiente de aproximação CC_i de acordo com a equação 19 para todas as alternativas avaliadas.

$$CC_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (19)$$

viii. Definir um *ranking* a partir da ordenação decrescente dos valores de CC_i . Quanto mais próximo de 1,0 for este valor, melhor é o desempenho global da alternativa.

5. Apresentação e Discussão de Resultados

5.1 Aplicação do Método *Fuzzy-TOPSIS* em um Caso Ilustrativo

Uma montadora de uma indústria automotiva deseja avaliar o desempenho das cadeias nas quais está inserida. Essas cadeias incluem fornecedores de primeira camada (como os fabricantes de motores e sistemas de transmissão) e de segunda camada (fornecedores de componentes). Há várias formas de delimitar o escopo de avaliação de cadeias de suprimento. Nesse exemplo, cada cadeia avaliada se refere a um fornecedor de primeira camada e seus respectivos fornecedores de segunda camada. No total, foram avaliadas 15 cadeias, denominadas A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14 e A15. Para quantificar o desempenho dessas cadeias, tomadores de decisão das áreas de qualidade, compras, desenvolvimento de fornecedores e logística se basearam em sua experiência e em um conjunto de dados históricos sobre a avaliação do desempenho dos fornecedores e da qualidade da matéria-prima. Os indicadores de avaliação de desempenho considerados foram:

- C_1 : Desempenho dos membros da cadeia em relação a custo (WONG, 2009);
- C_2 : Capacidade de resposta às flutuações da demanda (WINCEL, 2004);
- C_3 : Prazo de execução na fabricação (BERRY et al. 2002; POCHAMPALLY et al., 2009);
- C_4 : Taxa de rejeição pelo cliente e na produção (BERRY et al. 2002; ARAMYAN et al., 2009);
- C_5 : Serviço ao cliente (GOLDSBY et al., 2006).

A escala de valores linguísticos mostrada na Tabela 1, definida entre [0, 1], foi desenvolvida para avaliação o peso dos indicadores de desempenho adotados. Já a escala de valores linguísticos apresentada na Tabela 2, que abrange o intervalo [0, 10], foi desenvolvida para avaliar o desempenho das cadeias de suprimento em relação a cada indicador individualmente. Ambas escalas utilizam números *fuzzy* triangulares para quantificar os termos linguísticos.

TABELA 1 - Escala linguística definida para avaliar o peso dos indicadores de desempenho

Termos linguísticos	l	m	u
Pouco importante (PI)	0	0	0,25
Moderadamente importante (MD)	0	0,25	0,5
Importante (I)	0,25	0,5	0,75
Muito Importante (MI)	0,5	0,75	1
Absolutamente Importante (AI)	0,75	1	1

Fonte: Autor

TABELA 2 - Escala linguística definida para avaliar o desempenho das cadeias de suprimento

Termos linguísticos	l	m	u
Muito baixo (MB)	0	0	2,5
Baixo (B)	0	2,5	5
Mediano (M)	2,5	5	7,5
Alto (A)	5	7,5	10
Excelente (E)	7,5	10	10

Fonte: Autor

As avaliações linguísticas obtidas dos tomadores de decisão em relação ao peso dos indicadores e ao desempenho da cadeia são apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Por meio das equações 12 e 13, obteve-se a matriz de decisão *fuzzy* ponderada e normalizada \tilde{V} , mostrada na Tabela 6.

TABELA 1 - Valores linguísticos atribuídos aos pesos dos critérios

C1	C2	C3	C4	C5
AI	AI	MI	I	I

Fonte: Autor

TABELA 2 - Valores linguísticos atribuídos ao desempenho das alternativas

Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5
A1	MB	B	M	E	A
A2	E	M	M	A	E
A3	M	B	A	E	A
A4	E	E	E	M	A
A5	MB	A	E	A	B
A6	E	A	A	M	M
A7	A	A	A	M	B
A8	E	E	E	M	B
A9	E	M	A	B	E
A10	A	A	M	E	E
A11	A	A	E	E	E
A12	M	A	B	E	E
A13	A	A	B	E	E
A14	E	B	B	M	B
A15	MB	E	B	M	E

Fonte: Autor

TABELA 3 – Números *fuzzy* correspondentes aos julgamentos linguísticos.

Alternativas	C1			C2			C3			C4			C5		
	l	M	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	U
A1	0,01	0,01	2,5	0	2,5	5	2,5	5	7,5	7,5	10	10	5	7,5	10
A2	7,5	10	10	2,5	5	7,5	2,5	5	7,5	5	7,5	10	7,5	10	10
A3	2,5	5	7,5	0	2,5	5	5	7,5	10	7,5	10	10	5	7,5	10
A4	7,5	10	10	7,5	10	10	7,5	10	10	2,5	5	7,5	5	7,5	10
A5	0,01	0,01	2,5	5	7,5	10	7,5	10	10	5	7,5	10	0	2,5	5
A6	7,5	10	10	5	7,5	10	5	7,5	10	2,5	5	7,5	2,5	5	7,5
A7	5	7,5	10	5	7,5	10	5	7,5	10	2,5	5	7,5	0	2,5	5
A8	7,5	10	10	7,5	10	10	7,5	10	10	2,5	5	7,5	0	2,5	5
A9	7,5	10	10	2,5	5	7,5	5	7,5	10	0	2,5	5	7,5	10	10
A10	5	7,5	10	5	7,5	10	2,5	5	7,5	7,5	10	10	7,5	10	10
A11	5	7,5	10	5	7,5	10	7,5	10	10	7,5	10	10	7,5	10	10
A12	2,5	5	7,5	5	7,5	10	0	2,5	5	7,5	10	10	7,5	10	10
A13	5	7,5	10	5	7,5	10	0	2,5	5	7,5	10	10	7,5	10	10
A14	7,5	10	10	0	2,5	5	0	2,5	5	2,5	5	7,5	0	2,5	5
A15	0,01	0,01	2,5	7,5	10	10	0	2,5	5	2,5	5	7,5	7,5	10	10
Peso dos Critérios	C1			C2			C3			C4			C5		
	l	M	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	U
	0,75	1	1	0,75	1	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75

Fonte: Autor

TABELA 6 - Matriz de decisão *fuzzy* normalizada e ponderada

	C1			C2			C3			C4			C5		
	l	m	U	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	U
A1	0,00	1,00	1,00	0,00	0,25	0,50	0,13	0,38	0,75	0,19	0,50	0,75	0,13	0,38	0,75
A2	0,00	0,00	0,00	0,19	0,50	0,75	0,13	0,38	0,75	0,13	0,38	0,75	0,19	0,50	0,75
A3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,50	0,25	0,56	1,00	0,19	0,50	0,75	0,13	0,38	0,75
A4	0,00	0,00	0,00	0,56	1,00	1,00	0,38	0,75	1,00	0,06	0,25	0,56	0,13	0,38	0,75
A5	0,00	1,00	1,00	0,38	0,75	1,00	0,38	0,75	1,00	0,13	0,38	0,75	0,00	0,13	0,38
A6	0,00	0,00	0,00	0,38	0,75	1,00	0,25	0,56	1,00	0,06	0,25	0,56	0,06	0,25	0,56
A7	0,00	0,00	0,00	0,38	0,75	1,00	0,25	0,56	1,00	0,06	0,25	0,56	0,00	0,13	0,38
A8	0,00	0,00	0,00	0,56	1,00	1,00	0,38	0,75	1,00	0,06	0,25	0,56	0,00	0,13	0,38
A9	0,00	0,00	0,00	0,19	0,50	0,75	0,25	0,56	1,00	0,00	0,13	0,38	0,19	0,50	0,75
A10	0,00	0,00	0,00	0,38	0,75	1,00	0,13	0,38	0,75	0,19	0,50	0,75	0,19	0,50	0,75
A11	0,00	0,00	0,00	0,38	0,75	1,00	0,38	0,75	1,00	0,19	0,50	0,75	0,19	0,50	0,75
A12	0,00	0,00	0,00	0,38	0,75	1,00	0,00	0,19	0,50	0,19	0,50	0,75	0,19	0,50	0,75
A13	0,00	0,00	0,00	0,38	0,75	1,00	0,00	0,19	0,50	0,19	0,50	0,75	0,19	0,50	0,75
A14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,50	0,00	0,19	0,50	0,06	0,25	0,56	0,00	0,13	0,38
A15	0,00	1,00	1,00	0,56	1,00	1,00	0,00	0,19	0,50	0,06	0,25	0,56	0,19	0,50	0,75

Fonte: Autor

A solução ideal positiva *fuzzy*, mostrada na Tabela 7, foi definida conforme a Equação 14, enquanto a solução ideal negativa *fuzzy* foi definida segundo a Equação 15 e é apresentada na Tabela 15.

TABELA 7 - Solução ideal positiva (FPIS)

	C1			C2			C3			C4			C5		
	l	m	u	L	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Autor

TABELA 8 – Solução ideal negativa (FNIS)

	C1			C2			C3			C4			C5		
	l	m	u	L	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autor

Usando a equação 16, com base no método *vertex*, obteve-se uma medida de separação D^+ entre os valores de FPIS e a pontuação de das alternativas em cada indicador, conforme mostra a Tabela 9. Analogamente, usando a equação 17, obteve-se D^- , exibida na Tabela 10, que consiste na distância entre os valores de FNIS e a pontuação de das alternativas em cada indicador.

TABELA 9 – Distância entre as pontuações das alternativas e FPIS

	C1	C2	C3	C4	C5	D^+
A1	0,58	0,78	0,64	0,57	0,64	3,20
A2	1,00	0,57	0,64	0,64	0,57	3,41
A3	1,00	0,78	0,50	0,57	0,64	3,48
A4	1,00	0,25	0,39	0,74	0,64	3,02
A5	0,58	0,39	0,39	0,64	0,85	2,84
A6	1,00	0,39	0,50	0,74	0,74	3,36
A7	1,00	0,39	0,50	0,74	0,85	3,47
A8	1,00	0,25	0,39	0,74	0,85	3,23
A9	1,00	0,57	0,50	0,85	0,57	3,49
A10	1,00	0,39	0,64	0,57	0,57	3,16
A11	1,00	0,39	0,39	0,57	0,57	2,91
A12	1,00	0,39	0,80	0,57	0,57	3,32
A13	1,00	0,39	0,80	0,57	0,57	3,32

A14	1,00	0,78	0,80	0,74	0,85	4,16
A15	0,58	0,25	0,80	0,74	0,57	2,93

Fonte: Autor

TABELA 10 – Distância entre as pontuações das alternativas e FNIS

	C1	C2	C3	C4	C5	D
A1	0,82	0,32	0,49	0,53	0,49	2,65
A2	0,00	0,53	0,49	0,49	0,53	2,04
A3	0,00	0,32	0,68	0,53	0,49	2,02
A4	0,00	0,88	0,75	0,36	0,49	2,48
A5	0,82	0,75	0,75	0,49	0,23	3,04
A6	0,00	0,75	0,68	0,36	0,36	2,15
A7	0,00	0,75	0,68	0,36	0,23	2,02
A8	0,00	0,88	0,75	0,36	0,23	2,22
A9	0,00	0,53	0,68	0,23	0,53	1,97
A10	0,00	0,75	0,49	0,53	0,53	2,31
A11	0,00	0,75	0,75	0,53	0,53	2,57
A12	0,00	0,75	0,31	0,53	0,53	2,13
A13	0,00	0,75	0,31	0,53	0,53	2,13
A14	0,00	0,32	0,31	0,36	0,23	1,22
A15	0,82	0,88	0,31	0,36	0,53	2,89

Fonte: Autor

Usando a equação 19, foram calculados os valores do coeficiente de proximidade (CC_i) de cada uma das alternativas. Esses valores foram usados para gerar um *ranking* posicionando as diferentes cadeias avaliadas em relação ao seu desempenho global, conforme mostra o *ranking* da Tabela 11. Dentre as cadeias avaliadas, a cadeia A5 foi a que apresentou o melhor desempenho global. A cadeia A14 obteve o pior desempenho, sinalizando que os fornecedores compreendidos nessa cadeia necessitam de ações de melhoria e programas de desenvolvimento, voltados principalmente para as áreas nas quais os indicadores desta cadeia apresentaram baixo desempenho. As cadeias A9, A7 e A3 também apresentaram um baixo desempenho global e necessitam de esforços de melhoria.

TABELA 11 - Coeficiente de proximidade das alternativas

Posicionamento relativo	Cadeia de suprimento	CCi
1º	A5	0,517
2º	A15	0,496
3º	A11	0,469
4º	A1	0,453
5º	A4	0,451
6º	A10	0,422
7º	A8	0,408
8º	A6	0,39
9º	A12	0,39
10º	A13	0,39
11º	A2	0,374
12º	A3	0,368
13º	A7	0,367
14º	A9	0,361
15º	A14	0,226

Fonte: Autor

6. Conclusão

Modelos de avaliação de desempenho são de grande utilidade no apoio à gestão de cadeias de suprimento e na tomadas de decisão visando ao planejamento e implantação de ações de melhoria que alavanquem o desempenho da cadeia como um todo. Esse estudo apresentou um modelo de avaliação de desempenho voltado para cadeias *lean* baseado no

método *Fuzzy-TOPSIS*. Um caso ilustrativo mostrou como o modelo proposto pode ser aplicado na avaliação e ordenação de diversas cadeias de suprimento com base em múltiplos indicadores de desempenho

O uso do método *Fuzzy-TOPSIS* para ajudar gestores na tomada de decisão e avaliação de desempenho de cadeias de suprimento *lean* apresenta diversas vantagens em relação a técnicas usadas nos modelos existentes, como AHP e ANP. Além de ser adequado para situações de decisão sob incerteza, esse método torna possível utilizar variáveis linguísticas, informações aproximadas e avaliar indicadores qualitativos. Outra vantagem é a possibilidade de incluir ou excluir novos critérios e indicadores sem alterar o desempenho dos demais. Entretanto, quando comparado com o método *TOPSIS*, o *Fuzzy-TOPSIS* exige uma maior interação com os gestores na parametrização do sistema por possuir um processo de modelagem mais complexo e requerer o entendimento de conceitos fundamentais da teoria dos conjuntos *fuzzy*.

Pesquisas futuras podem aplicar o modelo proposto em casos reais de avaliação de cadeias de suprimento *lean*. Nesses casos, os indicadores de desempenho adotados devem ser revisados, de modo a alinhá-los com os objetivos de desempenho da cadeia avaliada. O método *Fuzzy-TOPSIS* também pode ser utilizado no desenvolvimento de novos modelos de avaliação de desempenho para cadeias de suprimento de estratégia ágil, flexível, sustentável e *green*.

Agradecimentos

À CAPES pelo financiamento desta pesquisa.

Referências

AFONSO, H., CABRITA, M. R. *Developing a lean supply chain performance framework in a sme: a perspective based on the balanced scorecard*. In: **ETRIA EUROPEAN TRIZ ASSOCIATION**, Lisboa, v. 131, p. 270-279, 2015.

AGARWAL, A.; SHANKAR, R.; TIWARI, M. K. *Modeling the metrics of lean, agile and leagile supply chain: An ANP-based approach*. **European Journal of Operational Research**, 173, 211-225, 2006.

AHI, P.; SEARCY, C. Assessing sustainability in the supply chain: A triple bottom line approach. **Applied Mathematical Modelling**, v.39, n. 10-11, p. 2882-2896, 2015.

AMARATUNGA, D.; BALDRY, D.; SARSHAR, M. *Process Improvement Through Performance Measuremet: The Balanced Scorecard Methodology*. **School of Construction and Property Management, University of Salford**, v. 50, n. 5, p.179-189, 2001.

ARAMYAN, L.; MEUWISSEN, M.; LANSINK, A.;VORST, J.; KOOTEN, O; LANS, I. *The perceived impact of quality assurance systems on tomato supply chain performance*, **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 20, n. 6, p.633–653, 2009.

ARIF-UZ-ZAMAN, K.; AHSAN, A.M.M.N.. *Lean supply chain performance measurement*. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v.63, n.5, p.588 - 612, 2014.

BASU, RON; WRIGHT, J NEVAN. **Total Supply Chain Management**. 1 ed. EUA: Butterworth-Heineman, 2007. 320 p.

- BEAMON, B. M. *Measuring supply chain performance. International Journal of Operations & Production Management*, v. 9, n. 3, p. 275-292, 1999.
- BEHROUZI, F.; WONG, K. Y. *An investigation and identification of lean supply chain performance measures in the automotive smes. Academic journals*, v. 6, n. 24, p. 5239-5252, 2011.
- BEHROUZI, F.; WONG, K.Y. *An integrated stochastic-fuzzy modeling approach for supply chain leanness evaluation. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 68, n. 58, p.1677–1696, 2013.
- BERRY, W.; BRUUN, P.; WARD, P. *Lean manufacturing: a mapping of competitive, initiatives, practices, and operational performance in Danish manufacturers. Proceedings of 9th International Conference, European Operations Management Association*, 2002.
- CAI, J.; LIU, X.; LIU, J. *Improving supply chain performance management: A Systematic approach to analyzing iterative KPI accomplishment. Decision Support Systems*, v. 46, p. 512-521, 2009.
- CHEN, C. T. *Extensions of the TOPSIS for group decisionmaking under fuzzy environment. Fuzzy Sets and Systems*, v. 114, n. 1, p. 1-9, 2000.
- CHOPRA, SUNIL; MEINDL, PETER. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: a estratégia, planejamento e operação*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.
- DE WAAL, A. *Strategic Performance Management: A Managerial and Behavioural Approach*. Palgrave MacMillan: New York, 2007.
- DUNCAN, EWAN, RITTER, RON. *Next frontiers for lean. Mckinsey and Company*, 2014.
- EL-TAWY, N. and GALLEAR, D. *Leanness and agility as means for improving supply chains: a case study on Egypt. In: EUROPEAN, MEDITERRANEAN AND MIDDLE EAST CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS*. Greece, 2011. p. 809-841.
- EROL, L.; SENCER, S.; SARI, R.. *A new fuzzy multi-criteria framework for measuring sustainability performance of a supply chain. Ecological Economics*, v.70, n.6, p.1088-1100, 2011.
- GOLDSBY, T.; GRIFFIS, S; ROATH, A. *Modeling lean, agile and leagile supply chain strategies, Journal of Business Logistics*, Vol. 27, No. 1, pp.57–80, 2006.
- GUNASEKARAN, A.; PATEL, C.; TIRTIROGLU, E. *Performance measures and metrics in a supply chain environment. International Journal of Operations & Production Management*, v. 21, n. 1-2, p. 71-87, 2001.
- HINES, T. *Supply Chain Strategies: customer-driven and customer focused*, Boston, Elsevier, 2006.
- KAHARAMAN, C. (Org.) *Fuzzy multicriteria decision making: theory and applications with recente developments*. Turkey: Springer Science, 2008.
- KAINUMA, Y.; TAWARA, N. *A multiple attribute utility theory approach to lean and green supply chain management. International Journal of Production Economics*, v. 101, p. 99-108, 2006.

- KUENG, P.; WETTSTEIN, T.; LIST, B. *A holistic process performance analysis through a performance data warehouse. In: AMERICAS CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEM, 7., 2001, Boston. Proceedings Boston, 2001. p. 349-356.*
- LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C.; PAGH, J. D. *Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities. The International Journal of Logistics Management, Vol. 9, p. 1-20, 1998.*
- LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. *Gestão & Produção, v. 22, n. 1, p. 17-34, 2015.*
- LIMA JUNIOR, F.R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. *A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. Applied Soft Computing, v. 21, p. 194-209, 2014.*
- MENTZER, J.T.; WITT, W.; KEEBLER, J.S.; MIN, S.; NIX, N.; SMITH, C.D. *Defining supply chain management. Journal of Business Logistics, v. 22, n. 2, p. 1-25, 2001.*
- NAINI, S. G. J.; ALIAHMADI, A. R.; JAFARI-ESKANDARI, M.. *Designing a mixed performance measurement system for environmental supply chain management using evolutionary game theory and balanced scorecard: A case study of an auto industry supply chain. Resources, Conservation and Recycling, v.55, n.6, p.593-603, 2011.*
- NEELY, A., GREGORY M., PLATTES K. *Performance measurement systems design: a literature review and research agenda. International Journal of Operations & Production Management, v. 15, n. 4, p.80-116, 1995.*
- NUDURUPATI, S. S.; BITITCI, U. S.; KUMAR, V.; CHAN, F. T. S. *State of the art literature review on performance measurement. Computers & Industrial Engineering, v. 60, p. 279-290, 2011.*
- PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. *Fuzzy systems engineering: toward human-centric computing.* New Jersey: Wiley, 2007.
- PIDD, M. *Computer Simulation in management Science.* 5 ed. Lancaster, United Kingdom: Ed. John. Wiley & Sons, 2004, 328 p.
- PIRES, S. R. I. *Gestão da cadeia de suprimentos e o modelo de consórcio modular. Revista de administração, v.33, n.3, p.5-15, 1998.*
- POCHAMPALLY, K. K.; GUPTA, S. M.; GOVINDAN, K. *Metrics for performance measurement of a reverse/closed-loop supply chain, International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling, v. 1, n. 1,p. 8-32, 2009.*
- QI, Y., BOYER, K.K. and ZHAO, X. *Supply chain strategy, product characteristics, and performance impact: evidence from Chinese manufacturers. Decision Sciences, v. 4, n. 4, p. 667-696, 2009.*
- SHAFIEE, M.; LOTFI, F. H.; SALEH, H. *Supply chain performance evaluation with data envelopment analysis and balanced scorecard approach. Applied Mathematical Modelling, v. 38, p. 5092-5112, 2014.*

THEERANUPHATTANA, A.; TANG, J. C. S. *A conceptual model of performance measurement for supply chains: alternative considerations. Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 19, n. 1, p. 125-148, 2008.

VINODH, S.; DEVADASAN, S.R.; VIMAL, K.E.K.; KUMAR, D.. *Design of agile supply chain assessment model and its case study in an Indian automotive components manufacturing organization paper. Journal of Manufacturing Systems*, v.32, n.4, p.620-631, 2013.

WINCEL, J. P. *Lean Supply Chain Management: A Handbook for Strategic Procurement. Productivity Press*, 2004.

WOMACK, J.P. and JONES, D.T. *Lean thinking, banish waste and create wealth in our corporation*, 2003.

WONG, W.P. *Performance evaluation of supply chain in stochastic environment: using a simulation based DEA framework, International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, v. 1, n. 2-3, p. 203-228, 2009.

YEH, D. Y.; CHENG, C. H.; CHI, M. L. *A modified two-tuple FLC model for evaluating the performance of SCM: by the six sigma DMAIC process. Applied Soft Computing*, v. 7, p. 1027-1034, 2007.

ZADEH, L. A. *Fuzzy sets. Information and Control*, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZADEH, L. A. *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, v. 3, n. 1, p. 28-44, 1973.