



**Pesquisa operacional como método para gerenciamento da cadeia de
suprimentos: uma revisão sistemática da literatura**

Lara Beatriz Carvalho Martins

Universidade Federal de São Carlos

e-mail: larabmarins@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8955-6608>

Rosane Lucia Chicarelli Alcantara

Universidade Federal de São Carlos

e-mail: rosane@dep.ufscar.br

<http://orcid.org/0000-0002-7018-5456>

Resumo

A gestão da cadeia de suprimentos envolve a integração e a coordenação de todos os seus membros, o que a torna uma tarefa complexa, e a pesquisa operacional pode ser capaz de trazer soluções para boa parte das dificuldades encontradas nestes processos. Este artigo possui como objetivo analisar como as ferramentas da Pesquisa Operacional são utilizadas para solucionar diferentes problemas de gestão da cadeia de suprimentos. Para isso, foi feita uma revisão sistemática da literatura e, a partir desta, a análise do conteúdo obtido. Importante destacar o aumento do número de publicações nesta área nos últimos 5 anos. Como resultados, o estudo associa quais métodos de Pesquisa Operacional podem ser utilizados para a solução de diferentes problemas da gestão da cadeia de suprimentos, como por exemplo problemas de produção e distribuição.

Palavras-chave: Gestão; Cadeia de suprimentos; Pesquisa operacional.

Abstract

Supply chain management involves the integration and coordination of all its members, which makes it a complex task, and operational research may be able to bring solutions to most of the difficulties encountered in these processes. This article aims to analyze how Operational Research tools are used to solve different supply chain management problems. For this, a systematic literature review was carried out and, based on this, an analysis of the content obtained. It is important to highlight the increase in the number of publications in this area in the last 5 years. As a result, the study associates which Operational Research methods can be used to solve different supply chain management problems, such as production and distribution problems.

Keywords: Management; Supply chain; Operational research.

1. Introdução.

Os estudos sobre as definições e características da cadeia de suprimentos ao longo dos anos são diversificados. Para Ballou (2004), a cadeia de suprimentos é um conjunto de atividades funcionais, como transportes e controle de estoques, que se repetem inúmeras vezes ao longo do canal pelo qual matérias-primas sofrem transformações e são convertidas em produtos acabados. Lambert et al. (1998) consideram a cadeia de suprimentos como uma rede de múltiplos negócios e relações e não apenas como uma cadeia de negócios com relacionamentos “um a um”. Segundo Chopra & Meindl (2003), uma cadeia de suprimento engloba todos os estágios envolvidos, direta ou indiretamente, no atendimento de um pedido ao cliente. A cadeia de suprimentos deve incluir, além de fabricantes e fornecedores, transportadores, depósitos, varejistas e os próprios clientes. Sendo assim, não se trata de relacionamentos entre duas entidades, mas uma ampla rede de membros e relações. O gerenciamento da cadeia de suprimentos abrange todos os esforços envolvidos na produção e liberação de um produto/serviço, desde o primeiro fornecedor até o último cliente. Quatro processos básicos definem esses esforços: planejar, abastecer, fazer e entregar (Pires, 2004).

Além disso, uma cadeia de suprimentos é dinâmica e envolve um fluxo constante de informações, produtos e valor entre os diferentes estágios. Cada estágio da cadeia de suprimentos executa diferentes processos e interage com outros estágios (Chopra & Meindl, 2003). Na busca de maximizar o valor gerado por uma cadeia de suprimentos, a pesquisa operacional é adequada como método de solução e suas ferramentas vem sendo usadas para solucionar inúmeros problemas em diferentes processos. Segundo Francisco e Gilberto (2018), a pesquisa operacional é uma área que analisa e investiga o sistema do mundo real, ela utiliza modelos matemáticos de estatística e algoritmos para identificar com mais clareza as restrições e gargalos no sistema logístico. Assim, propõe pontos de melhorias/otimização de desempenho e auxilia na tomada de decisões empresariais.

Sendo assim, a pergunta de pesquisa deste trabalho é: Como as ferramentas e técnicas de otimização da pesquisa operacional podem ser utilizadas nos processos de gestão da cadeia de

suprimentos? Portanto, esse artigo possui como objetivo analisar como as ferramentas da Pesquisa Operacional são utilizadas para solucionar diferentes problemas de gestão da cadeia de suprimentos.

O presente artigo está estruturado da seguinte forma: na primeira seção foi apresentada a introdução do artigo. Na seção 2, o referencial teórico de algumas técnicas da pesquisa operacional que geralmente são utilizadas como método de solução para problemas da cadeia de suprimentos é exibido. Na seção 3, apresenta-se o conceito de revisão sistemática de literatura e, na subseção 3.1, é mostrado como a revisão será aplicada para o presente tema. Os resultados são expostos na seção 4 e seguidos das discussões e conclusões apresentadas na seção 5 e 6.

2. Revisão de literatura.

Segundo a ABEPRO (2008), a Pesquisa Operacional é uma ciência voltada para a resolução de problemas da realidade que envolvem situações de tomada de decisão, através de modelos matemáticos habitualmente processados computacionalmente. Ela aplica conceitos e métodos de outras disciplinas científicas, como matemática e computação, nos processos de concepção, de planejamento ou de operação de sistemas para atingir seus objetivos. Além disso, a pesquisa operacional conta com diversas ferramentas de otimização que se adequam aos diferentes problemas encontrados no gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Segundo Gavira (2003), alguns dos problemas típicos são: alocação, estoque, substituição ou reposição, filas de espera, sequência e coordenação, determinação de rotas, situações de competição e busca de informação/fornecedores. Desenvolveram-se, então, técnicas para modelar tais problemas e obter soluções a partir dos modelos. Algumas técnicas, conforme Dávalos (2002), são: Programação Linear, Programação Dinâmica, Programação Inteira, Teoria das Filas, Simulação, entre outras.

Para Prado (1998), a programação linear permite estabelecer a mistura ótima de diversas variáveis, segundo uma função linear de efetividade e satisfazendo a um conjunto de restrições lineares para estas variáveis. Esse método tem sido usado com sucesso na solução de problemas relativos à alocação de pessoal, mistura de materiais, distribuição, transporte, avaliação da eficiência, entre outros (Silva et al., 2014).

Outro método bastante utilizado é denominado Teoria de Filas. Segundo Taha (2008), o estudo de filas se baseia na quantificação do fenômeno da espera em filas usando medidas representativas de desempenho como o comprimento médio de uma fila, o tempo médio da espera em fila e a média de utilização da instalação. Esta ferramenta auxilia na solução de problemas como congestionamento de tráfego, máquinas de serviços sujeitas à quebra, determinação do nível de uma força de serviço, programação de produção.

Para a resolução de problemas de investimento e programação da produção, duas ferramentas são fortemente usadas: a programação dinâmica é uma técnica que busca encontrar uma solução ótima para problemas de otimização (máxima ou mínima) (Correa, 2017) e a Programação Inteira através de um modelo de programação linear que contém todas as variáveis de decisão com valores discretos, ou seja, aceitando apenas valores inteiros (Oliveira, 2019).

Uma outra ferramenta fortemente utilizada é a simulação. Tal ferramenta consiste na reprodução do funcionamento de um sistema real ou idealizado com o objetivo de melhor entender o problema em estudo, testar diferentes alternativas para sua operação e assim propor melhores formas de operá-lo (Saliby, 1999). As aplicações da simulação são eficazes para decisões de operações e logística, podendo ser contínua ou discreta (Pinho et al., 2009). Hoje, fortemente influenciadas pelos avanços tecnológicos, novas oportunidades surgiram, abrangendo praticamente todos os elos da cadeia de suprimentos.

Segundo Metz (1998), os avanços na área de Pesquisa Operacional permitem abranger, cada vez mais, problemas/processos da cadeia de suprimentos. Além disso, tem sido capaz de melhorar cada vez mais o nível de otimização buscado pelas empresas em suas operações diárias, estas que necessitam rapidez em suas tomadas de decisões. Os principais métodos foram apresentados nesta seção como recursos iniciais para a revisão sistemática da literatura, permitindo a abrangência do estudo.

3. Metodologia.

Segundo Mattos (2015), enquanto a revisão de literatura busca reunir todo o material escrito sobre um determinado assunto, a revisão sistemática busca responder a uma pergunta específica da área e identificar o avanço deste tema na literatura e evidenciar os principais problemas/processos estudados. Os procedimentos metodológicos estão descritos nas subseções a seguir.

3.1 Revisão Sistemática da literatura.

Biolchini et al. (2005) define Revisão Sistemática (RS) como um termo usado para se referir a uma metodologia específica de pesquisa desenvolvida com o objetivo de reunir e avaliar as evidências disponíveis referentes a um tema específico. Em contraste com o habitual processo de revisão de literatura, feito de forma não sistemática sempre que se inicia uma investigação particular, a RS é desenvolvida de uma maneira formal e sistemática. Isto significa que o processo de condução de uma pesquisa do tipo sistemática segue uma sequência de passos metodológicos muito bem definida e rigorosa, obedecendo um protocolo previamente desenvolvido. Devido ao seu papel importante no empreendimento científico, as regras gerais para a realização de revisões da literatura têm sido desenvolvidas a fim de garantir que o investigador obtenha boa qualidade de informação, além de facilitar síntese e resumo desta informação. Do ponto de vista conceitual, a revisão sistemática pode ser entendida como uma abordagem em três fases (Figura 1).

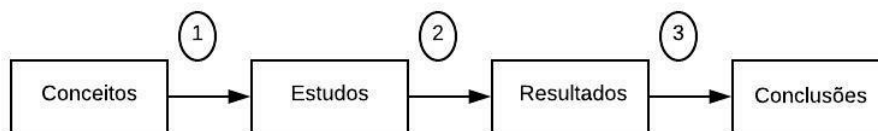


Figura 1 – Revisão Sistemática em três etapas

A primeira fase da pesquisa começa a partir dos conceitos, onde o assunto em questão é apresentado de forma explícita e segue para o estudo de materiais com potencial de informação sobre o tema específico da investigação. A segunda fase começa a partir destes estudos, que são avaliados, comparados entre si e reagrupados. Por último, a fase dos resultados representa o surgimento de um novo tipo de evidência, através de criteriosa análise e síntese dos dados que são possíveis através desta metodologia. As conclusões representam a aquisição de novos conhecimentos sobre o tema em questão, como também o suporte a alguma tomada de decisão relacionada ao tema.

Segundo Biolchini et al. (2005), as principais etapas que compõem o processo de revisão sistemática são: planejamento, revisão, execução, revisão e análise dos resultados (Figura 2). Durante o planejamento, os objetivos da pesquisa são listados e um protocolo de revisão é definido. Tal protocolo especifica a questão central de pesquisa e os métodos que irão ser utilizados para executar a análise dos dados. A etapa de execução envolve a identificação de estudos preliminares, seleção e avaliação de acordo com os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos anteriormente no protocolo de avaliação.

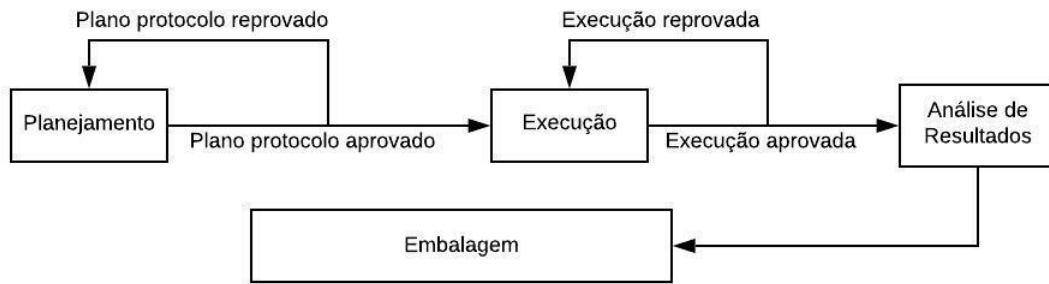


Figura 2 – Processo de Revisão Sistemática

Uma vez que os estudos foram selecionados, os dados dos artigos são extraídos e sintetizados durante a análise dos resultados e devem ser armazenados. Este armazenamento é chamado de Embalagem ou *Packaging*. Existem dois postos de controle no processo de revisão sistemática proposta: 1) Antes de executar a revisão sistemática, é necessário garantir que o planejamento é adequado. O protocolo deve ser avaliado e, se forem encontrados problemas, o pesquisador deve retornar à fase de planejamento para rever o protocolo. 2) Da mesma forma, se são encontrados problemas durante a fase de execução de busca na web, a revisão sistemática pode ser reexecutada.

3.2 Processo de Revisão Sistemática.

Para iniciar a revisão sistemática da literatura acerca do tema especificado “Pesquisa operacional como método para gerenciamento da cadeia de suprimentos”, a base de pesquisa web previamente escolhida foi SCOPUS. As palavras-chave que foram usadas são: *linear programming*, *queuing theory*, *mixed-integer programming*, *dynamic programming* e *simulation*, todas estas associadas a *supply chain management*.

Foram aceitos resultados nos idiomas: português, inglês e espanhol, considerando apenas artigos publicados em periódicos com revisão por pares. A análise foi feita em um período de 10 anos, buscando identificar se houve crescimento de literatura sobre este tema entre os anos 2011-2020. O objetivo secundário é identificar os principais problemas/processos de gestão de cadeia de suprimentos que estão sendo considerados e com quais ferramentas da pesquisa operacional estão sendo tratados.

Buscando apenas artigos na área de pesquisa *Engineering*, encontrou-se um certo número de artigos. A primeira etapa de análise foi a eliminação de artigos duplicados, seguida da leitura de título e resumo para descartar artigos sem potencial de informação. Posteriormente, é feita a leitura integral para chegar a um número final de artigos, legitimamente relacionados com o tema em questão e que atendem o objetivo deste estudo.

O Processo de Revisão Sistemática foi realizado através de quatro filtros e os resultados estão representados na Figura 3.

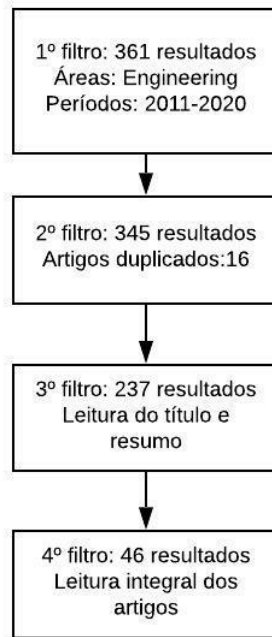


Figura 3 – Resultado do Processo de Revisão Sistemática

O primeiro filtro restringiu os resultados determinando o período de 2011 a 2020 e área de pesquisa *Engineering*. Nesta primeira etapa, foram encontrados 361 artigos. O segundo filtro se trata da eliminação de artigos duplicados, levando a um total de 345 artigos (exclusão de 16 artigos duplicados).

No terceiro filtro, foi feita a leitura do título e resumo para eliminação de artigos sem potencial de informação para a pesquisa, ou seja, aqueles que não abordavam ferramentas de pesquisa operacional como método de solução para problemas de gestão. Foram eliminados 108 artigos, totalizando 237 artigos restantes. O último filtro se refere a leitura integral dos artigos, na qual 191 artigos foram eliminados caso não apresentassem efetiva implementação do método utilizado ou não abordassem resultados e discussões. O resultado desta revisão contou com 46 artigos e será discutido ao longo deste capítulo. Além disso, os artigos selecionados foram listados no Apêndice A.

A Tabela 1 apresenta os periódicos onde os artigos foram publicados. O Journal Energy (Elsevier) conta com 7 artigos, seguido de Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review com 5 artigos e Computers and Industrial Engineering com 4 artigos. Os demais periódicos que apresentaram 3,2 e 1 artigos são apresentados na tabela.

Tabela 1 – Periódicos dos artigos

| Periódico | Nº de artigos |
|---|----------------------|
| Energy | 7 |
| Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review | 5 |
| Computers and Industrial Engineering | 4 |
| Applied Energy | 3 |
| Journal of Cleaner Production | 3 |
| International Journal of Advanced Manufacturing Technology | 2 |
| Journal of Manufacturing Systems | 2 |
| Journal of Manufacturing Technology Management | 2 |
| Scientia Iranica | 2 |
| Expert Systems with Applications | 1 |
| Industrial and Engineering Chemistry Research | 1 |

| | |
|--|---|
| Information Sciences | 1 |
| International Journal of Computer Integrated Manufacturing | 1 |
| International Journal of Industrial and Systems Engineering | 1 |
| International Journal of Industrial Engineering Computations | 1 |
| International Journal of Management Science and Engineering Management | 1 |
| International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering | 1 |
| International Journal of Production Economics | 1 |
| International Journal of Production Research | 1 |
| Journal of Industrial Engineering International | 1 |
| Journal of Systems Science and Systems Engineering | 1 |
| Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems | 1 |
| Mathematical Problems in Engineering | 1 |
| Nase More | 1 |
| Transportation Research Part D: Transport and Environment | 1 |

4. Resultados.

Após a leitura completa dos 46 artigos foi possível notar os diferentes tipos de problemas que a pesquisa operacional pode solucionar. A seguir serão apresentados estudos no qual foram utilizadas ferramentas de pesquisa operacional para solução de variados problemas.

Um dos principais problemas atendidos pelo uso de ferramentas de Pesquisa Operacional na cadeia de suprimentos é a otimização de cadeias de suprimentos de geração de energia. Li et al. (2020) apresentaram um problema envolvendo a produção de novos veículos de energia na China, com o uso de cooperação em toda a cadeia e de incentivo de crédito duplo. Outros estudos importantes sobre otimização da cadeia de suprimentos de biomassa foram realizados por Roni et al. (2019) e Liu et al. (2017). Considerando esta mesma cadeia, Mohseni et al. (2016) apresentaram um estudo de caso no Irã. Zarei e Amin-Naseri (2019) e Calderón et al. (2017) apresentaram modelos de otimização para gás natural e gás natural sintético, respectivamente. Com o objetivo de otimizar as cadeias de suprimentos de diesel renovável e combustível de biojato, Leila et al. (2018) realizaram um estudo de caso na Califórnia, Estados Unidos. Chávez et al. (2018) estudaram um modelo abrangente de otimização da cadeia de suprimentos de biocombustível a partir de resíduos da colheita de café. As abordagens baseadas em otimização para cadeias de suprimento de biocombustíveis foram apresentadas pelos autores: Jonker et al. (2016) no estudo de etanol e Akgul et al. (2011) para o bioetanol. Palander (2011) desenvolveu uma modelagem da cadeia de suprimentos renovável para geração de eletricidade com combustíveis florestais, fósseis e de resíduos de madeira.

Outro processo frequentemente abordado nos artigos selecionados é o problema de roteamento. O problema de roteamento de localização em uma cadeia de fornecimento de petróleo e gás *offshore* é tratado por Amiri et al. (2019) através de uma abordagem de decomposição lagrangeana. Ahkamiraad e Wang (2018) abordaram um problema de roteamento de veículos com *cross-dock*, capacitado e com múltiplas janelas de recebimento, entrega e tempo. A aplicação do algoritmo de Clark e Wright para resolver problemas de roteamento na logística de suprimentos foi feita por Jeřábek et al. (2016). Soysal (2016) apresentou um problema de roteamento de estoque de circuito fechado para itens com transporte retornáveis, com um estudo de caso sobre as operações de distribuição de uma empresa de refrigerantes. O problema de roteamento de localização capacitado foi solucionado com a aplicação de programação linear Fuzzy por Golozari et al. (2013).

Além disso, um processo de grande destaque é otimização/modelagem/projeto de cadeias de suprimentos sustentáveis. Este tema foi estudado por inúmeros autores, dentre os principais estão Vivas et al. (2020). Estes pesquisadores utilizaram um estudo de caso brasileiro para desenvolvimento de um método integrado que combina modelos analíticos e matemáticos para avaliação e otimização de cadeias de suprimentos sustentáveis. Considerando a indústria de papel, Vafaenezhad et al. (2019) utilizaram a modelagem matemática multiobjetivo para gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos. A

aplicação de otimização de dois objetivos para o design sustentável de uma rede de cadeia de suprimentos em *omnichannel* foi feita por Yadav et al. (2019). Através de um estudo de caso na China, Jiang et al. (2019) elaboraram um projeto de rede de cadeia de suprimentos sustentável com consideração da pegada de carbono. Zarbakhshnia et al. (2019) desenvolveram um novo modelo de múltiplos objetivos para o design de redes de logística verde para frente e para trás. Um estudo de caso na indústria farmacêutica mostra um direcionamento para a cadeia de suprimentos integrada, resiliente e sustentável apresentada por Zahiri et al. (2017). Hsueh (2015) desenvolveu um modelo de programação em dois níveis para colaboração em responsabilidade social corporativa no gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos. Considerando o esquema de comércio de emissões, Chaabane et al. (2012) apresentam um projeto de cadeias de suprimentos caracterizadas pela sustentabilidade.

Muitos autores utilizaram ferramentas da pesquisa operacional para a seleção sustentável e confiável de fornecedores. Utilizando a tomada de decisão *Fuzzy* e programação multiobjetivo, Tirkolaee et al. (2020) desenvolveram um método híbrido para seleção confiável de fornecedores no design da cadeia de suprimentos em dois escalões. Também utilizando um modelo de programação com múltiplos objetivos, Omrani et al. (2018) estudaram como selecionar empresas e fornecedores de logística em uma cadeia de suprimentos em circuito fechado. Lo et al. (2018) estudaram um modelo integrado como método de solução para problemas de seleção de fornecedores ecológicos e de alocação de pedidos. Através de um estudo em uma padaria, Perić et al. (2013) determinaram a seleção de fornecedores e as quantidades de suprimentos utilizando métodos AHP e programação *Fuzzy* de múltiplos critérios. Şenyiğit (2012) apresentou a otimização do dimensionamento de lotes com o problema de seleção de fornecedores na rede de cadeias de suprimentos com vários escalões defeituosos.

A etapa de distribuição é muito importante para articular as saídas da cadeia de suprimentos. Além disso, de acordo Gallo (2018), uma distribuição eficiente influencia diretamente na satisfação do cliente, justificando o grande número de estudos que abordam este tema. Gharaei, e Jolai (2019) e Jamili et al. (2016) apresentaram abordagens de programação integrada de produção e distribuição em uma cadeia de suprimentos. Albrecht e Steinrücke (2018) aplicaram a coordenação da distribuição em tempo contínuo e o planejamento de vendas de produtos perecíveis com notas de qualidade. Farahani e Rahmani (2017), Sel e Bilgen (2014) e Liang (2011) abordaram questões/decisões de planejamento de produção e distribuição em cadeias de suprimentos, enfatizando que o estudo de 2014 utilizou a técnica de simulação híbrida. Senoussi et al. (2016) modelaram e resolveram um problema de produção, distribuição e estoque de vários veículos para um fornecedor com varejistas em cluster.

O processo de definir o projeto/design de rede em uma cadeia de suprimentos se torna complicado à medida que se incorporam multiobjetivos, multiprodutos e vários períodos. Vimal et al. (2019) desenvolveram uma análise do projeto de rede para um sistema de produção circular usando modelo de programação linear inteira mista com múltiplos objetivos. Pourjavad e Mayorga (2019) criaram um modelo de otimização para o design de rede de uma cadeia de suprimentos em circuito fechado, através de um estudo para uma indústria de fabricação de vidro. Através de uma abordagem robusta estocástica com múltiplos objetivos, Ahranjani et al. (2018) estudaram o projeto de rede de cadeia de suprimentos de circuito fechado para a indústria de papel.

Um estudo importante para cadeia de suprimentos ecológica foi considerado por Golpîra et al. (2017). Neste estudo, os autores buscam a solução de um problema de projeto de rede, onde as principais características são: múltiplos objetivos, vários escalões, além de um grupo de varejistas avessos ao risco em um ambiente incerto. Serdar e Al-Ashhab (2016) criaram um modelo de otimização de design de rede da cadeia de suprimentos para multiprodutos de vários períodos. Nezhad et al. (2013) apresentaram uma abordagem de programação de objetivos Fuzzy para resolver problemas de projeto de rede de cadeia de suprimentos com vários objetivos. Buscando uma nova oportunidade de mercado em um sistema de fabricação ágil, Babazadeh et al. (2012) estudaram um problema de design de rede para cadeia de suprimentos.

Por fim, no meio hospitalar, um dos grandes problemas é o planejamento da cadeia de suprimentos de sangue. Ramezani e Behboodi (2017) analisaram um projeto da rede da cadeia de suprimentos de sangue sob incertezas na oferta e na demanda considerando aspectos sociais. Duan et al. (2018) fizeram um estudo sobre a estratégia de centralização da alocação de sangue entre diferentes departamentos de um hospital. Com o objetivo de facilitar a tomada de decisões em produtos perecíveis, Katsaliaki et al. (2014) apresentaram uma abordagem baseada em jogos, tomando como exemplo a cadeia de suprimentos de sangue.

Além de identificar em que tipos de problemas são utilizadas ferramentas de pesquisa operacional, um dos objetivos desse trabalho é identificar o avanço do tema “Pesquisa operacional como método para gerenciamento da cadeia de suprimentos” na literatura ao longo dos anos. Através da análise temporal dos artigos selecionados, pode-se notar o aumento do número de artigos publicados sobre o assunto, principalmente a partir do ano de 2016 (Figura 4). Os resultados referentes ao ano de 2021 ainda são poucos, porém, de acordo com os últimos anos, há uma grande tendência de que sejam feitas muitas publicações até o final deste ano.

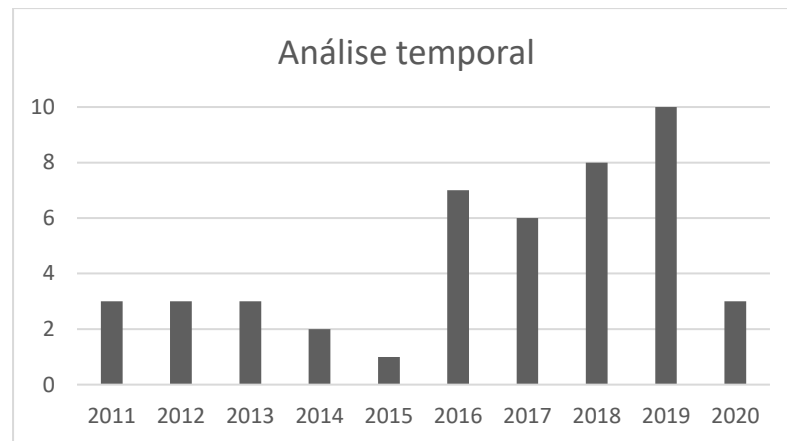


Figura 4 – Análise Temporal dos Resultados

Outro objetivo levantado é definir como as ferramentas da pesquisa operacional auxiliam na gestão da cadeia de suprimentos, relacionando cada ferramenta com o tipo de problema/processo em que são aplicados. A Figura 5 mostra quais são as questões da cadeia de suprimentos que podem ser respondidas com o uso da pesquisa operacional, ou seja, onde as técnicas de otimização apoiam as tomadas de decisão.

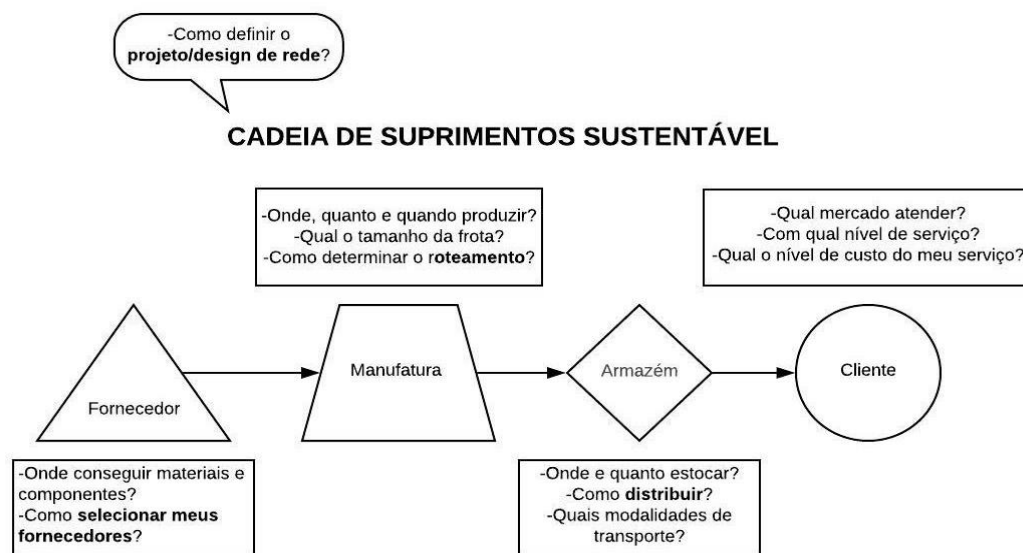


Figura 5 – Decisões apoiadas pela Pesquisa Operacional

A programação linear, considerada a principal ferramenta para gestão da cadeia de suprimentos, está associada a todos os processos: otimização de cadeias de suprimentos sustentáveis, planejamento de produção-distribuição, roteamento de veículos/localização/inventário, seleção de fornecedores confiáveis e definição de projeto/design de rede.

A teoria de filas trouxe resultados de otimização de cadeias de suprimentos sustentáveis, planejamento de produção-distribuição e roteamento de veículos/localização/inventário. A programação

inteira mista e a programação dinâmica abordaram os processos de planejamento de produção-distribuição, roteamento de veículos/localização/inventário, seleção de fornecedores confiáveis e definição de projeto/design de rede. A técnica de simulação foi usada como método para problemas de otimização de cadeias de suprimentos sustentáveis, planejamento de produção-distribuição, seleção de fornecedores confiáveis e definição de projeto/design de rede.

6. Conclusões.

Existem muitas técnicas e métodos de solução dentro do campo de Pesquisa Operacional e, também, muitos problemas quando se trata do gerenciamento da cadeia de suprimentos. Este trabalho trouxe como resultado a associação dos principais métodos e problemas encontrados. O Quadro 1 mostra esta associação e faz uma síntese das principais aplicações.

Quadro 1 – Associação método-problema

| Método | Tipo de Problema | Síntese de aplicações |
|---------------------------|-----------------------------------|--|
| Programação Linear | Cadeia de Suprimentos sustentável | Aplicada em problemas relativos à alocação de pessoal, mistura de materiais, distribuição, transporte, carteira de investimento, avaliação da eficiência, entre outros; |
| | Produção e Distribuição | |
| | Roteamento | |
| | Seleção de fornecedores | |
| | Projeto/Design de rede | |
| Teoria de Filas | Cadeia de Suprimentos sustentável | Soluciona problemas relativos a congestionamento de tráfego, máquinas de serviços sujeitas à quebra, determinação do nível de uma força de serviço, programação do tráfego aéreo, projetos de represas, programação de produção e operação de hospitais; |
| | Produção e Distribuição | |
| | Roteamento | |
| Programação Inteira Mista | Produção e Distribuição | Tem sido utilizada, principalmente, na resolução de problemas de investimento, produção agregada e localização; |
| | Roteamento | |
| | Seleção de fornecedores | |
| | Projeto/Design de rede | |
| Programação Dinâmica | Produção e Distribuição | Tem sido aplicada também com sucesso a áreas como planejamento de despesas de publicidade, distribuição do esforço de vendas e programação de produção; |
| | Roteamento | |
| | Seleção de fornecedores | |
| | Projeto/Design de rede | |
| Simulação | Cadeia de Suprimentos sustentável | A simulação tem sido aplicada em muitos setores, como o hospitalar, o aeroportuário, o sucroalcooleiro, o agropecuário, o de transporte e principalmente o de manufatura; |
| | Produção e Distribuição | |
| | Seleção de fornecedores | |
| | Projeto/Design de rede | |

Com este trabalho, torna-se evidente que o uso da Pesquisa Operacional como método de solução para problemas relacionados ao gerenciamento das cadeias de suprimentos é um tema com potencial de crescimento na literatura. Isso se deve ao fato de que as ferramentas da PO trazem resultados reais e viáveis para os problemas diários de uma cadeia de suprimentos. Além disso, muitas vezes esses resultados são encontrados de forma rápida, o que auxilia os gestores a tomarem decisões com maior segurança.

As abordagens, muitas vezes, envolvem a necessidade de conhecimentos matemáticos e de programação, pois a representação do problema do mundo real através da modelagem computacional

deve ser feita de maneira análoga. Desta forma, a possibilidade de erros na interpretação dos resultados é minimizada.

Com a atual necessidade da logística reversa e sustentabilidade na cadeia de suprimentos, mais estudos devem ser feitos e publicados abordando a aplicação da Pesquisa Operacional para manutenção e otimização dos processos produtivos/logísticos. Os avanços nesta área são notáveis, porém, com técnicas cada vez aperfeiçoadas, não há limites para a busca de melhores soluções.

Referências.

ABEPRO (2008). Associação Brasileira de Engenharia de Produção.

AHKAMIRAAD, A.; WANG, Y. (2018). Capacitated and multiple cross-docked vehicle routing problem with pickup, delivery, and time windows. *Computers & Industrial Engineering*, 119, 76-84.

AHRANJANI et al. (2018). Closed-loop supply chain network design for the paper industry: A multi-objective stochastic robust approach. *Scientia Iranica E* (2018) 25(5), 2881-2903.

AKGUL et al. (2011). Optimization-based approaches for bioethanol supply chains. *Industrial & engineering chemistry research*, 50(9), 4927-4938.

ALBRECHT, W.; STEINRÜCKE, M. (2018). Coordinating continuous-time distribution and sales planning of perishable goods with quality grades. *International Journal of Production Research*, 56(7), 2646-2665.

AMIRI et al. (2019). A Lagrangean decomposition approach for a novel two-echelon node-based location-routing problem in an offshore oil and gas supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 128, 96-114.

BABAZADEH et al. (2012). Supply chain network design problem for a new market opportunity in an agile manufacturing system. *Journal of Industrial Engineering International*, 8(1), 19.

BALLOU, R. H. (2004). *Business Logistics/Supply Chain Management* (5a ed.). Pearson.

BIOLCHINI et al. (2005). Systematic review in software engineering: relevance and utility. Relatório Técnico RT-ES-679/05, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação (PESC), COPPE/UFRJ.

CALDERÓN et al. (2017). An optimisation framework for the strategic design of synthetic natural gas (BioSNG) supply chains. *Applied Energy*, 187, 929-955.

CHAABANE et al. (2012). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International journal of production economics*, 135(1), 37-49.

CHÁVEZ et al. (2018). Towards a comprehensive model of a biofuel supply chain optimization from coffee crop residues. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116, 136-162.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. (2003). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (1ª ed.). Pearson.

CORREA, M. (2017). Técnicas de projetos de algoritmos: backtracking e programação dinâmica. Trabalho de Conclusão de Curso para Curso de Licenciatura em Computação, Universidade Federal do Paraná, Campus Avançado de Jandaia do Sul

DÁVALOS, R. (2002). Uma abordagem do ensino de pesquisa operacional baseada no uso de recursos computacionais. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2002, Curitiba.

- DUAN et al. (2018). Study on the centralization strategy of the blood allocation among different departments within a hospital. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 27(4), 417-434.
- FARAHANI, M.; RAHMANI, D. (2017). Production and distribution planning in petroleum supply chains regarding the impacts of gas injection and swap. *Energy*, 141, 991-1003.
- FRANCISCO, R.; GILBERTO, T. (2018). PESQUISA OPERACIONAL APLICADA NA ÁREA DE LOGÍSTICA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO EM UMA TRANSPORTADORA DO MUNICÍPIO DE FRANCA/SP. *Creare-Revista das Engenharias*, v. 1, n. 1, 2018.
- GALLO, C. V. (2018). Influência da logística de entrega na satisfação e no índice de recompra de produtos no e-commerce. Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Ciências Administrativas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GAVIRA, M. (2003). Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento. Dissertação de mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- GHARAEI, A.; JOLAI, F. (2019). A branch and price approach to the two-agent integrated production and distribution scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 504-515.
- GOLOZARI et al. (2013). Application of a hybrid simulated annealing-mutation operator to solve fuzzy capacitated location-routing problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5-8), 1791-1807.
- GOLPÎRA et al. (2017). A multi-objective multi-echelon green supply chain network design problem with risk-averse retailers in an uncertain environment. *Scientia Iranica*, 24(1), 413-423.
- HSUEH, C. F. (2015). A bilevel programming model for corporate social responsibility collaboration in sustainable supply chain management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 73, 84-95.
- JAMILI et al. (2016). A bi-objective model for integrated scheduling of production and distribution in a supply chain with order release date restrictions. *Journal of Manufacturing Systems*, 40, 105-118.
- JEŘÁBEK et al. (2016). Application of Clark and Wright's Savings Algorithm Model to Solve Routing Problem in Supply Logistics. *NAŠE MORE: znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo*, 63(3 Special Issue), 115-119.
- JIANG et al. (2019). Sustainable Supply Chain Network Design with Carbon Footprint Consideration: A Case Study in China. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019.
- JONKER et al. (2016). Supply chain optimization of sugarcane first generation and eucalyptus second generation ethanol production in Brazil. *Applied Energy*, 173, 494-510.
- KATSALIAKI et al. (2014). A game-based approach towards facilitating decision making for perishable products: An example of blood supply chain. *Expert Systems with Applications*, 41(9), 4043-4059.
- LAMBERT et al. (1998). Supply chain management: implementation issues and research opportunities. *The International Journal of Logistics Management*, 9(2), 1-20.
- LI et al. (2020). Optimizing production of new energy vehicles with across-chain cooperation under China's dual credit policy. *Energy*, 116832.

- LIANG, T. F. (2011). Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions in supply chains. *Information Sciences*, 181(4), 842-854.
- LIU et al. (2017). Supply chain optimization of forest biomass electricity and bioethanol coproduction. *Energy*, 139, 630-645.
- LO et al. (2018). An integrated model for solving problems in green supplier selection and order allocation. *Journal of cleaner production*, 190, 339-352.
- MATTOS, P. (2015). *Tipos de revisão de literatura*. UNESP. São Paulo, v. 2, 2015.
- METZ, P. (1998). Demystifying Supply Chain Management. *Supply Chain Management Review*, January 1, 1998.
- MOHSENI et al. (2016). Robust design and planning of microalgae biomass-to-biodiesel supply chain: A case study in Iran. *Energy*, 111, 736-755.
- NEZHAD et al. (2013). A fuzzy goal programming approach to solve multi-objective supply chain network design problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 4(3), 315-324.
- OLIVEIRA, H. (2019). *Coloração harmônica de grafos: uma abordagem utilizando programação inteira*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Software do Campus de Russas da Universidade Federal do Ceará.
- OMRANI et al. (2018). A multi-objective programming model for selection third-party logistics companies and suppliers in a closed-loop supply chain. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 30(4), 486-511.
- PALANDER, T. (2011). Modelling renewable supply chain for electricity generation with forest, fossil, and wood-waste fuels. *Energy*, 36(10), 5984-5993.
- PERIĆ et al. (2013). Vendor selection and supply quantities determination in a bakery by AHP and fuzzy multi-criteria programming. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26(9), 816-829.
- PINHO et al (2009). *Metodologias e ferramentas para simulação de processos*. Relatórios Técnicos do Departamento de Informática Aplicada da UNIRIO, n. 003, 2009.
- PIRES, S. (2004). *Gestão da Cadeia de Suprimentos*. Editora: atlas.
- POURJAVAD, E., & Mayorga, R. V. (2019). An optimization model for network design of a closed-loop supply chain: a study for a glass manufacturing industry. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 14(3), 169-179.
- PRADO, D. (1998). *Programação linear (1ª ed.)*. Editora de Desenvolvimento Gerencial.
- PRADO, D. (1999). *Teoria das Filas e da Simulação (1ª ed.)*. Editora de Desenvolvimento Gerencial.
- RAMEZANIAN, R.; BEHBOODI, Z. (2017). Blood supply chain network design under uncertainties in supply and demand considering social aspects. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 104, 69-82.
- RONI Et al. (2019). Distributed biomass supply chain cost optimization to evaluate multiple feedstocks for a biorefinery. *Applied Energy*, 254, 113660.

- SALIBY, E., 1999. Tecnologia de Informação: uso da simulação para obtenção de melhorias em operações logísticas, *Revista Tecnológica*.
- SEL, Ç.; BILGEN, B. (2014). Hybrid simulation and MIP based heuristic algorithm for the production and distribution planning in the soft drink industry. *Journal of Manufacturing systems*, 33(3), 385-399.
- SENOUSSI et al. (2016). Modeling and solving a one-supplier multi-vehicle production-inventory-distribution problem with clustered retailers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5-8), 971-989.
- ŞENYİĞİT, E. (2012). The optimization of lot sizing with supplier selection problem in multi-echelon defective supply chain network. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 18(3), 273-286.
- SERDAR, E. T.; AL-ASHHAB, M. S. (2016). Supply Chain Network Design Optimization Model for Multi-period Multi-product. *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS*, 16(01), 122-140.
- SILVA, A.; MARINS, F.; MARTIN SILVA, G.; LOPES, P. (2014). Desenvolvimento e otimização de modelos matemáticos por meio da linguagem gams. UNESP, 2014.
- SOYSAL, M. (2016). Closed-loop Inventory Routing Problem for returnable transport items. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 31-45.
- TAHA, H. A. *Pesquisa Operacional: Uma Visão Geral*. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 359 p.
- TIRKOLAEI et al. (2020). A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119517.
- VAFAEENEZHAD et al. (2019). Multi-objective mathematical modeling for sustainable supply chain management in the paper industry. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 1092-1102.
- VIMAL et al. (2019). Analysis of network design for a circular production system using multi-objective mixed integer linear programming model. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- VIVAS et al. (2020). Integrated method combining analytical and mathematical models for the evaluation and optimization of sustainable supply chains: A Brazilian case study. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105670.
- YADAV et al. (2019). Bi-objective optimization for sustainable supply chain network design in omnichannel. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Vol.30(6), pp.972-986.
- ZAHIRI et al. (2017). Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 103, 109-142.
- ZARBAKSHNIA et al. (2019). A novel multi-objective model for green forward and reverse logistics network design. *Journal of cleaner production*, 208, 1304-1316.
- ZAREI, J.; AMIN-NASERI, M. R. (2019). An integrated optimization model for natural gas supply chain. *Energy*, 185, 1114-1130.

APÊNDICE A.

Lista de artigos selecionados pela RSL:

| | | | |
|----|--|---|------|
| 1 | Integrated method combining analytical and mathematical models for the evaluation and optimization of sustainable supply chains: A Brazilian case study | Vivas, R.D.C., Sant'Anna, A.M.O., Esquerre, K.P.S.O., Freires, F.G.M. | 2020 |
| 2 | Optimizing production of new energy vehicles with across-chain cooperation under China's dual credit policy | Li, J., Ku, Y., Yu, Y., Liu, C., Zhou, Y. | 2020 |
| 3 | A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design | Tirkolae, E.B., Mardani, A., Dashtian, Z., Soltani, M., Weber, G.-W. | 2020 |
| 4 | Analysis of network design for a circular production system using multi-objective mixed integer linear programming model | Vimal, K.E.K., Rajak, S., Kandasamy, J. | 2019 |
| 5 | An optimization model for network design of a closed-loop supply chain: a study for a glass manufacturing industry | Pourjavad, E., Mayorga, R.V. | 2019 |
| 6 | A branch and price approach to the two-agent integrated production and distribution scheduling | Gharaei, A., Jolai, F. | 2019 |
| 7 | Multi-objective mathematical modeling for sustainable supply chain management in the paper industry | Vafaenezhad, T., Tavakkoli-Moghaddam, R., Cheikhrouhou, N. | 2019 |
| 8 | Distributed biomass supply chain cost optimization to evaluate multiple feedstocks for a biorefinery | Roni, M.S., Thompson, D.N., Hartley, D.S. | 2019 |
| 9 | Bi-objective optimization for sustainable supply chain network design in omnichannel | Yadav, V.S., Tripathi, S., Singh, A.R. | 2019 |
| 10 | Sustainable Supply Chain Network Design with Carbon Footprint Consideration: A Case Study in China | Jiang, Y., Zhao, Y., Dong, M., Han, S. | 2019 |
| 11 | An integrated optimization model for natural gas supply chain | Zarei, J., Amin-Naseri, M.R. | 2019 |
| 12 | A novel multi-objective model for green forward and reverse logistics network design | Zarbakhshnia, N., Soleimani, H., Goh, M., Razavi, S.S. | 2019 |
| 13 | A Lagrangean decomposition approach for a novel two-echelon node-based location-routing problem in an offshore oil and gas supply chain | Amiri, M., Amin, S.H., Tavakkoli-Moghaddam, R. | 2019 |
| 14 | Closed-loop supply chain network design for the paper industry: A multi-objective stochastic robust approach | Ahranjani, A.R., Seifbarghy, M., Bozorgi-Amiri, A., Najafi, E. | 2018 |
| 15 | Coordinating continuous-time distribution and sales planning of perishable goods with quality grades | Albrecht, W., Steinrücke, M. | 2018 |
| 16 | Capacitated and multiple cross-docked vehicle routing problem with pickup, delivery, and time windows | Ahkamiraad, A., Wang, Y. | 2018 |
| 17 | Strategic spatial and temporal design of renewable diesel and biojet fuel supply chains: Case study of California, USA | Leila, M., Whalen, J., Bergthorson, J. | 2018 |

| | | | |
|----|--|---|------|
| 18 | Towards a comprehensive model of a biofuel supply chain optimization from coffee crop residues | Chávez, M.M.M., Sarache, W., Costa, Y. | 2018 |
| 19 | A multi-objective programming model for selection third-party logistics companies and suppliers in a closed-loop supply chain | Omrani, H., Hushyar, I., Zolmabadi, S.M., Asl, A.J. | 2018 |
| 20 | An integrated model for solving problems in green supplier selection and order allocation | Lo, H.-W., Liou, J.J.H., Wang, H.-S., Tsai, Y.-S. | 2018 |
| 21 | Study on the Centralization Strategy of the Blood Allocation Among Different Departments within a Hospital | Duan, J., Su, Q., Zhu, Y., Lu, Y. | 2018 |
| 22 | A multi-objective, multi-echelon green supply chain network design problem with risk-averse retailers in an uncertain environment | Golpîra, H., Zandieh, M., Najafi, E., Sadi-Nezhad, S. | 2017 |
| 23 | Production and distribution planning in petroleum supply chains regarding the impacts of gas injection and swap | Farahani, M., Rahmani, D. | 2017 |
| 24 | Supply chain optimization of forest biomass electricity and bioethanol coproduction | Liu, W.-Y., Lin, C.-C., Yeh, T.-L. | 2017 |
| 25 | Blood supply chain network design under uncertainties in supply and demand considering social aspects | Ramezani, R., Behboodi, Z. | 2017 |
| 26 | Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study | Zahiri, B., Zhuang, J., Mohammadi, M. | 2017 |
| 27 | An optimisation framework for the strategic design of synthetic natural gas (BioSNG) supply chains | Calderón, A.J., Agnolucci, P., Papageorgiou, L.G. | 2017 |
| 28 | Supply chain network design optimization model for multi-period multi-product | Serdar, E.T., Al-Ashhab, M.S. | 2016 |
| 29 | Modeling and solving a one-supplier multi-vehicle production-inventory-distribution problem with clustered retailers | Senoussi, A., Mouss, N.K., Penz, B., Brahim, N., Dauzère-Pérès, S. | 2016 |
| 30 | A bi-objective model for integrated scheduling of production and distribution in a supply chain with order release date restrictions | Jamili, N., Ranjbar, M., Salari, M. | 2016 |
| 31 | Application of Clark and Wright's savings algorithm model to solve routing problem in supply logistics [Clark Wright algoritam modela uštede koji se koristi kod rješavanja problema usmjeravanja u logistici opskrbe] | Jeřábek, K., Majercak, P., Klietk, T., Valaskova, K. | 2016 |
| 32 | Supply chain optimization of sugarcane first generation and eucalyptus second generation ethanol production in Brazil | Jonker, J.G.G., Junginger, H.M., Verstegen, J.A., (...), Faaij, A.P.C., van der Hilst, F. | 2016 |
| 33 | Closed-loop Inventory Routing Problem for returnable transport items | Soysal, M. | 2016 |
| 34 | Robust design and planning of microalgae biomass-to-biodiesel supply chain: A case study in Iran | Mohseni, S., Pishvae, M.S., Sahebi, H. | 2016 |
| 35 | A bilevel programming model for corporate social responsibility collaboration in sustainable supply chain management | Hsueh, C.-F. | 2015 |

| | | | |
|----|---|---|------|
| 36 | Hybrid simulation and MIP based heuristic algorithm for the production and distribution planning in the soft drink industry | Sel, Ç., Bilgen, B. | 2014 |
| 37 | A game-based approach towards facilitating decision making for perishable products: An example of blood supply chain | Katsaliaki, K., Mustafee, N., Kumar, S. | 2014 |
| 38 | A fuzzy goal programming approach to solve multi-objective supply chain network design problems | Kanani Nezhad, A.A., Roghanian, E., Azadi, Z. | 2013 |
| 39 | Application of a hybrid simulated annealing-mutation operator to solve fuzzy capacitated location-routing problem | Golozari, F., Jafari, A., Amiri, M. | 2013 |
| 40 | Vendor selection and supply quantities determination in a bakery by AHP and fuzzy multi-criteria programming | Perić, T., Babić, Z., Veža, I. | 2013 |
| 41 | Supply chain network design problem for a new market opportunity in an agile manufacturing system | Babazadeh, R., Razmi, J., Ghodsi, R. | 2012 |
| 42 | The optimization of lot sizing with supplier selection problem in multi-echelon defective supply chain network | Şenyiğit, E. | 2012 |
| 43 | Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme | Chaabane, A., Ramudhin, A., Paquet, M. | 2012 |
| 44 | Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions in supply chains | Liang, T.-F. | 2011 |
| 45 | Optimization-based approaches for bioethanol supply chains | Akgul, O., Zamboni, A., Bezzo, F., Shah, N., Papageorgiou, L.G. | 2011 |
| 46 | Modelling renewable supply chain for electricity generation with forest, fossil, and wood-waste fuels | Palander, T. | 2011 |