

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E ECONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS**

**DESIGN DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE FERTILIZANTE: APLICAÇÃO DO  
MODELO DE OTIMIZAÇÃO**

**SILVIA LEITE BUCKER**

**DOURADOS – MS**

**2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**  
**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E ECONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS**

**DESIGN DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE FERTILIZANTE: APLICAÇÃO DO  
MODELO DE OTIMIZAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal da Grande Dourados – Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia, para obtenção do título de Mestre em Agronegócios.

**Discente: Silvia Leite Bucker**

**Orientador: Prof. Dr. Régio Marcio Toesca  
Gimenes**

**Área de Concentração: Agronegócios e  
Sustentabilidade**

**Linha de pesquisa: Gestão do Agronegócio**

**DOURADOS – MS  
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

B922d Bucker, Silvia Leite

DESIGN DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE FERTILIZANTE: APLICAÇÃO DO  
MODELO DE OTIMIZAÇÃO [recurso eletrônico] / Silvia Leite Bucker. -- 2019.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Régio Marcio Toesca Gimenes.

Dissertação (Mestrado em Agronegócios)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Vantagem competitiva. 2. Logística. 3. Modelagem matemática. 4. Insumo Agrícola. 5.  
Gestão do agronegócio. I. Gimenes, Régio Marcio Toesca. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



**UFGD**

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA POR **SILVIA LEITE BUCKER**, ALUNA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM AGRONEGÓCIOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO "EM AGRONEGÓCIOS E DESENVOLVIMENTO".

Aos dezenove dias do mês de agosto de dois mil e dezenove, às 14 horas, em sessão pública, realizou-se na Universidade Federal da Grande Dourados, a Defesa de Dissertação de Mestrado intitulada "DESIGN DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE FERTILIZANTES: APLICAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO", apresentada pela mestrandia **SILVIA LEITE BUCKER**, do Programa de Pós-Graduação em AGRONEGÓCIOS, à Banca Examinadora constituída pelos membros: Prof. Dr. Régio Márcio Toesca Gimenes/UFGD (presidente/orientador), Prof. Dr. Antônio Carlos Vaz Lopes/UFGD (membro titular) e Prof.ª Dr.ª Isabel Cristina Gozer/UNIPAR (membro externo). Iniciados os trabalhos, a presidência deu a conhecer a candidata e aos integrantes da Banca as normas a serem observadas na apresentação da Dissertação. Após a candidata ter apresentado a sua Dissertação, os componentes da Banca Examinadora fizeram suas arguições. Terminada a Defesa, a Banca Examinadora, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo sido a candidata considerada APROVADA, fazendo jus ao título de MESTRE EM AGRONEGÓCIOS. Os membros da banca abaixo assinados atestam que a Prof.ª Dr.ª Isabel Cristina Gozer participou de forma remota desta defesa de dissertação, considerando a candidata \_\_\_\_\_, conforme declaração anexa. Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dourados, 19 de agosto de 2019.

Prof. Dr. Régio Márcio Toesca Gimenes \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Antônio Carlos Vaz Lopes \_\_\_\_\_

Prof.ª Dr.ª Isabel Cristina Gozer \_\_\_\_\_

(Participação Remota)

ATA HOMOLOGADA EM: \_\_/\_\_/\_\_, PELA PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA / UFGD.

Pró-Reitoria de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa  
Assinatura e Carimbo



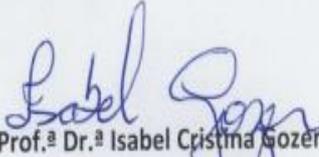
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM: AGRONEGÓCIOS  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: AGRONEGÓCIOS E DESENVOLVIMENTO

DECLARAÇÃO DE PARTICIPAÇÃO À DISTÂNCIA - SÍNCRONA - EM BANCA DE DEFESA DE  
MESTRADO/ UFGD

Às 14 h do dia 19/08/2019, participei de forma síncrona com os demais membros que assinam a ata física deste ato público, da banca de Defesa de Dissertação da candidata **Silvia Leite Bucker**, do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios.

Considerando o trabalho avaliado, as arguições de todos os membros da banca e as respostas dadas pela candidata, formalizo para fins de registro, por meio deste, minha decisão de que a candidata pode ser considerada: aprovada.

Atenciosamente,

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Isabel Cristina Gozer  
Universidade Paranaense - Unipar

“as simple as possible, as complex as necessary”

## AGRADECIMENTOS

Ao meu esposo, Giancarlo, por seu amor e cumplicidade. Muito obrigada pelas suas contribuições, conselhos, incentivos e por acreditar em mim.

Aos meus amados pais, Rubens e Zulmira, vocês são o meu eterno porto seguro.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Régio Gimenes, que aceitou o desafio de me orientar e me apresentou a essa temática tão instigante.

Ao Prof. Dr. Cleber Rocco, que me acolheu e guiou-me pelo universo da modelagem de otimização e programação matemática.

Também agradeço a todo o corpo docente do programa de pós-graduação em Agronegócios da Universidade Federal da Grande Dourados. Em especial, a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carla Eloize Carducci, o Prof. Dr. Marcelo Corrêa da Silva, a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carla Heloisa de Faria Domingues e o Prof. Dr. João Augusto Rossi Borges por suas valiosas contribuições na construção deste trabalho.

A todos os profissionais da área e empresários, que cederam seu tempo e as informações fundamentais para a construção deste estudo.

Muito obrigada aos amigos e familiares que compreenderam meu isolamento, sem jamais questionar ou desistir da nossa amizade.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	14
REFERÊNCIAS .....	16
CAPÍTULO 2 - MAPEANDO A PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA SOBRE PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES .....	17
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	19
3 RESULTADOS E ANÁLISES .....	23
<b>3.1 Análise bibliográfica .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Análise de conteúdo .....</b>	<b>29</b>
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	40
REFERÊNCIAS .....	43
CAPÍTULO 3 – OTIMIZAÇÃO PARA PLANEJAMENTO DA REDE DE SUPRIMENTOS DE FERTILIZANTES NO ESTADO DE MATO GROSSO .....	51
1 INTRODUÇÃO.....	52
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	55
3 ABORDAGEM METODOLÓGICA .....	61
4 AMBIENTE DO PROBLEMA .....	64
5 MODELAGEM .....	67
6 APLICAÇÃO DO MODELO .....	70
<b>6.1 Descrição dos dados .....</b>	<b>70</b>
6.1.1 Zoneamento .....	71
6.1.2 Demanda .....	72
6.1.3 Capacidade de portos .....	74
6.1.4 Capacidade de fábricas .....	76
6.1.5 Fluxos de transporte.....	76
<b>6.2 Resultados.....</b>	<b>79</b>
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	85
REFERÊNCIAS .....	87
APÊNDICE A – AREA DE LAVOURA TEMPORÁRIA NO ESTADO DE MATO GROSSO NO ANO DE 2017 .....	94
APÊNDICE B – DISTÂNCIA INTERMODAL NO TRANSPORTE DA MATÉRIA PRIMA .....	95
APÊNDICE C – FERTILIZANTE BÁSICO IMPORTADO PELO ESTADO DE MATO GROSSO .....	96
APÊNDICE D – DISTÂNCIA E CUSTO TOTAL NO TRANSPORTE DA MATÉRIA PRIMA .....	97
APÊNDICE E – CUSTO DE DISTRIBUIÇÃO DO NPK ENTRE AS MICRORREGIÕES .....	98
CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	103

## DESIGN DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE FERTILIZANTE: APLICAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO

**RESUMO** – O bom desempenho do agronegócio brasileiro está atrelado ao consumo de fertilizantes químicos importados. O Brasil é o quarto maior consumidor, o primeiro país no ranking das importações mundiais de fertilizantes e o Mato Grosso é o estado de maior representatividade no consumo nacional. Essa dependência dos mercados internacionais expõe o país à escassez de produtos, às taxas de câmbio voláteis e ao aumento dos custos de insumos, com impactos em todas as cadeias de valor do agronegócio e, portanto, na economia em geral. Dessa forma, as vantagens da extensão do território nacional e dos recursos naturais abundantes devem ser ponderadas com as desvantagens oriundas da necessidade de movimentação de cargas por longas distâncias em uma matriz de transportes desbalanceada e deficitária. Nesse contexto, a teoria da localização aplicada a modelagem de otimização reúne os elementos determinantes para apoiar a tomada de decisão estratégica. Assim, por meio de uma revisão sistemática constitui-se um conjunto de setenta artigos que tratam de problemas de localização de instalações, e para este rol foram realizadas análises de conteúdo e bibliométricas. Identificase a área de aplicação, o tipo de parâmetro, a função objetivo e a técnica de solução adotada. Posteriormente, adota-se uma abordagem quantitativa e desenvolve-se um modelo de otimização aplicado à cadeia de suprimentos de fertilizantes no estado de Mato Grosso, que minimiza os custos de instalação e transporte de matéria prima e produto final. Determina-se a quantidade de indústrias a serem instaladas, suas localizações, capacidades e os fluxos de transporte. Dentre os principais resultados, para satisfazer a rede otimizada, detectou-se um déficit de mais de 4,86 milhões de toneladas anuais na capacidade dos portos da região Norte. Por consequência dessa deficiência na infraestrutura, mais de 50% da demanda de fertilizante mensurada precisa ser redirecionada por rotas mais onerosas. Assim, agentes privados e governamentais podem direcionar políticas e investimentos que garantam a eficiência estratégica do país.

**Palavras chave:** Vantagem competitiva, Logística, Modelagem matemática; Insumo agrícola, Gestão do agronegócio,

## **FERTILIZER SUPPLY CHAIN DESIGN: APPLYING THE OPTIMIZATION MODEL**

**ABSTRACT** – The performance of Brazilian agribusiness is connected to the consumption of imported chemical fertilizers. Brazil is the fourth largest consumer, the first in the ranking of world fertilizer imports, and Mato Grosso is the state with the most significant representation in national consumption. This international dependency exposes the country to shortages of products, volatile exchange rates and rising input costs, with impacts on all agribusiness value chains and the economy. Thus, the advantages of the extension of the national territory and abundant natural resources must be weighed against the disadvantages of moving cargo over long distances in an unbalanced and deficient transport matrix. In this context, location theory applied to optimization modeling brings together the determining elements to support strategic decision making. Through a systematic review, a set of seventy articles that explore facility location problems were constituted, and for this list content and bibliometric analyzes were performed. The application area, the type of parameter, the objective function and the solution technique adopted are identified. Subsequently, a quantitative approach is adopted and an optimization model applied to the fertilizer supply chain in the state of Mato Grosso is developed, which minimizes the installation and transportation costs of raw materials and final products. The amount of industries to be installed, their locations, capacities and transport flows are determined. Among the main results, to satisfy the optimized network, there is a deficit of over 4.86 million tons per year in the North region's port capacity. Because of this infrastructure shortfall, more costly routes redirect over 50% of fertilizer demand. Thus private and governmental agents can direct policies and investments that guarantee the strategic efficiency of the country.

**Key words:** Competitive Advantage, Logistics, Mathematical Modeling; Agricultural Input, Agribusiness management

## LISTA DE ABREVIATURAS

AAR	Alto Araguaia
AGU	Alto Guaporé
ANTAQ	Agência Nacional de Transporte Aquaviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ARÃ	Aripuanã
ARS	Arinos
ATP	Alto Teles Pires
CAN	Canarana
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
COL	Colíder
Conab	Companhia Nacional de Abastecimento
EURO	Association of European Operational Research Societies
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GEE	Gases de efeito estufa
LaPES	Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software
NAR	Norte Araguaia
NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio.
PGA	Paranatinga
PIS	Parecis
PIS	Programa de Integração Social
PLE	Primavera do Leste
RON	Rondonópolis
SciELO	Scientific Electronic Library Online
SIFRECA	Sistema de Informações de Fretes
SIN	Sinop
StArt	State of the Art through Systematic Review
TES	Tesouro
TSR	Tangará da Serra

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Relevância da localização de instalações nas publicações de cada país.....	28
Tabela 2 – Campos de aplicação e técnicas de solução adotados nos modelos .....	34
Tabela 3 – Dimensão das culturas nas microrregiões do estado de Mato Grosso.....	72
Tabela 4 – Recomendação de adubação química por cultura em quilos por hectare .....	74
Tabela 5 – Teor de nutriente na matéria-prima e quantidade para produzir uma tonelada de produto final .....	74
Tabela 6 – Quantidade total anual de fertilizantes minerais importados via marítima .....	75
Tabela 7 – Quantidade total anual de fertilizantes importada para o estado de Mato Grosso..	76
Tabela 8 – Custo de instalação e capacidade das misturadoras.....	76
Tabela 9 – Quantidade de matéria prima importada em cada porto .....	80
Tabela 10 – Matéria prima entregue para atender à necessidade das misturadoras .....	83
Tabela 11 – Distribuição do NPK formulado para atendimento da demanda.....	84
Tabela 12 – Valor total e das parcelas da função objetivo .....	85
Quadro 1 – Processo para seleção da amostra final de artigos .....	21
Quadro 2 – Portfólio de artigos para as análises .....	22
Quadro 3 – Categorias de análise do conteúdo.....	23
Quadro 4 – Número de citação do artigo, fator de impacto e quartil do periódico .....	25
Quadro 5 – Classificação da literatura de acordo com suas medidas de performance .....	30
Quadro 6 – Classificação da literatura de acordo com os parâmetros utilizados nos modelos	32
Quadro 7 – Detalhamento da revisão de literatura sobre design de cadeia de suprimentos em contextos agroindustriais .....	56
Quadro 8 – Composição do capítulo de fertilizantes no sistema harmonizado de designação	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da dissertação.....	15
Figura 2 – Evolução no volume de publicações dentro da temática de 2008 a 2018.....	24
Figura 3 – Frequência dos periódicos nas publicações 2008 a 2018.....	26
Figura 4 – Distribuição da publicação analisada por país .....	26
Figura 5 – Nuvem de palavras .....	29
Figura 6 – Países importadores de fertilizantes e market share no ano de 2018 .....	54
Figura 7 – Cadeia produtiva de fertilizantes.....	65
Figura 8 – Recorte da cadeia de fertilizantes abordado.....	66
Figura 9 – Produção de soja, milho e algodão em ton. no estado de Mato Grosso em 2017 ...	71
Figura 10 – Rota e modal para a distribuição de matéria prima e produto final .....	77
Figura 11 – Localização das misturadoras de fertilizantes no estado de Mato Grosso.....	79
Figura 12 – Corredores multimodais conectados ao estado de Mato Grosso.....	82
Figura 13 – Atendimento da demanda de NPK otimizada .....	83

## CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As terras agricultáveis e produtivas são um recurso e ao mesmo tempo uma condição fundamental para a sobrevivência humana (XIE *et al.*, 2014). O crescimento da população mundial gera uma demanda crescente na produção de alimentos. Além disso, com a busca pela redução nos impactos ambientais e pela sustentabilidade surgiu uma tendência à substituição de combustíveis derivados do petróleo por biocombustíveis, que também pressiona a produção agrícola. Como consequência torna-se indispensável a elevação do rendimento por hectare plantado perante a redução progressiva das áreas disponíveis para o plantio (COSTA; SILVA, 2012).

A indústria do fertilizante está fortemente relacionada ao agronegócio e possui um papel essencial na economia do Brasil, que é um dos maiores exportadores de *commodities* e grande parte de seu desempenho está diretamente ligado a utilização dos fertilizantes (FAO, 2018). No país, o maior consumidor de fertilizantes e também o maior produtor de grãos é o estado de Mato Grosso (CONAB, 2019).

A dimensão territorial do Brasil associada à dispersão geográfica de suas atividades produtivas vincula o setor de transportes ao desenvolvimento econômico da nação, uma vez que a infraestrutura de transportes é necessária para integração entre os mercados produtores e consumidores e os resultados dessa eficiência propaga-se por toda a cadeia produtiva. (ARMIJO; RHODES, 2017)

A intensa concorrência dos mercados globais e o avanço tecnológico possibilitaram cadeias de suprimentos maiores, mais complexas, mais expostas a riscos e vulneráveis (BEHZADI *et al.*, 2018). Também levaram a ciclos de vida de produtos mais curtos e comportamentos mais dinâmicos em termos de escolhas e demandas. Consequentemente, percebe-se a necessidade de técnicas robustas para apoiar a tomada de decisão e o aprimoramento das cadeias de suprimentos (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2004). Neste contexto, de planejamento estratégico estão envolvidas questões como a localização, a quantidade e a capacidade de instalações que impactam significativamente a eficiência e eficácia dos negócios (KLIBI; MARTEL; GUITOUNI, 2010, ZOKAEE *et al.*, 2017).

A solução para o problema de localização de um empreendimento requer a análise de toda a conjuntura em que está inserido e das particularidades de cada etapa da atividade, para que assim possa programar o número de instalações, as fontes de matéria-prima, os volumes processados, os modais de distribuição e os investimentos necessários

(STOLLSTEIMER,1963). Trata-se de um contexto que envolve a alta complexidade de múltiplas alternativas, objetivos conflitantes, riscos, impossibilidade de realocação e a variabilidade do custo ou demanda na linha do tempo (MELO; NICKEL; SALDANHA-DAGAMA, 2009).

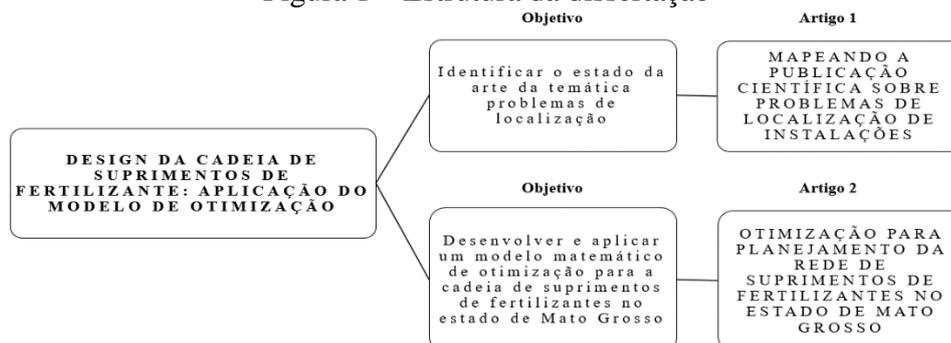
A interdisciplinaridade está na essência das questões de localização de instalações surge naturalmente em diversos ambientes: industrial, transporte, gerenciamento da cadeia de suprimentos, logística de emergência, telecomunicações e saúde, e desempenham um papel importante no planejamento estratégico dos setores público e privado

Dessa forma, a otimização da cadeia de suprimentos do fertilizante no estado de Mato Grosso, por meio da modelagem matemática, permite não apenas a união do agronegócio com a pesquisa operacional como também demonstra sua relevância. De maneira interdisciplinar, utiliza a programação matemática, dados geográficos, agrônômicos, valores contábeis de custos e a tomada de decisão estratégica na administração dos negócios.

Assim, o objetivo deste estudo é otimizar a cadeia de suprimentos de fertilizantes no estado de Mato Grosso. Para alcançar este objetivo, cumpriram-se duas etapas, quais sejam: a) identificar o estado da arte sobre problemas de localização de instalações que se utilizam de modelos matemáticos; b) desenvolver e aplicar o modelo matemático de otimização de cadeia de suprimentos.

A estrutura dessa dissertação é apresentada na Figura 1 e os objetivos específicos estão desdobrados em dois capítulos. O primeiro capítulo é composto por um artigo de revisão e apresenta a evolução da publicação a respeito de problemas de localização, demonstrando suas diversas abordagens e usos. Este arcabouço teórico mais abrangente proporciona suporte ao segundo capítulo, e o foco está no desenvolvimento e aplicação de um modelo de otimização de cadeia de suprimentos no âmbito do mercado de fertilizantes no estado de Mato Grosso. Para determinar a localização ótima das misturadoras de fertilizantes, são estabelecidos os menores custos de instalação e de transporte de matéria prima e produto final.

Figura 1 – Estrutura da dissertação



## REFERÊNCIAS

- ARMIJO, L.E.; RHODES, S. D. Explaining infrastructure underperformance in Brazil: cash, political institutions, corruption, and policy Gestalts. **Policy Studies**, v. 38, n.3, p. 231-247, 2017.
- BEHZADI, G. *et al.* Agribusiness supply chain risk management: a review of quantitative decision models. **Omega - International Journal of Management Science** v. 79, p. 21- 42, 2018.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2018/19** v. 6, n. 9 Brasília: Conab, 2019 Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos> Acesso em: 5 jun. 2019
- COSTA, L. M.; SILVA, M.F.O. A indústria química e o setor de fertilizantes. **BNDES 60 anos – Perspectivas Setoriais**. Rio de Janeiro: BNDES, 2012
- FAO – Food and Agriculture Organization of the Unites Nations. **The statistic division – FAOSTAT**, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/>. Acesso em:05 jan. 2019
- KLIBI, W.; MARTEL, A.; GUITOUNI, A. The design of robust value-creating supply chain networks: a critical review. **European Journal of Operational Research**, v. 203, p. 283-293, 2010
- MELO, M. T.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA, F. Facility location and supply chain management - A review. **European Journal of Operational Research**, v. 196, n. 2, p. 401–412, 2009.
- SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Managing the supply chain: the definitive guide for the business professional**, New York: McGraw-Hill, 2004.
- STOLLSTEIMER, J.F. A working model for plant numbers and location. **Journal of Farm Economics**, v. 45, p. 631-45, 1963.
- XIE, H.L. *et al.* Spatiotemporal pattern and driving forces of arable land-use intensity in China: toward sustainable land management using emergy analysis. **Sustainability** n.6, p. 3504–3520, 2014.
- ZOKAEE, S. *et al.* Robust supply chain network design: an optimization model with real world application. **Annals of Operations Research**, v. 257, p. 15-44, 2014

## **CAPÍTULO 2 - MAPEANDO A PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA SOBRE PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES**

**RESUMO** – As decisões de localização de instalações estão conectadas ao planejamento estratégico. Os elevados custos, associados à aquisição de propriedades, construção de instalações e à complexidade de realocação caracterizam estes investimentos como projetos de retorno a longo prazo. A necessidade de localizar surge em vários contextos e ambientes, sejam estes industriais, de transporte, controle de epidemias, abastecimento, logística reversa, centros de distribuição, logística humanitária, emergências, policiamento, cadeia de suprimentos ou redes internacionais. Nesse contexto, surge a importância da análise dos problemas de localização de instalações. Objetiva-se contribuir com a descrição do estado da arte sobre problemas de localização e mapear suas características. Dada a gama de possíveis aplicações e técnicas de solução diferentes empregadas aos problemas de localização, aplica-se os critérios da revisão sistemática, e concentra-se a publicação científica do período de 2008 a 2018 em um portfólio de 70 artigos. Para este portfólio realiza-se as análises de conteúdo e bibliométrica. Nos resultados, verifica-se que as funções objetivo mais utilizadas são as de minimização e os parâmetros determinísticos. A evolução da capacidade de processamento computacional e a complexidade das análises permitiram que mais elos de uma mesma cadeia sejam inseridos na modelagem e que também fossem feitas aplicações inovadoras, que buscaram refletir os problemas do mundo real de maneira mais fidedigna.

**Palavras-chave:** Otimização; Tomada de decisão; Pesquisa operacional; Localização precisa.

## **MAPPING SCIENTIFIC PUBLICATION ON FACILITIES LOCATION PROBLEMS**

**ABSTRACT** – Facility location decisions are linked to strategic planning. The high costs associated with property acquisition, facility construction and the relocation complexity characterize these investments as long term return projects. The need to locate arises in a variety of contexts and environments, be they industrial, transportation, epidemic control, supply, reverse logistics, distribution centers, humanitarian logistics, emergencies, policing, supply chain or international networks. In this context, the importance of analyzing the facility location problems arises. The objective is to contribute to the state of the art description of localization problems and to map their characteristics. Given the range of possible applications and different solution techniques applied for location problems, the scientific publication from 2008 to 2018 is concentrated on a portfolio of 70 articles generated from the systematic review criteria. For this portfolio, content and bibliometric analyzes are performed. In the results the objective functions most used are the minimization and deterministic parameters. The evolution of the processing capacity and the complexity of the analysis allowed more links of the same chain to be inserted in the modeling and also innovative applications that seek to reflect the reality as reliably as possible.

**Keywords:** Optimization; Decision-making; Operational research; Pinpointing.

## 1 INTRODUÇÃO

A decisão de localizar uma instalação é um ponto chave na estratégia dos negócios com consequências de longo prazo, isso porque a aquisição de propriedades, imóveis, construção e implantação de uma instalação requerem um alto investimento de capital e após concretizado é praticamente irreversível (OWEN; DASKIN, 1998). Instalar uma facilidade causa impactos sociais, econômicos e ambientais e pode afetar de diversas maneiras seus *stakeholders* (FAHIMNIA; JABBARZADEH, 2016). Definir onde e quando entrar nos mercados envolve a análise de fatores como a variabilidade dos custos, da demanda, incertezas econômicas, políticas, a volatilidade e a competitividade do mercado (DE ROSA *et al.*, 2014) durante toda a vida útil da instalação..

A economia industrial e a economia espacial se encontram na teoria da localização industrial e na geometria do espaço industrial, atribuídas a Weber e Palander (DERYCKE,1995). Alfred Weber iniciou o estudo teórico sobre a localização de instalações industriais em 1909 e determinou o local que minimizava a distância total entre um armazém e um conjunto de clientes. Posteriormente, a teoria da localização e suas aplicações foram desenvolvidas em diferentes áreas de pesquisa, juntamente com as modelagens que avançaram, aumentando sua complexidade e incluindo variáveis (AHMADI-JAVID; SEYEDI; SYAM,2017).

A teoria da localização é interdisciplinar e percorre a pesquisa operacional, engenharia, geografia, matemática, economia, administração, ciência da computação, gestão de produção e outras áreas (SMITH; LAPORTE; HARPER, 2009). Além disso, os problemas de localização de instalações surgem naturalmente em diversos ambientes: industrial, transporte, gerenciamento da cadeia de suprimentos, logística de emergência, telecomunicações e saúde, e desempenham um papel importante no planejamento estratégico dos setores público e privado.

A teoria da localização e os modelos alinhados a esse princípio foram tratados em vários livros (NICKEL; PUERTO, 2005, CHURCH; MURRAY, 2009, FARAHANI; HEKMATFAR,2009) e artigos de revisão (SNYDER, 2006, MELO; NICKEL; SALDANHA-DA-GAMA, 2009, KCHAOU BOUJELBEN; BOULAKSIL, 2018, ORTIZ-ASTORQUIZA; CONTRERAS; LAPORTE, 2018).

Os problemas de localização de instalações podem ser definidos em termos de espaço (onde) e tempo (quando). E tanto o espaço quanto o tempo podem ser analisados de forma discreta ou contínua. Quando a localização se restringe a pontos específicos numa área, tem-se

o espaço discreto. Em contrapartida, um espaço contínuo permite situar a instalação em qualquer ponto da área planejada (ARABANI; FARAHANI, 2012).

Originalmente os problemas de localização de instalações utilizavam fatores e parâmetros fixos e constantes na linha do tempo em seus modelos. E assim foram classificados como problemas estáticos de localização de instalações (OWEN; DASKIN, 1998). No entanto, a fim de lidar com as flutuações prováveis no futuro, bem como alterar os parâmetros mediante à incerteza, um modelo com múltiplos períodos torna-se mais adequado.

Um dos primeiros artigos que tratou do problema de localização ao longo do tempo foi o de Ballou (1968), que determinou a localização de um armazém que permitisse maximizar os lucros em um determinado período e aplicou uma série de soluções para resolver o problema. Sweeney e Tatham (1976) aprimoram o modelo de Ballou (1968) por meio de um procedimento iterativo de resolução. Ambos os modelos permitiam a realocação de instalações, mas não consideraram tempo e custo de construção na função objetivo.

Para espelhar a realidade dos problemas e fornecer respostas de qualidade e adequadas, necessariamente, os modelos matemáticos utilizam algoritmos mais complexos, maior número de dados e exigem maior esforço do decisor para compreender e validar o modelo (DIAS, 2010). Mediante o contexto exposto, surge a questão de pesquisa: Como as soluções dos problemas de localização e seus modelos evoluíram?

Sendo assim, o objetivo deste artigo foi revisar a publicação científica a respeito de problemas de localização de instalações e mapear suas características. Dada à imensa gama de possibilidades de análise, faz-se necessário definir, com rigor, o âmbito a ser empregado. Analisou-se, exclusivamente, a ótica da pesquisa operacional para problemas de localização solucionados com modelagem matemática.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: após esta introdução, são apontados os aspectos metodológicos na Seção 2. Em sequência, na Seção 3, são apresentados os resultados das análises bibliométricas e da análise de conteúdo. Por fim, as considerações finais do artigo e algumas tendências para futuras linhas de investigações.

## **2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para cumprir com o objetivo proposto, este artigo avalia de forma qualificativa e quantitativa a produção científica sobre problemas de localização de instalações por meio de uma revisão sistemática, apresentando, também, uma análise bibliométrica e de conteúdo.

Dessa maneira, é possível identificar os direcionamentos da ciência nesta área, bem como as lacunas e as oportunidades de pesquisa.

Sendo a publicação a base da comunicação da produção científica, à medida que é divulgada, impulsiona o desenvolvimento intelectual e o ciclo de geração de conhecimento. A bibliometria mensura o conhecimento produzido com métodos quantitativos e análises estatísticas para demonstrar os aspectos mais significativos e o direcionamento da comunidade científica (SPINAK, 1998).

Para encontrar e sintetizar a literatura sobre a temática foi adotada a abordagem da revisão sistemática, que utiliza procedimentos organizados, transparentes e permitem a réplica do processo (LITTELL *et al.*, 2008). Assim, a metodologia adotada foi amparada pelos autores: Hoffmann *et al.* (2015), Ferenhof e Fernandes (2016), Movahedipour *et al.* (2016) e Struecker e Hoffmann (2017) e segue as etapas de definição do protocolo de pesquisa; de análise dos artigos selecionados e de síntese dos resultados.

As escolhas das bases de dados adotadas, quais sejam: *Web of Science*, *Scopus* e *Scielo*, foram alicerçadas pelo reconhecimento e pela relevância junto à comunidade acadêmica. São bases multidisciplinares que disponibilizam ferramentas e funcionalidades de apoio para análises dos resultados (bibliometria).

As palavras chaves utilizadas nos descritores da busca (topics) foram: "*facilit\* locatio\**" AND *dynamic\**, resultando em 828 artigos. Os filtros adicionados para melhor delimitação do escopo foram: por tipo de publicação (somente artigos de pesquisa), categoria (*operations research management science -web of science* categorie), língua (inglês e português) e pelo ano de publicação (a partir de 2008 até março de 2018). É preciso ressaltar que, neste estudo, todas as análises referentes ao ano de 2018 estão limitadas aos meses de janeiro a março.

Após os filtros citados, resultaram um total de 292 artigos. Todos os dados destes 292 artigos foram importados para a ferramenta *StArt* (*State of the Art through Systematic Review*), desenvolvida pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES), do Departamento de Computação, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Com a utilização do *StArt*, foram excluídos 62 artigos duplicados entre as bases de dados. Para análise inicial, foram considerados o título, as palavras-chave e o resumo de cada um dos 230 artigos restantes. O Quadro 1 apresenta a síntese do processo de construção do portfólio dos 70 artigos finais analisados e demonstra a delimitação da amostra a cada etapa cumprida e seus resultados numéricos.

Quadro 1 – Processo para seleção da amostra final de artigos

Etapas		Web of Science	Scopus	SciELO	Total	
Filtros	Palavras-chaves	"facilit* locatio*" AND dynamic*	369	442	17	828
	Tipo de documento	Artigo de pesquisa	285	285	16	586
	Ano de publicação	De 2008 a março 2018	219	188	11	418
	Categoria	Operations Research Management	108	-	-	108
	Idioma	Inglês e Português	108	178	6	292
Total de artigos para análise		108	178	6	292	
Total de artigos após exclusão de duplicidade		63	161	6	230	
<b>Total de artigos após critérios de inclusão/exclusão</b>		<b>23</b>	<b>47</b>	<b>0</b>	<b>70</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Foram adotados um critério de inclusão e três de exclusão para atender o protocolo da revisão sistemática. Como critério de inclusão, os artigos deveriam utilizar, como arcabouço teórico, a teoria da localização aplicada à pesquisa operacional.

Em razão da aplicação do filtro na categoria “*operations research management science*”, a seleção da amostra de artigos, necessariamente, trazia conteúdos aplicados à pesquisa operacional, no entanto, foram excluídos todos os artigos que não utilizavam modelagem matemática para a solução da problemática.

Também foram excluídos os artigos que tratavam de otimização de rotas, pois utilizavam a teoria da localização e modelos matemáticos, todavia, os níveis de decisão envolvidos nestes problemas são diferentes da localização de instalações. As decisões de localização de instalações envolvem questões estruturais de médio-longo prazo, e as rotas são de curto-prazo, podendo ser alteradas diversas vezes dentro da vida útil de um serviço.

Junto ao *Web of Science*, na área *Journal Citation Report*, é possível verificar o fator de impacto de cada periódico. O fator de impacto é uma medida que reflete o número médio de citações de artigos científicos publicados em determinado periódico. Analisando a categoria “*Operations Research & Management Science*”, temos um total de 83 periódicos em maio de 2018, onde o fator de impacto varia entre o máximo de 5,207 e o mínimo de 0,716. Assim, um segundo critério de exclusão foi adotado levando em conta o fator de impacto do periódico. Foram excluídos todos os artigos pertencentes a periódicos com fator de impacto menor que 1,0.

Dessa forma, construiu-se um portfólio com 70 artigos, sendo que no Quadro 2, estão listados todos os artigos selecionados. Para a revisão sistemática, as análises dos artigos foram

pautadas, principalmente, nos procedimentos metodológicos, nos resultados e nas conclusões. A análise de conteúdo e a bibliometria abrangeram os mesmos critérios de seleção de artigos adotados para desenvolver a revisão sistemática.

Quadro 2 – Portfólio de artigos para as análises

Autor (Ano)		
ALUMUR, S.A. et al. (2012)	HUANG, Y.; CHEN, C.; FAN, Y. (2010)	NOGUEIRA, L.C., JR.; PINTO, L.R.; SILVA, P.M.S. (2016)
AN, H.-C.; NOROUZI-FARD, A.; SVENSSON, O. (2017)	IVANOV, D. et al. (2017)	OSMANI, A.; ZHANG, J. (2014)
ASL-NAJAFI, J. et al. (2015)	IVANOV, D.; PAVLOV, A.; SOKOLOV, B. (2014)	QIU, J.; SHARKEY, T.C. (2013)
BADRI, H.; BASHIRI, M.; HEJAZI, T.H. (2013)	JABBARZADEH, A.; FAHIMNIA, B.; SEURING, S. (2014)	RAPPOLD, J.A.; VAN ROO, B.D. (2009)
BENKOCZI, R. et al. (2012)	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2015)	REZAPOUR, S. et al. (2014)
BERMAN, O. et al. (2009)	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2016)	SALEM, R.W.; HAOUARI, M. (2017)
BUYUKTAHTAKM, I.E.; DES-BORDES, E.; KIBIS, E.Y. (2018)	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2017)	SAYARSHAD, H.R.; CHOW, J.Y.J. (2017)
CALDERIN, J.F.; MASEGOSA, A.D.; PELTA, D.A. (2017)	JOUZDANI, J.; SADIJADI, S.J.; FATHIAN, M. (2013)	SEIFERT, R.W.; LANGENBERG, K.U. (2011)
CONTRERAS, I.; CORDEAU, J.-F.; LAPORTE, G. (2011)	KCHAOU BOUJELBEN, M.; BOULAKSIL, Y. (2018)	SHEN, C.-Y.; YU, K.-T. (2009)
DE ROSA, V. et al. (2014)	KCHAOU BOUJELBEN, M.; GICQUEL, C.; MINOUX, M. (2016)	SHU, K.; SCHNEIDER, U.A.; SCHEFFRAN, J. (2017)
DIDANDEH, A. et al. (2013)	KILIC, Y.E.; TUZKAYA, U.R. (2015)	THANH, P.N.; BOSTEL, N.; PETON, O. (2008)
DUHAMEL, C. et al. (2016)	KONG, C. et al. (2017)	TORRES-SOTO, J.E.; USTER, H. (2011)
FAHIMNIA, B.; JABBARZADEH, A. (2016)	LANCINSKAS, A. et al. (2017)	TOSO, E.A.; ALEM, D. (2014)
FARAHANI, R.Z.; DREZNER, Z.; ASGARI, N. (2009)	LEDUC, S. et al. (2010)	TRAN, T.H.; SCAPARRA, M.P.; OHANLEY, J.R. (2017)
FARAHANI, R.Z.; SZETO, W.Y.; GHADIMI, S. (2015)	LEE, Y.H.; KWON, S.G. (2010)	TU, W. et al. (2016)
FEYZIAN-TARY, I.; RAZMI, J.; SANGARI, M.S. (2018)	LI, X. et al. (2016)	WANG, X.; LIM, M.K.; OUYANG, Y. (2017)
FIANU, S.; DAVIS, L.B. (2018)	LIU, H.; WANG, D.Z.W. (2017)	WILHELM, W.; HAN, X.; LEE, C. (2013)
GARCIA, S.; LABBE, M.; MARIN, A. (2011)	MANZINI, R.; GEBENNINI, E. (2008)	XIE, W.; OUYANG, Y. (2013)
GARRETT, R.A. et al. (2017)	MARQUES, M.D.C.; DIAS, J.M. (2018)	XU, J.; LIU, Q.; LEI, X. (2016)
GEBENNINI, E.; GAMBERINI, R.; MANZINI, R. (2009)	MARUFUZZAMAN, M.; EKSIÖGLU, S.D. (2017)	ZHANG, A.; KANG, J.E.; KWON, C. (2017)
GHADERI, A. (2015)	MARUFUZZAMAN, M.; GEDIK, R.; RONI, M.S. (2016)	ZHOU, Y. et al. (2017)
GOLLOWITZER, S.; LJUBIC, I. (2011)	MURAT, A.; LAPORTE, G.; VERTER, V. (2016)	ZHUGE, D. et al. (2016)
HINOJOSA, Y. et al. (2008)	NDIAYE, M.; ALFARES, H. (2008)	
HUANG, R.; KIM, S.; MENEZES, M.B.C. (2010)	NEEMA, M.N.; OHGAL, A. (2010)	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Na análise de conteúdo, para demonstrar as diferentes características dos problemas de localização, foram selecionadas algumas estruturas propostas na literatura e, portanto, as categorias foram determinadas de forma apriorística (SEYEDHOSSEINI *et al.*, 2016). Essas categorias são grandes enunciados que abarcam temas segundo seu nível de proximidade, e que exprimem significados relevantes aos objetivos do estudo (SILVA; FOSSÁ, 2015).

Assim, os referidos artigos foram categorizados por função objetivo do modelo matemático, pelo tipo de parâmetros utilizados e pela aplicação em problemas de localização. No Quadro 3, estão sintetizadas as categorias adotadas para a análise do conteúdo. Além disso, foram detalhadas a descrição do campo de aplicação e a técnica de solução utilizada. A mencionada categorização permite identificar as principais tendências de estudo, como os modelos evoluíram e as possíveis lacunas da temática.

Quadro 3 – Categorias de análise do conteúdo

Função objetivo	Parâmetro	Aplicação em problemas de localização
Maximizar	Determinístico	Sistemas Competitivos
Minimax	Estocástico	Gestão de Resíduos
Minimizar	Estocástico / Determinístico	Sistemas de Hub
Múltiplas	Estocástico / Fuzzy	Sistemas de Saúde e Auxílio a Desastres
	Fuzzy	Sistemas de Distribuição
	Probabilístico	Sistemas de Produção-Distribuição

Fonte: Adaptado de SEYEDHOSSEINI *et al.*, 2016

Os tipos de função objetivo apresentadas são: minimizar (custos, tempo, distâncias, risco), maximizar (lucro, disponibilidade de serviços, população atendida), minimax (minimizar distância para máxima cobertura, minimizar máxima distância ponderada) e múltiplas (mais de um tipo de função objetivo é adotada no modelo).

Os parâmetros aplicados nas modelagens podem ser determinísticos, probabilísticos, estocásticos ou difusos (também chamados de fuzzy) (FARAHANI *et al.*, 2014). No entanto, alguns estudos adotaram dois tipos de parâmetros para alcançar seus resultados, resultando em categorias híbridas. A outra categoria é a área de aplicação da modelagem de localização. E está predefinida em sistemas competitivos, gestão de resíduos, sistemas de hubs, sistema de saúde e auxílio a desastres, sistemas de distribuição e sistemas de produção-distribuição.

### 3 RESULTADOS E ANÁLISES

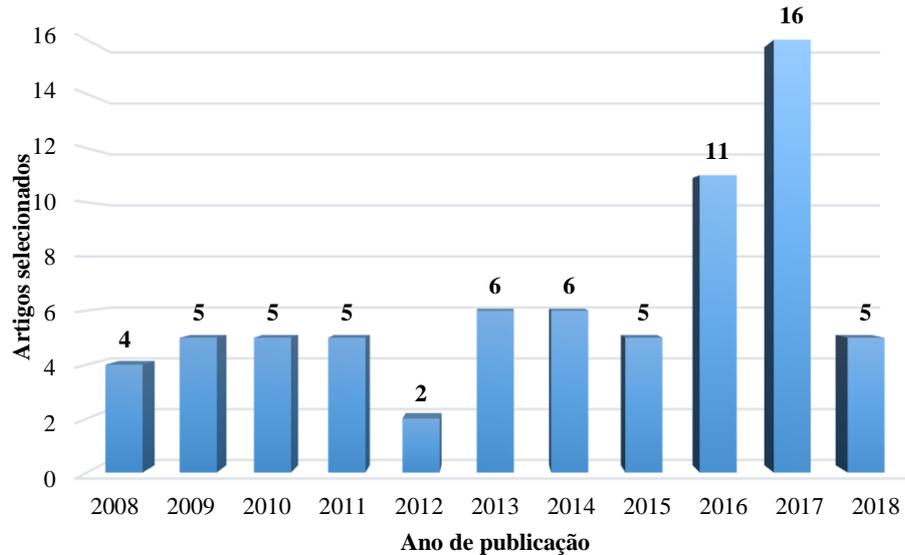
Inicialmente, será apresentada a análise bibliográfica detalhada pela quantidade de artigos publicados na última década em ordem cronológica, os artigos mais citados, os periódicos com a quantidade de artigos. Em seguida, o fator de impacto de cada *journal*, os países de maior concentração de estudos, e nuvem de palavras. Por fim, é apresentada a análise de conteúdo.

#### 3.1 Análise bibliográfica

A cientometria visa compreender a estrutura, evolução e conexões de uma área ou campo de estudo, estabelecendo relações entre ciência e desenvolvimento tecnológico, econômico e social (GREGOLIN *et al.*, 2005). Dessa maneira, aplicando as técnicas da abordagem bibliométrica, é possível mapear a produção científica.

A evolução da produção científica, com base na amostra estudada, pode ser visualizada na Figura 2. A análise demonstrou que o maior volume de publicações sob a temática concentra-se nos anos de 2016 e 2017. Vale lembrar que o ano de 2018 contempla, exclusivamente, publicações referentes ao primeiro trimestre. Dessa forma, o último triênio da análise concentra 45% das obras.

Figura 2 – Evolução no volume de publicações dentro da temática de 2008 a 2018



Fonte: Resultados da pesquisa, 2018

Mediante o exposto, a temática está presente nas agendas de pesquisas e se apresenta de forma contínua, demonstrando sua relevância com um incremento bastante significativo nos anos de 2016 e 2017. Vale ressaltar que o resultado do ano de 2018 refere-se apenas a análise do primeiro trimestre e apresenta volume idêntico ao total do ano de 2015. É possível esclarecer tal comportamento nas publicações, pois a solução de problemas, através da modelagem matemática, é extremamente dependente da evolução das ferramentas, *softwares* e capacidade computacional.

Neste mesmo sentido, Melo, Nickel e Saldanha-da-Gama (2009) também afirmaram que o número de publicações é crescente e que inclusive justificavam a criação de um grupo de pesquisa direcionado à localização e logística, o *Winter Institute in Location and Logistics*, vinculado à *Association of European Operational Research Societies (EURO)*.

No Quadro 4, estão apresentados os artigos mais citados e a contagem total de citações foi obtida da *Web of Science* e *Scopus* de acordo o número total de vezes que um determinado artigo foi citado por todos os periódicos listados no banco de dados. Este número de citações é

uma medida de sua repercussão ou visibilidade e representa a maioria do reconhecimento científico presente no conjunto atual de artigos.

Quadro 4 – Número de citação do artigo, fator de impacto e quartil do periódico

Autor	Título	Citações	Fator de Impacto	Quartil
HUANG, Y.; CHEN, C.; FAN, Y. (2010)	Multistage optimization of the supply chains of biofuels	128	2.974	Q1
THANH, P.N.; BOSTEL, N.; PETON, O. (2008)	A dynamic model for facility location in the design of complex supply chains	94	3.493	Q1
ALUMUR, S.A. et al. (2012)	Multi-period reverse logistics network design	93	3.297	Q1
GEBENNINI, E.; GAMBERINI, R.; MANZINI, R. (2009)	An integrated production-distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization	85	3.493	Q1
HINOJOSA, Y. et al. (2008)	Dynamic supply chain design with inventory	68	2.600	Q1
JABBARZADEH, A.; FAHIMNIA, B.; SEURING, S. (2014)	Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application	65	2.974	Q1
LEDUC, S. et al. (2010)	Location of a biomass based methanol production plant: A dynamic problem in northern Sweden	63	7.182	Q1
GARCIA, S.; LABBE, M.; MARIN, A. (2011)	Solving Large p-Median Problems with a Radius Formulation	42	1.173	Q3
GOLLOWITZER, S.; LJUBIC, I. (2011)	MIP models for connected facility location: A theoretical and computational study	39	2.600	Q1
MANZINI, R.; GEBENNINI, E. (2008)	Optimization models for the dynamic facility location and allocation problem	38	2.325	Q1
OSMANI, A.; ZHANG, J. (2014)	Economic and environmental optimization of a large scale sustainable dual feedstock lignocellulosic-based bioethanol supply chain in a stochastic environment	36	7.182	Q1
RAPPOLD, J.A.; VAN ROO, B.D. (2009)	Designing multi-echelon service parts networks with finite repair capacity	35	3.297	Q1

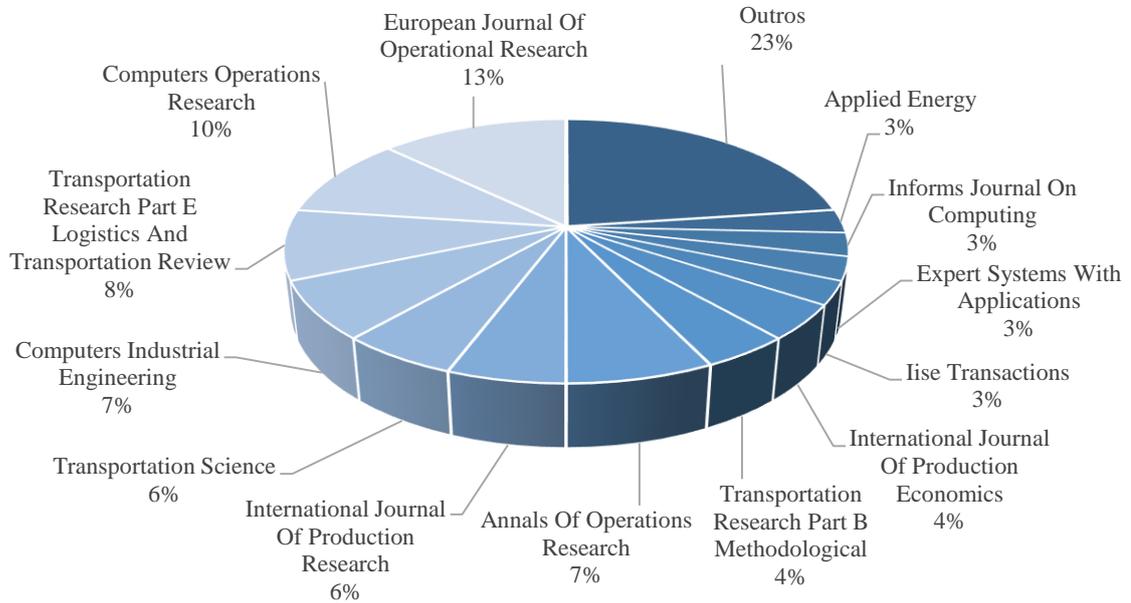
Fonte: Elaborado pelo autor baseado pelo *Scopus e Web of Science*, 2018.

Ainda, no Quadro 4, foram apresentados o fator de impacto e o quartil do periódico responsável pela publicação de cada artigo. O maior impacto encontrado, dentre os periódicos analisados, pertence ao *Applied Energy* (7,182), no entanto, este não é o *journal* de maior frequência dentro da temática, concentrando apenas 3% das publicações. Trata-se de um periódico voltado para as temáticas de engenharia, química e também energia e combustíveis, o que confirma que a influência de um periódico não deve ser considerada de forma isolada ao campo ou à categoria em que pertence. A categoria onde se encontra a essência das pesquisas que abordam problemas de localização de instalações é a da pesquisa operacional e da ciência da gestão. Nesta categoria, o periódico de maior impacto é o *International Journal of Production Economics*, possuindo dois dos artigos mais citados.

Não obstante à esta ótica, foram analisados os canais de publicação das pesquisas, dentre os quais, 29 periódicos científicos tratam da temática de localização de facilidades em seus artigos. Na Figura 3, é possível verificar que os canais de publicação científica mais dedicados

à temática são: o *European Journal of Operational Research* e o *Computers Operations Research*, confirmando um forte consenso quanto à temática.

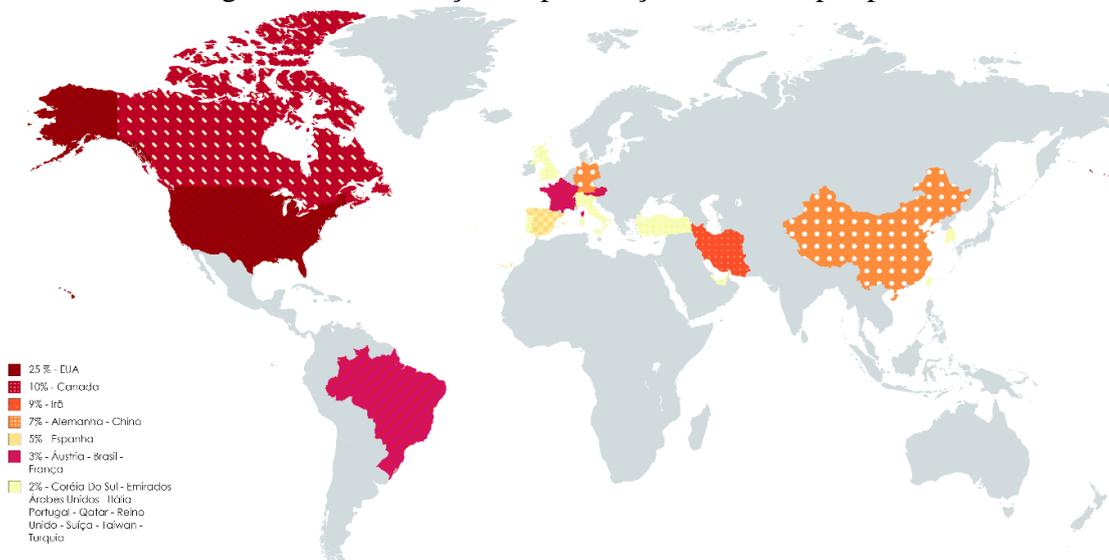
Figura 3 – Frequência dos periódicos nas publicações 2008 a 2018



Fonte: Resultados da pesquisa, 2018

Quanto à disseminação das publicações em nível mundial, estas se apresentam distribuídas entre 28 países, contabilizando o artigo tanto para o país de origem do autor quanto dos coautores, independente de quantos foram. Dessa forma, a amostra totalizou 100 artigos e os maiores destaques estão representados na Figura 4, ordenados conforme a concentração de publicações. Sendo assim, o país com a maior produção acadêmica são os Estados Unidos (25%).

Figura 4 – Distribuição da publicação analisada por país



Fonte: Resultados da pesquisa, 2018

Para analisar as publicações por regiões mundiais, os artigos foram reagrupados e excluídas as duplicidades geradas pelos autores de mesma origem. Dessa forma, para a análise das regiões, tem-se um total de 94 artigos. A maior representatividade encontra-se na América do Norte, com Estados Unidos e Canadá responsáveis por 34% dos artigos. Nestes artigos, é possível verificar uma tendência na utilização de parâmetros determinísticos, uma vez que estão presentes em 84,4% destes. Além disso, prevalecem artigos que buscam solucionar problemas de sistemas de distribuição (65,6%).

Uma tendência bastante diferente do que acontece na Europa Central, representada por Alemanha, Áustria, Bélgica, França, Holanda, Itália, Reino Unido e Suíça. A maioria dos artigos produzidos (50%) trata de sistemas de produção-distribuição, sendo a Alemanha a nação mais representativa (HINOJOSA *et al.*, 2008; ALUMUR *et al.*, 2012; IVANOV *et al.*, 2017; SHU; SCHNEIDER; SCHEFFRAN, 2017).

Outro grande destaque é o Oriente Médio, com publicações da Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Irã, Qatar e Turquia. Com 17% dos artigos, essa é a região cujos autores mais publicaram artigos com parâmetros estocásticos (JABBARZADEH; FAHIMNIA; SEURING, 2014; KILIC; TUZKAYA, 2015; FAHIMNIA; JABBARZADEH, 2016; SALEM; HAOUARI, 2017; KCHAOU BOUJELBEN; BOULAKSIL, 2018), inclusive com produção acadêmica superior aos Estados Unidos. O país de maior destaque é o Irã, com 56% da autoria dos artigos produzidos nesta região.

Aprofundando as análises, adotou-se uma métrica na tentativa de contornar um possível erro nas interpretações devido ao volume de publicações de alguns países. Sendo assim, a Tabela 1 apresenta estes indicadores, cujo resultado é dado pela relação entre o total de artigos publicados em todas as áreas do conhecimento no país nos últimos 10 anos <sup>(a)</sup> e os artigos do portfólio selecionado <sup>(c)</sup>. Adicionalmente, uma segunda métrica foi usada relacionando a média aritmética da publicação em todas as áreas do conhecimento de cada país na última década <sup>(b)</sup> e os artigos do portfólio selecionado <sup>(c)</sup>.

Dessa forma, o Oriente Médio passa ser a região de maior relevância para o escopo tratado. Mesmo com uma quantidade inferior de publicações, o valor ponderado pelo indicador demonstra uma maior representatividade nas publicações dedicadas a modelagens de localização. Quando as publicações sobre localização de instalações são ponderadas pelo volume total de publicações, é possível verificar o posicionamento do país nesta área do conhecimento.

Tabela 1 – Relevância da localização de instalações nas publicações de cada país

País	Região	Total	$\bar{x}$	Artigos	c/a	c/b
		Publicado <sup>a</sup>	Publicação <sup>b</sup>	Localização <sup>c</sup>		
Catar	Oriente Médio	19.924	1.811	2	0,01004%	0,11042%
Emirados Árabes Unidos	Oriente Médio	36.821	3.347	2	0,00543%	0,05975%
Cuba	América Central	23.292	2.117	1	0,00429%	0,04723%
Lituânia	Países Bálticos	34.102	3.100	1	0,00293%	0,03226%
Irã	Oriente Médio	406.144	36.922	9	0,00222%	0,02438%
Áustria	Europa Central	237.523	21.593	3	0,00126%	0,01389%
Canadá	América do Norte	1.035.583	94.144	10	0,00097%	0,01062%
Portugal	Península Ibérica	209.999	19.091	2	0,00095%	0,01048%
Arábia Saudita	Oriente Médio	132.458	12.042	1	0,00075%	0,00830%
Espanha	Península Ibérica	869.267	79.024	5	0,00058%	0,00633%
Cingapura	Sudeste Asiático	190.581	17.326	1	0,00052%	0,00577%
Turquia	Oriente Médio	397.923	36.175	2	0,00050%	0,00553%
Brasil	América do Sul	636.853	57.896	3	0,00047%	0,00518%
Taiwan	Extremo Oriente	428.492	38.954	2	0,00047%	0,00513%
Suíça	Europa Central	429.993	39.090	2	0,00047%	0,00512%
Alemanha	Europa Central	1.733.330	157.575	7	0,00040%	0,00444%
Estados Unidos	América do Norte	6.681.010	607.365	25	0,00037%	0,00412%
Bélgica	Europa Central	320.387	29.126	1	0,00031%	0,00343%
Coreia do Sul	Extremo Oriente	748.179	68.016	2	0,00027%	0,00294%
Suécia	Europa Nórdica	375.455	34.132	1	0,00027%	0,00293%
França	Europa Central	1.218.407	110.764	3	0,00025%	0,00271%
Itália	Europa Central	1.046.182	95.107	2	0,00019%	0,00210%
Federação Russa	Leste Europeu	575.611	52.328	1	0,00017%	0,00191%
Holanda	Europa Central	577.327	52.484	1	0,00017%	0,00191%
China	Extremo Oriente	4.284.152	389.468	7	0,00016%	0,00180%
Austrália	Oceania	860.024	78.184	1	0,00012%	0,00128%
Reino Unido	Europa Central	1.970.477	179.134	2	0,00010%	0,00112%
Japão	Extremo Oriente	1.395.071	126.825	1	0,00007%	0,00079%

Fonte: Elaborada pelo autor com dados do Scimago Journal & Country Rank, 2018

Visando confrontar os interesses das pesquisas exploradas com a temática em discussão, apresenta-se uma nuvem de palavras na Figura 5, criada a partir do site wordart.com, onde são verificadas quais as palavras com maior proeminência. Correlacionando a proporção das palavras, evidencia-se que a otimização está diretamente ligada às questões de localização. Outros destaques são: programação, *multi*, *design* de rede, algoritmo e *supply chain*.

Para a construção da nuvem de palavras, foram utilizados os títulos e as palavras-chaves do portfólio de artigos. Por meio da contagem da ocorrência de cada termo, foi gerada uma imagem que ressalta as palavras de maior frequência.



cronologicamente, permitindo visualizar uma possível tendência ou direcionamento das pesquisas.

Quadro 5 – Classificação da literatura de acordo com suas medidas de performance

Tipo de função	Autor (ano)	
<b>Minimizar</b> (custos, tempo, distância, risco, fatalidade)	HINOJOSA, Y. et al. (2008)	ASL-NAJAFI, J. et al. (2015)
	MANZINI, R.; GEBENNINI, E. (2008)	FARAHANI, R.Z.; SZETO, W.Y.; GHADIMI, S. (2015)
	NDIAYE, M.; ALFARES, H. (2008)	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2015)
	THANH, P.N.; BOSTEL, N.; PETON, O. (2008)	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2016)
	FARAHANI, R.Z.; DREZNER, Z.; ASGARI, N. (2009)	KCHAOU BOUJELBEN, M.; GICQUEL, C.; MINOUX, M. (2016)
	GEBENNINI, E.; GAMBERINI, R.; MANZINI, R. (2009)	LI, X. et al. (2016)
	RAPPOLD, J.A.; VAN ROO, B.D. (2009)	MARUFUZZAMAN, M.; GEDIK, R.; RONI, M.S. (2016)
	HUANG, Y.; CHEN, C.; FAN, Y. (2010)	MURAT, A.; LAPORTE, G.; VERTER, V. (2016)
	LEDUC, S. et al. (2010)	NOGUEIRA, L.C., JR.; PINTO, L.R.; SILVA, P.M.S. (2016)
	LEE, Y.H.; KWON, S.G. (2010)	AN, H.-C.; NOROUZI-FARD, A.; SVENSSON, O. (2017)
	CONTRERAS, I.; CORDEAU, J.-F.; LAPORTE, G. (2011)	GARRETT, R. A. et al. (2017)
	GARCIA, S.; LABBE, M.; MARIN, A. (2011)	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2017)
	GOLLOWITZER, S.; LJUBIC, I. (2011)	LIU, H.; WANG, D.Z.W. (2017)
	TORRES-SOTO, J.E.; USTER, H. (2011)	MARUFUZZAMAN, M.; EKSIOGLU, S.D. (2017)
	BENKOCZI, R. et al. (2012)	SALEM, R.W.; HAOUARI, M. (2017)
	DIDANDEH, A. et al. (2013)	SAYARSHAD, H.R.; CHOW, J.Y.J. (2017)
	JOUZDANI, J.; SADJADI, S.J.; FATHIAN, M. (2013)	TRAN, T.H.; SCAPARRA, M.P.; OHANLEY, J.R. (2017)
WILHELM, W.; HAN, X.; LEE, C. (2013)	WANG, X.; LIM, M.K.; OUYANG, Y. (2017)	
XIE, W.; OUYANG, Y. (2013)	BUYUKTAHTAKM, I.E.; DES-BORDES, E.; KIBIS, E.Y. (2018)	
JABBARZADEH, A.; FAHIMNIA, B.; SEURING, S. (2014)	MARQUES, M.D.C.; DIAS, J.M. (2018)	
<b>Minimax</b>	BERMAN, O. et al. (2009)	TOSO, E.A.; ALEM, D. (2014)
	HUANG, R.; KIM, S.; MENEZES, M.B.C. (2010)	GHADERI, A. (2015)
<b>Maxmizar</b> (lucro, valor, disponibilidade de serviço, população)	SEIFERT, R.W.; LANGENBERG, K.U. (2011)	ZHUGE, D. et al. (2016)
	ALUMUR, S.A. et al. (2012)	CALDERIN, J. F.; MASEGOSA, A.D.; PELTA, D.A. (2017)
	BADRI, H.; BASHIRI, M.; HEJAZI, T.H. (2013)	LANCINSKAS, A. et al. (2017)
	DE ROSA, V. et al. (2014)	SHU, K.; SCHNEIDER, U.A.; SCHEFFRAN, J. (2017)
	REZAPOUR, S. et al. (2014)	ZHANG, A.; KANG, J.E.; KWON, C. (2017)
	KILIC, Y.E.; TUZKAYA, U.R. (2015)	FEYZIAN-TARY, I.; RAZMI, J.; SANGARI, M.S. (2018)
	DUHAMEL, C. et al. (2016)	FIANU, S.; DAVIS, L.B. (2018)
TU, W. et al. (2016)	KCHAOU BOUJELBEN, M.; BOULAKSIL, Y. (2018)	
<b>Multiobjetivo</b>	SHEN, C.-Y.; YU, K.-T. (2009)	FAHIMNIA, B.; JABBARZADEH, A. (2016)
	NEEMA, M.N.; OHGAI, A. (2010)	XU, J.; LIU, Q.; LEI, X. (2016)
	QIU, J.; SHARKEY, T.C. (2013)	IVANOV, D. et al. (2017)
	IVANOV, D.; PAVLOV, A.; SOKOLOV, B. (2014)	KONG, C. et al. (2017)
	OSMANI, A.; ZHANG, J. (2014)	ZHOU, Y. et al. (2017)

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de dados da Scopus, Web of Science e Scielo.

A maioria dos trabalhos (57%) explora o objetivo clássico de minimização de custos e diversas composições de custos são utilizadas para determinar a localização e atender as necessidades individuais de cada negócio. É possível evidenciar tal diversificação, tomando como exemplo, os artigos que exploraram a temática de biocombustíveis e aplicaram a minimização como medida de desempenho (HUANG; CHEN; FAN, 2010; LEDUC *et al.*, 2010, XIE; OUYANG, 2013, MARUFUZZAMAN; EKSIOGLU, 2017).

Para Huang, Chen e Fan (2010), a cadeia de fornecimento de biocombustível foi desenhada minimizando o custo total de transporte de matéria-prima (biomassa) e de produto

final (combustível). Já Marufuzzaman e Eksioğlu (2017) projetaram a cadeia de suprimentos de biocombustíveis e também buscaram minimizar os custos de transporte de matéria prima e produto final, mas incluíram o custo de transporte de *contêineres* de carga entre centros intermodais, os custos de transporte em condições normais e de interrupção, os custos de uso e uso descontinuado de *hubs*, o custo de estoque da biomassa e o custo da demanda insatisfeita.

Consequentemente, a qualidade e a quantidade da informação disponível são fundamentais. Assim, os modelos de otimização de localização ganham complexidade a fim de representar a realidade dos problemas. A exemplo disso, em aplicações inovadoras, Büyükahtakın *et al.* (2018) minimizaram o total de indivíduos infectados pelo vírus Ebola e de mortes de pessoas infectadas sem tratamento e Fianu e Davis (2018) maximizaram a equidade na distribuição de alimentos realizada por bancos alimentares. Neste último, a equidade é maximizada quando a distribuição dos suprimentos é proporcional à população na linha da pobreza de cada município.

Na relação de artigos que buscam a maximização, a variável de destaque na literatura foi o lucro e algumas de suas derivações como o valor presente do lucro (SHU; SCHNEIDER; SCHEFFRAN, 2017) e o lucro livre de impostos (KCHAOU BOUJELBEN; BOULAKSIL, 2018).

Com menor expressão, tem-se a função minimax, que está diretamente ligada a problemas de cobertura e P-mediana, que buscam minimizar a distância total ponderada entre as instalações e os pontos de demanda. Vale destacar o artigo brasileiro dessa categoria, intitulado *Effective location models for sorting recyclables in public management*, que trata da otimização de centros de triagem no contexto da coleta seletiva para reciclagem de lixo urbano sem incremento no orçamento público, tornando-se uma ferramenta poderosa para o chamado *Green Supply Chain Management* (TOSO; ALEM, 2014).

Nos modelos de otimização que utilizam uma única função objetivo, frequentemente os objetivos adjacentes ou conflitantes são transformados em restrições. Para se aproximar da complexidade dos problemas reais, o modelo de Fahimnia e Jabbarzadeh (2016) possui três funções objetivo conflitantes, que correspondem: ao desempenho econômico (minimizar), ambiental (maximizar) e social (maximizar) da cadeia de suprimentos. Os autores apresentaram uma abordagem de programação *fuzzy* estocástica para projetar uma cadeia de suprimentos "resilientemente sustentável", que é capaz de suportar interrupções e, concomitantemente, ser sustentável.

O Quadro 6 apresenta a categorização da literatura por tipo de parâmetro utilizado. De forma mais abrangente, os parâmetros utilizados em problemas de localização das instalações são classificados em dois âmbitos, o da certeza e o da incerteza.

Quadro 6 – Classificação da literatura de acordo com os parâmetros utilizados nos modelos

Parâmetro	Autor (ano)		
<b>Determinístico</b>	HINOJOSA, Y. et al. (2008)	BENKOCZI, R. et al. (2012)	MURAT, A.; LAPORTE, G.; VERTER, V. (2016)
	NDIAYE, M.; ALFARES, H. (2008)	BADRI, H.; BASHIRI, M.; HEJAZI, T.H. (2013)	NOGUEIRA, L.C., JR.; PINTO, L.R.; SILVA, P.M.S. (2016)
	THANH, P.N.; BOSTEL, N.; PETON, O. (2008)	DIDANDEH, A. et al. (2013)	TU, W. et al. (2016)
	BERMAN, O. et al. (2009)	QIU, J.; SHARKEY, T.C. (2013)	AN, H.-C.; NOROUZI-FARD, A.; SVENSSON, O. (2017)
	FARAHANI, R.Z.; DREZNER, Z.; ASGARI, N. (2009)	WILHELM, W.; HAN, X.; LEE, C. (2013)	CALDERIN, J. F.; MASEGOSA, A.D.; PELTA, D.A. (2017)
	GEBENNINI, E.; GAMBERINI, R.; MANZINI, R. (2009)	XIE, W.; OUYANG, Y. (2013)	GARRETT, R. A. et al. (2017)
	HUANG, R.; KIM, S.; MENEZES, M.B.C. (2010)	DE ROSA, V. et al. (2014)	IVANOV, D. et al. (2017)
	HUANG, Y.; CHEN, C.; FAN, Y. (2010)	IVANOV, D.; PAVLOV, A.; SOKOLOV, B. (2014)	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2017)
	LELUC, S. et al. (2010)	REZAPOUR, S. et al. (2014)	KONG, C. et al. (2017)
	LEE, Y.H.; KWON, S.G. (2010)	ASL-NAJAFI, J. et al. (2015)	LANCINSKAS, A. et al. (2017)
	NEEMA, M.N.; OHGAI, A. (2010)	FARAHANI, R.Z.; SZETO, W.Y.; GHADIMI, S. (2015)	MARUFUZZAMAN, M.; EKSIUGLU, S.D. (2017)
	CONTRERAS, I.; CORDEAU, J.-F.; LAPORTE, G. (2011)	GHADERI, A. (2015)	SHU, K.; SCHNEIDER, U.A.; SCHEFFFRAN, J. (2017)
	GARCIA, S.; LABBE, M.; MARIN, A. (2011)	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2015)	TRAN, T.H.; SCAPARRA, M.P.; O'HANLEY, J.R. (2017)
	GOLLOWITZER, S.; LJUBIC, I. (2011)	DUHAMEL, C. et al. (2016)	WANG, X.; LIM, M.K.; OUYANG, Y. (2017)
	SEIFERT, R.W.; LANGENBERG, K.U. (2011)	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2016)	ZHANG, A.; KANG, J.E.; KWON, C. (2017)
TORRES-SOTO, J.E.; USTER, H. (2011)	KCHAOU BOUJELBEN, M.; GICQUEL, C.; MINOUX, M. (2016)	BUYUKTAHTAKM, I.E.; DES-BORDES, E.; KIBIS, E.Y. (2018)	
ALUMUR, S.A. et al. (2012)	MARUFUZZAMAN, M.; GEDIK, R.; RONI, M.S. (2016)	FEYZIAN-TARY, I.; RAZMI, J.; SANGARI, M.S. (2018)	
<b>Estocástico / Determinístico</b>	TOSO, E.A.; ALEM, D. (2014)		
<b>Estocástico</b>	MANZINI, R.; GEBENNINI, E. (2008)	KILIC, Y.E.; TUZKA YA, U.R. (2015)	SALEM, R.W.; HAOUARI, M. (2017)
	RAPPOLD, J.A.; VAN ROO, B.D. (2009)	LI, X. et al. (2016)	FIANU, S.; DAVIS, L.B. (2018)
	JABBARZADEH, A.; FAHIMNIA, B.; SEURING, S. (2014)	ZHUGE, D. et al. (2016)	KCHAOU BOUJELBEN, M.; BOULAKSIL, Y. (2018)
	OSMANI, A.; ZHANG, J. (2014)	LIU, H.; WANG, D.Z.W. (2017)	
<b>Estocástico / Fuzzy</b>	FAHIMNIA, B.; JABBARZADEH, A. (2016)		
<b>Fuzzy</b>	SHEN, C.-Y.; YU, K.-T. (2009)	JOUZDANI, J.; SADIJADI, S.J.; FATHIAN, M. (2013)	XU, J.; LIU, Q.; LEI, X. (2016)
<b>Probabilístico</b>	SA YARSHAD, H.R.; CHOW, J.Y. J. (2017)	ZHOU, Y. et al. (2017)	MARQUES, M.C.; MATOS DIAS, J. (2018)

Fonte: Elaborada a partir de dados da Scopus, Web of Science e Scielo.

Os parâmetros determinísticos possuem todos os dados de entrada definidos. Quando a incerteza está inserida no modelo, tem-se parâmetros estocásticos, probabilísticos ou difusos. Incluir a incerteza na modelagem matemática torna a solução mais complexa. Assim, justifica-se a opção majoritária (73% dos artigos analisados) pelos parâmetros determinísticos.

A principal característica dos sistemas determinísticos é a precisão obtida pela solução. No entanto, existe a possibilidade desta acuracidade apresentar-se comprometida quando os parâmetros envolvidos na formulação são questionáveis. Uma vez que os principais parâmetros dos problemas dinâmicos mudam ao longo do horizonte de tempo planejado, eles devem preencher os critérios de robustez e confiabilidade.

Ferramentas que incorporam informações imprecisas são fundamentais para a modelagem. As incertezas podem ser consideradas utilizando três abordagens diferentes, mediante formulação probabilística, por meio de intervalos previamente definidos e por último abordando a teoria das possibilidades (MÖLLER; BERR, 2004).

Neste contexto, para análise das incertezas paramétricas, predominou a utilização da abordagem estocástica, com 65% dos artigos versando sobre ela. Nos modelos de programação estocástica, os parâmetros incertos são representados através de variáveis aleatórias. Nesse padrão, a medida que o tempo passa, o fenômeno varia em algum grau inesperadamente. Portanto, o padrão estocástico é aquele cujo estado é indeterminado com origem em eventos aleatórios.

Por intermédio da teoria dos conjuntos *fuzzy*, são modeladas incertezas nas quais é desconhecido o processo estocástico que as descreve. Como alternativa aos métodos estocásticos, a lógica *fuzzy* (também conhecida como difusa ou nebulosa) permite descrever informações incompletas ou imprecisas de aspecto vago. A mencionada teoria pode ser adotada para fenômenos que envolvem a subjetividade, ou seja, quando seus limites não estão definidos com precisão. Para suas análises, Fahimnia e Jabbarzadeh (2016) constituíram um conjunto de possíveis cenários de desastre por meio da abordagem estocástica e determinaram o peso entre as funções objetivo com a abordagem fuzzy.

Nas medidas *fuzzy*, o valor exato dos parâmetros é desconhecido, mas é limitado em um intervalo ponderado por uma função de pertinência. Assim, Xu, Liu e Lei (2016) representaram a relação de proximidade entre as instalações temporárias, avaliando numericamente a eficiência da sequência de *layout*, minimizando o custo e maximizando a segurança.

Perseguindo o propósito de fornecer um levantamento sobre as características de problemas de localização, a Tabela 2 apresenta a classificação dos modelos matemáticos conforme a sua aplicação e as técnicas de solução empregados. Os dados foram agrupados por sistemas de aplicação e distribuídos conforme o ano de publicação de forma crescente.

Tabela 2 – Campos de aplicação e técnicas de solução adotados nos modelos  
(continua)

Aplicação em problemas de localização	Autor (ano)	Descrição do Campo de Aplicação	Técnica de Solução
<b>Sistemas Competitivos</b>	REZAPOUR, S. et al. (2014)	Competitive supply chain desig	Exact; Metaheuristic Algorithms
	LANCINSKAS, A. et al. (2017)	Competitive facility location problems (entering firm)	Genetic Algorithms
	FEYZIAN-TARY, I.; RAZMI, J.; SANGARI, M.S. (2018)	Competitive supply chain network design	Modified Projection Algorithm; Nash Equilibrium
<b>Gestão de Resíduos</b>	TOSO, E.A.; ALEM, D. (2014)	Capacited facility location problem (sorting centers)	Stochastic Programming Base in Scenarios; Risk Modeling
<b>Sistemas de Hub</b>	CONTRERAS, I.; CORDEAU, J.-F.; LAPORTE, G. (2011)	Hub location	Branch & Bound, Lagrangian Relaxation
<b>Sistemas de Saúde e Auxílio a Desastres</b>	NDIA YE, M.; ALFARES, H. (2008)	Facility location problem (moving populations)	Exact - Binary Integer Programming
	HUANG, R.; KIM, S.; MENEZES, M.B.C. (2010)	Large-scale emergency center problem	Dynamic Programming
	JABBARZADEH, A.; FAHIMNIA, B.; SEURING, S. (2014)	Supply chain network design (blood in disasters)	Branch & Bound
	DUHAMEL, C. et al. (2016)	Facility location-allocation problem (post-disaster relief)	Decomposition Approach: Blackbox Coupling Heuristics, Variable Neighborhood Descent Local Search
	NOGUEIRA, L.C., JR.; PINTO, L.R.; SILVA, P.M.S. (2016)	Facility location-allocation	Optimization; Simulation; Scenario Analyses
	GARRETT, R. A. et al. (2017)	Resource allocation (disaster response - remote areas)	Mixed Integer Linear Program
	ZHOU, Y. et al. (2017)	Emergency resource scheduling problems	Evolutionary Algorithm; Sbx Crossover Operator; Mutation Operator
	BUYUKTAHTAKM, I.E.; DES-BORDES, E.; KIBIS, E.Y. (2018)	Epidemics–logistics optimization model	Epidemics–Logistics Mixed Integer Program Model, Compartment Model.
<b>Sistemas de Distribuição</b>	BERMAN, O. et al. (2009)	Facility location problem	Dynamic Programming Algorithm, Improved Descent Algorithm, Tabu Search
	FARAHANI, R.Z.; DREZNER, Z.; ASGARI, N. (2009)	Facility location problem (highway policy department)	Dynamic Programming
	RAPPOLD, J.A.; VAN ROO, B.D. (2009)	Facility location-allocation/capacity investment	Non-Linear Integer Program (Two-Step)
	SHEN, C.-Y.; YU, K.-T. (2009)	Facility location problem	Factor Rating System in Group Decision-Making
	LEE, Y.H.; KWON, S.G. (2010)	Distribution center planning problem	Tabu Search; Decomposed Optimization - Neighborhood Generation (Dc Exchange, Dc Genetic Algorithms
	NEEMA, M.N.; OHGAI, A. (2010)	Location problem (parks and open spaces)	
	GARCIA, S.; LABBE, M.; MARIN, A. (2011)	Facility location problem	Branch & Bound, Column-and-Row Generation Algorithm
	GOLLOWITZER, S.; LJUBIC, I. (2011)	Connected facility location problem	Branch-and-Cut; Lp-Relaxations; Steiner Arborescence; Steiner Trees
	TORRES-SOTO, J.E.; USTER, H. (2011)	Logistic distribution system	Lagrangian Relaxation, Bender's Decomposition, Branch-And-Cut
	BENKOCZI, R. et al. (2012)	Conditional covering problem	O(N Logn)-Time Algorithm; O(N2 Logn)-Time Algorithm; O(N1.5 Logn)-Time; O(N3)-Time Algorithm
	DIDANDEH, A. et al. (2013)	Facility location problem	Reactive Agent Dynamic Voronoi Diagram Facility Spread
	QIU, J.; SHARKEY, T.C. (2013)	Facility location problem (military sea base)	Dynamic Programming
	XIE, W.; OUYANG, Y. (2013)	Facility co-location problem	Lagrangian Relaxation, Benders Decomposition, Accelerated Benders Decomposition
	DE ROSA, V. et al. (2014)	Capacited facility location problem	Exact
IVANOV, D.; PAVLOV, A.; SOKOLOV, B. (2014)	Supply chains distribution problem	Linear Programming Model	
OSMANI, A.; ZHANG, J. (2014)	Supply chain optimization	SAA Algorithm	

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 2 – Campos de aplicação e técnicas de solução adotados nos modelos

(continuação)

Aplicação em problemas de localização	Autor (ano)	Descrição do Campo de Aplicação	Técnica de Solução
Sistemas de Distribuição	FARAHANI, R.Z.; SZETO, W.Y.; GHADIMI, S. (2015)	Facility location-relocation time-dependent problem	Exact
	GHADERI, A. (2015)	Facility location/network design problem	Variable Neighborhood Search Algorithm; Branch & Bound; Cutting Methods
	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2015)	Facility closing/reopening, capacity expansion/reduction	Branch-and-Cut
	KILIC, Y.E.; TUZKAYA, U.R. (2015)	Location-allocation distribution network	Mixed Integer Programming (Two-Stage Stochastic)
	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2016)	Facility location problem (partial closing/reopening)	Lagrangian Relaxation; Mixed-Integer Programming Model (Bundle Method)
	KCHAOU BOUJELBEN, M.; GICQUEL, C.; MINOUX, M. (2016)	Location-routing problem	Exact Clustering; Mixed Integer Linear Program
	LI, X. et al. (2016)	One-way electrical vehicle sharing system	Continuum Approximation
	MARUFUZZAMAN, M.; GEDIK, R.; RONI, M.S. (2016)	Facility location problem	Benders-Based Rolling Horizon Algorithm
	MURAT, A.; LAPORTE, G.; VERTER, V. (2016)	Facility location-allocation and capacity acquisition problem	Shooting Algorithm
	TU, W. et al. (2016)	Coverage location model	Genetic Algorithms
	XU, J.; LIU, Q.; LEI, X. (2016)	Temporary facilities location planning problem	Simulated Annealing; Genetic Algorithm
	ZHUGE, D. et al. (2016)	Distribution centers location under uncertain demands	Lagrangian Relaxation
	AN, H.-C.; NOROUZI-FARD, A.; SVENSSON, O. (2017)	Facility location problem	Lagrangian-Preserving Constant Approximation Algorithm; Relaxation; Exponential Clocks; Clustering-Free
	CALDERIN, J. F.; MASEGOSA, A.D.; PELTA, D.A. (2017)	Maximum covering location problem	Portfolio of Algorithms: Simulated Annealing Exponential, Simulated Annealing Hyperbolic, Simulated Annealing Linear, Evolutionary Algorithm
	JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. (2017)	Facility location problem	Subgradient; Bundle Methods; Restricted Mip Model
	KONG, C. et al. (2017)	Charging station location problem	Hierarchical Optimization; Three-Layered System Model
	LIU, H.; WANG, D.Z.W. (2017)	Charging station location (different battery)	Stochastic Radial Basis Function Response Surface Model Based Algorithm; Black-Box Optimization Model
	SAYARSHAD, H.R.; CHOW, J.Y.J. (2017)	Location-reallocation problem (idle vehicles)	Lagrangian Decomposition, Relaxed Lower Bound Solution
	TRAN, T.H.; SCAPARRA, M.P.; O'HANLEY, J.R. (2017)	Facility location problem in large-scale neighborhood	Hypergraph Multi-Exchange Heuristic
	WANG, X.; LIM, M.K.; OUYANG, Y. (2017)	Facility location problem	Continuum Approximation, Iterative Tube Regulation, Tube Model
ZHANG, A.; KANG, J.E.; KWON, C. (2017)	Charging station flow	Forward Method (Two-Phase Approach)	
KCHAOU BOUJELBEN, M.; BOULAKSIL, Y. (2018)	International facility location	Mixed Integer Program	
MARQUES, M.D.C.; DIAS, J.M. (2018)	Uncapacitated facility location problem	Lagrangian Relaxation, Local Neighborhood Search, Subgradient Algorithm	
Sistemas de Produção-Distribuição	HINOJOSA, Y. et al. (2008)	Supply chain with inventory	Branch & Bound, Lagrangian Relaxation
	MANZINI, R.; GEBENNINI, E. (2008)	Facility location-allocation problem (two-stage logistic distribution)	Exact
	THANH, P.N.; BOSTEL, N.; PETON, O. (2008)	Supply chain design	Branch & Bound
	GEBENNINI, E.; GAMBERINI, R.; MANZINI, R. (2009)	Supply chain location-allocation with inventory	Exact
	HUANG, Y.; CHEN, C.; FAN, Y. (2010)	Supply chain design of biofuel	Exact - Mixed Integer Program
	LEDUC, S. et al. (2010)	Facility location problem	Exact - Mixed Integer Program
	SEIFERT, R.W.; LANGENBERG, K.U. (2011)	Supply chain portfolio	Exact - Integer Programs

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 2 – Campos de aplicação e técnicas de solução adotados nos modelos  
(conclusão)

Aplicação em problemas de localização	Autor (ano)	Descrição do Campo de Aplicação	Técnica de Solução
Sistemas de Produção-Distribuição	ALUMUR, S.A. et al. (2012)	Reverse logistics network design problems	Exact
	BADRI, H.; BASHIRI, M.; HEJAZI, T.H. (2013)	Supply chain network design	Lagrangian Relaxation
	JOUZDANI, J.; SADJADI, S.J.; FATHIAN, M. (2013)	Supply chain planning (dairy facility location)	Fuzzy Programming Approach
	WILHELM, W.; HAN, X.; LEE, C. (2013)	Supply chain reconfiguration problem	Mixed Integer Program; Network-Based Model
	ASL-NAJAFI, J. et al. (2015)	Closed-loop location-inventory problem	Particle Swarm Optimization; Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II
	FAHIMNIA, B.; JABBARZADEH, A. (2016)	Supply chain design sustainability-resilience relationship	Sustainability Performance Scoring Method; Stochastic Fuzzy Goal Programming Approach
	IVANOV, D. et al. (2017)	Supply chain re-configuration (material flows)	Hybrid Linear Programming-System Dynamics Simplex Method - Lexicographic Method
	MARUFUZZAMAN, M.; EKSIÖGLU, S.D. (2017)	Supply chain design of biofuel	Benders-Based Rolling Horizon Algorithm
	SALEM, R.W.; HAOUARI, M. (2017)	Supply chain network design	Monte Carlo Simulation-Optimisation; Particle Swarm Optimisation
	SHU, K.; SCHNEIDER, U.A.; SCHEFFRAN, J. (2017)	Facility location-allocation (bioenergy industry)	Dynamic Agent-Based
FIANU, S.; DAVIS, L.B. (2018)	Facility location-allocation in uncertain (food banks)	Markov Decision Process	

Fonte: Dados da pesquisa

Os parâmetros probabilísticos também tratam da incerteza e foram empregados na mesma proporção dos parâmetros *fuzzy*, com 4% de todos os artigos do portfólio. Marques e Matos Dias (2018) utilizam a probabilidade para determinar o futuro, no qual um conjunto de possibilidades indica cada cenário, caracterizado pelo valor de todos os elementos de incerteza (possíveis locais, demanda e custos).

Quanto a aplicação, estes modelos podem ser classificados em sistemas competitivos, sistemas de gestão de resíduos, sistemas de *hub*, sistemas de emergência médica e auxílio a desastres, sistemas de distribuição e sistemas de produção-distribuição (SEYEDHOSSEINI *et al.*, 2016).

Para apresentar a modelagem e a solução dos problemas de localização, a literatura divide-se em duas partes. Uma onde os modelos são aplicados a casos reais e outra onde os modelos, que geralmente apresentam uma nova inovação, garantem sua robustez e a aplicabilidade da ferramenta através de experimentos computacionais. A maioria dos artigos aplicados a sistemas de distribuição apresentam novos modelos com experimentos computacionais.

Os sistemas competitivos lidam tanto com a localização de companhias que buscam maximização de lucro competindo por um mercado (LANCINKAS *et al.*, 2017), quanto com cadeias de suprimentos entrantes competindo em cadeias de suprimentos já existentes com

comportamento não cooperativo (FEYZIAN-TARY; RAZMI; SANGARI, 2018). A ação de um competidor tem impacto sobre o outro, refletindo no *market share*.

O modelo aplicado a sistemas de *hub* pode ser utilizado por empresas transportadoras. Nesse caso, os *hubs* são usados como terminais para a coleta e a consolidação do frete com diferentes pontos de origem, que aumentam a utilização do caminhão para distribuir os produtos até os pontos finais de destino. Assim a localização dinâmica de *hub* não capacitado, objetivou minimizar os custos de abertura das instalações do hub, custo operacional total e os custos fixos totais gerados pelo fechamento de instalações de hubs, sendo solucionado com um algoritmo *branch-and-bound* que utilizou a relaxação lagrangiana para obter limites inferiores e superiores (CONTRERAS; CORDEAU; LAPORTE, 2011).

A localização de instalações aplicada em sistemas de emergência médica e gestão de desastres tem impacto crítico, pois, muito além de métricas como otimização de serviços, em vários casos, a vida humana está em jogo (NOGUEIRA; PINTO; SILVA, 2016). Além disso, os crescentes problemas ambientais e as questões de saúde fazem com que os problemas de localização se tornem visivelmente mais significativos e importantes para a sociedade (AHMADI-JAVID; SEYEDI; SYAM, 2017).

Na gestão de desastres, encontram-se os problemas de otimização gerados por calamidades de grande escala, como os terremotos (JABBARZADEH *et al.*, 2014; ZHOU *et al.*, 2017), ou por acidentes industriais, como derramamento de óleo (GARRETT, *et al.*, 2017). Recursos financeiros são limitados e, por isso, são considerados, mas, no geral, a prioridade é demonstrada em funções objetivas orientadas ao usuário. Por exemplo, maximizando a população atendida ou o recurso distribuído em cada período, ou minimizando o tempo médio de socorro a áreas afetadas. Com critérios de otimização conflitantes, os algoritmos são multiobjetivos ou abordam uma programação matemática de dois níveis.

Nesta categoria, a maioria dos artigos (62%) trata de gestão e auxílio a desastres. Jabbarzadeh, Fahimnia e Seuring (2014) trataram do *design* da rede de suprimentos de sangue após desastres. Utilizaram dados reais dos terremotos (de 1990 a 2010) que atingiram Irã e da Organização Iraniana de Transfusão de Sangue. Os autores reconheceram como limitação do modelo assumir que os centros de sangue não foram afetados pelo desastre.

A aplicação de maior representatividade refere-se a sistemas de distribuição. Isso porque, trata diretamente de localizar instalações que não possuem processos produtivos incluídos. Dessa maneira, na descrição do campo de aplicação, encontram-se os problemas de localização de instalações, localização-alocação, instalações conectadas, planejamento de

centros de distribuição, localização internacional, problemas de cobertura e otimização de rede de suprimentos.

Destaca-se dentro dessa aplicação o direcionamento dado à pesquisa em infraestrutura para carregamento de veículos elétricos e fluxos para este abastecimento, uma vez que a deficiência de estações de recarga tem sido mencionada como uma das barreiras que impedem a expansão da tecnologia com menor impacto ambiental (TU *et al.*, 2016; KONG *et al.*, 2017; LIU; WANG, 2017; ZHANG; KANG; KWON, 2017).

Seguindo essa tendência nas pesquisas, surge a preocupação com o impacto das emissões gases de efeito estufa (em inglês: *greenhouse gas emissions*) ou potencial de aquecimento global, na localização de empresas, de forma indireta, quando se considera a redução dos impactos através da otimização da logística ou combustíveis alternativos (IVANOV *et al.*, 2017; LIU; WANG, 2017) e também diretamente, incluindo os indicadores de impacto na função objetivo (OSMANI; ZHANG, 2014).

A descrição do campo de aplicação está diretamente ligada à aplicação dos modelos aos problemas de localização. Sendo assim, é possível observar que, embora a maioria das pesquisas explorem a localização de instalações (33%) e a localização com alocação de recursos (15%), os artigos mais recentes vem ampliando sua complexidade com as análises de toda a cadeia de suprimentos. Dessa maneira, a solução destes problemas, à medida em que integram outros elos da rede, torna-se cada vez mais abrangente e holística.

Nas aplicações de sistemas de produção-distribuição, estão incluídos na modelagem vários elos da cadeia, desde os fornecedores, processo produtivo e distribuição aos clientes. Por conseguinte, a grande maioria dos artigos trata de *design de supply chain* (SEIFERT; LANGENBERG, 2011, BADRI; BASHIRI; HEJAZI, 2013, WILHELM; HAN; LEE, 2013, IVANOV; PAVLOV; SOKOLOV, 2014; ZHUGE, *et al.* 2016) *Supply chain management* trata-se de um conjunto de abordagens para o planejamento, implementação e controle das operações da cadeia de suprimentos de maneira eficiente, abrangendo a movimentação, fluxos e armazenamento de matérias-primas, estoque em processo e produtos acabados, desde o ponto de origem até o ponto de consumo (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2004).

Uma importante contribuição desta aplicação ocupa-se da logística reversa (ALUMUR, *et al.*, 2012) e da cadeia fechada de suprimentos também conhecida como *closed-loop supply chain* (ASL-NAJAFI *et al.*, 2015). Além destes, Ivanov *et al.* (2017) também trata dos fluxos de retorno na cadeia de suprimentos e busca comparar o impacto no desempenho de diferentes políticas de recuperação em fluxos de retorno.

Em artigo recente Fianu e Davis (2018) abordam os bancos de alimentos. Sob essa perspectiva, apresentam um modelo que trata da distribuição equitativa da incerteza quanto aos suprimentos doados e da medida de desempenho de seus esforços de distribuição, solucionado por meio dos processos de decisão de Markov.

Uma grande variedade de técnicas de solução é proposta para resolver problemas de localização, que são considerados problemas NP-difíceis (TORRES-SOTO; USTER, 2011, GARRETT *et al.* 2017, MARUFUZZAMAN; EKŞIOĞLU, 2017, TRAN; SCAPARRA; O'HANLEY, 2017). De forma geral, os métodos de solução podem ser divididos em: métodos exatos, heurísticas e metaheurísticas (SEYEDHOSSEINI *et al.*, 2016). No entanto, a combinação entre as diferentes técnicas é o que demonstra a evolução nos métodos de solução dos problemas de localização.

Uma estratégia para lidar com problemas de localização em larga escala é a relaxação lagrangiana (em inglês: *lagrangian relaxation*), que consiste em relaxar algumas das restrições para obter um limitante inferior, no caso de problemas de minimização. Suprime-se uma das restrições do modelo, que passa a figurar na função objetivo (FISHER, 2004). Esta técnica foi utilizada em cerca de 14% dos artigos, no entanto, em sua maioria, em conjunto com outras técnicas, como a decomposição de Bender (em inglês: *bender's decomposition*), *branch & bound*, e *branch-and-cut*.

A aplicação dos métodos de relaxação lagrangiana com otimização subgradiente (em inglês: *subgradient algorithm*) e da busca em vizinhança variável (em inglês: *variable neighborhood search*) com soluções de boa qualidade pode ser encontrada em Marques e Dias (2018). Trata-se de uma evolução do trabalho realizado pelos mesmos autores cinco anos antes (MARQUES; DIAS, 2013) e traz uma nova versão do modelo e da técnica de solução aplicada.

A metaheurística *variable neighborhood search* é baseada na ideia de mudança sistemática de “bairro” em que se efetua uma sequência de buscas locais, troca-se a estrutura de vizinhança e explora-se vizinhanças gradativamente maiores, obtendo-se um local ideal que não é dependente da solução inicial. Essa metaheurística foi utilizada em quatro artigos, mas nunca de forma isolada, sendo combinada também com as técnicas de *blackbox* (DUHAMEL *et al.*, 2016) e *branch & bound* (GHADERI, 2015).

*Branch-and-bound*, o método de enumeração sistemática das soluções candidatas à solução ótima inteira, em que cada nó da árvore ramificadora origina limites inferior e superior da quantia otimizada (LAND; DOIG, 1960), foi utilizado em 8,5% dos artigos. Ao passo que no método decomposição de Bender divide-se o problema complexo em subproblemas mais simples e ao resolver o problema principal, este fornece informação ao problema adjacente,

cujas soluções retroalimentam o problema principal sucessivamente até uma solução ótima (XIE; OUYANG, 2013).

Marufuzzaman, Gedik e Roni (2016) trataram do problema de localização de instalação capacitada e desenvolveram uma solução híbrida que combina o algoritmo horizonte rolante (em inglês: *rolling horizon algorithm*) com a decomposição de Bender acelerada (em inglês: *accelerated Benders decomposition*). No ano seguinte, Marufuzzaman e Eksioğlu (2017) aplicaram esta mesma técnica para um problema mais complexo, analisando o *design* da cadeia de suprimentos da biomassa a ser entregue a usinas de biocombustível nos Estados Unidos.

Nos algoritmos de base populacional, manipulam-se as soluções como se fossem indivíduos e usam técnicas inspiradas pela biologia evolutiva. O algoritmo genético desenvolvido por Holland (1992) é uma classe de algoritmos evolutivos. E foi adotado tanto de forma isolada (TU *et al.*, 2016, LANCINSKAS *et al.*, 2017) quanto em complementaridade ao recozimento simulado (em inglês: *simulated annealing*) (XU; LIU; LEI, 2016) e enxame de partículas (em inglês: *particle swarm optimization*) (ASL-NAJAFI *et al.*, 2015).

O recozimento simulado é uma técnica de otimização iterativa que utiliza o princípio de evolução da solução ao longo do tempo. Controlando a convergência dos resultados, evitando os indesejados, cria uma nova rede e, posteriormente, a resolve (KIRKPATRICK *et al.*, 1983). Com esta técnica, Calderin, Masegosa e Pelta (2017) apresentaram um portfólio com três algoritmos de *Simulated Annealing* e mais uma estratégia evolucionária que resultaram num bom desempenho quando comparado ao uso dos algoritmos isolados.

A otimização pelo método de enxame de partículas é uma metaheurística que surge a partir da modelagem matemática de padrões da natureza, como o comportamento social de bandos de pássaros. Combinada com simulação de Monte Carlo, resolveu o problema de *supply chain network design* sob incertezas de oferta e demanda em Salem e Haouari (2017).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este artigo teve como principal objetivo levantar o estado da arte sobre problemas de localização de instalações e mapear suas características, procurando responder como as soluções dos problemas de localização e seus modelos evoluíram. Para mapear as características dos modelos, os artigos foram selecionados, analisados e categorizados de forma não tendenciosa. Além disso, suas respectivas funções objetivos, os campos de aplicação e as

técnicas de solução empregadas foram organizadas e sistematizadas em planilhas, possibilitando uma perspectiva panorâmica desta evolução.

Contribuindo para o alcance do objetivo traçado, uma análise bibliométrica da literatura foi desenvolvida, apoiando a construção do conhecimento. Assim, foi possível identificar a evolução na quantidade de publicações e suas origens por meio dos países que mais publicaram e o quanto isso representa nas publicações de cada país. Também foram identificados o fator de impacto dos periódicos e as principais ideias discutidas a respeito.

Verificou-se a evolução das modelagens, uma vez que as técnicas de solução foram incrementadas a partir de outros autores. Desse modo, no início das análises, as técnicas eram utilizadas de forma isolada. E, com o passar do tempo e a consolidação das mesmas, estas foram combinadas, ganhando maior complexidade, capacidade de análise e sendo aplicadas a problemas mais complicados. Os modelos não se limitaram ao tipo de solução traçada, assim, conseguiram unir técnicas exatas e heurísticas.

Os trabalhos demonstram os avanços no desenvolvimento da pesquisa relativa a problemas de localização de instalações, todavia, os estudos e investigações não são isentos de limitações. Com base nas lacunas disponíveis na literatura, seguem algumas tendências de pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

Uma das áreas que requer mais atenção, são os modelos contínuos aliados aos problemas de localização. Grande porção dos artigos foi tratada em modelos discretos, no entanto, modelos contínuos podem gerar resultados favoráveis, uma vez que não há a intervenção do tomador de decisão na determinação do espaço.

A análise do *supply chain management* trata de negócios nacionais e internacionais. Dessa forma, uma tendência são as análises da cadeia integrada, sendo necessário acompanhar a velocidade da evolução no mundo empresarial, tornando-se fundamental o incremento de pesquisas em localização internacional de *supply chain*. Problemas do mundo real carregam nuances que apenas serão alcançadas com funções multicritério, multiobjetivos e em várias escalas. A inclusão do risco incorrido na escolha da localização pode ser inserida junto às medidas de desempenho.

A gestão de desastres é uma área com espaço para avançar na pesquisa. Pode-se considerar, ainda, desastres naturais, como, inundação, terremoto, furacão, incêndio ou desastres causados pelo homem como guerras, derramamento de óleo no mar, preocupando-se não só o universo público, mas também o privado.

Questões sobre a sustentabilidade e os impactos no aquecimento global são critérios que repercutem na escolha do consumidor e são cada vez mais presentes na vida corporativa. Por

consequência, aspectos ambientais e sociais passam a influenciar na localização das instalações. Assim, estudos que considerem impactos ambientais ou emissões de gases de efeito estufa unindo a análise do ciclo de vida à localização das instalações pode se tornar mais eficiente e completa.

Problemas de localização de instalações são altamente complexos, principalmente quando envolvem larga escala. Logo, os problemas que utilizam em suas soluções heurísticas e metaheurísticas são cada vez mais presentes. Apesar de fornecerem soluções de qualidade, podem não ser suficientes para lidar com problemas de forma isolada, portanto, técnicas híbridas mais avançadas podem ser buscadas. Portanto, para atender a muitas necessidades de problemas do mundo real, simultaneamente, esses modelos e técnicas de solução precisam de abordagens mais abrangentes e flexíveis.

## REFERÊNCIAS

- AHMADI-JAVID, A.; SEYEDI, P.; SYAM, S. S. A survey of healthcare facility location. **Computers & Operations Research**, v. 79, p. 223-263, 2017.
- ALUMUR, S.A. *et al.* Multi-period reverse logistics network design. **European Journal of Operational Research**, v. 220, p. 67-78, 2012.
- AN, H.-C.; NOROUZI-FARD, A.; SVENSSON, O. Dynamic facility location via exponential clocks. **Acm Transactions On Algorithms**, v. 13, n. 2, p. 1-2, 2017.
- ARABANI, A.B.; FARAHANI, R.Z. Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. **Computers & Industrial Engineering**, v. 62 p. 408–420, 2012
- ASL-NAJAFI, J. *et al.* A dynamic closed-loop location-inventory problem under disruption risk. **Computers Industrial Engineering**, v. 90, p. 414-428, 2015.
- BADRI, H.; BASHIRI, M.; HEJAZI, T.H. Integrated strategic and tactical planning in a supply chain network design with a heuristic solution method. **Computers Operations Research**, v. 40, p. 1143-1154, 2013.
- BALLOU, R.H. Dynamic warehouse location analysis, **Journal of Marketing Research**, v. 5, p. 271-276, 1968.
- BENKOCZI, R. *et al.* Efficient algorithms for the conditional covering problem. **Information and Computation**, v. 219, p. 39-57, 2012.
- BERMAN, O. *et al.* Optimal location with equitable loads. **Annals of Operations Research**, v. 167, p. 307-325, 2009.
- BUYUKTAHTAKM, I.E.; DES-BORDES, E.; KIBIS, E.Y. A new epidemics-logistics model: insights into controlling the Ebola virus disease in West Africa. **European Journal of Operational Research**, v. 265, p. 1046-1063, 2018.
- CALDERIN, J. F.; MASEGOSA, A.D.; PELTA, D.A. An algorithm portfolio for the dynamic maximal covering location problem. **Memetic Computing**, v. 9, p. 141-151, 2017.
- CHURCH, R.L; MURRAY, A.T. **Business Site Selection, Location Analysis and GIS**, Wiley, New York, 2009.
- CONTRERAS, I.; CORDEAU, J.-F.; LAPORTE, G. The dynamic uncapacitated hub location problem. **Transportation Science**, v. 45, p. 18-32, 2011.
- DE ROSA, V. *et al.* Robust capacitated facility location model for acquisitions under uncertainty. **Computers Industrial Engineering**, v. 72, n. 1, p. 206-216, 2014.
- DERYCKE, P. Espaces, Proximités, Réseaux: Reflexions sur quelques concepts intégrateurs entre économie spatiale et économie industrielle. In: COLLOQUE INTERNATIONAL DE L'ASSOCIATION DE SCIENCE RÉGIONALE DE LANGUE FRANÇAISE, 1995. Toulouse.

DIAS, J.M. **Localização Dinâmica. Modelos e técnicas**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2010.

DIDANDEH, A. *et al.* Using Voronoi diagrams to solve a hybrid facility location problem with attentive facilities. **Information Sciences**, v. 234, p. 203-216, 2013.

DUHAMEL, C. *et al.* Connecting a population dynamic model with a multi-period location-allocation problem for post-disaster relief operations. **Annals of Operations Research**, v. 247, p. 693-713, 2016.

FAHIMNIA, B.; JABBARZADEH, A. Marrying supply chain sustainability and resilience: a match made in heaven. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 91, p. 306-324, 2016.

FARAHANI, R. Z.; DREZNER, Z.; ASGARI, N. Single facility location and relocation problem with time-dependent weights and discrete planning horizon. **Annals of Operations Research**, v. 167, p. 353-368, 2009.

FARAHANI, R.Z. *et al.* Hierarchical facility location problem: models, classifications, techniques, and applications. **Computer & Industrial Engineering**, v. 68, p. 104-117, 2014

FARAHANI, R.Z.; HEKMATFAR, M. (Eds.), **Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies**, Physica-Verlag, Heidelberg, Germany, 2009.

FARAHANI, R.Z.; SZETO, W.Y.; GHADIMI, S. The single facility location problem with time-dependent weights and relocation cost over a continuous time horizon. **Journal of The Operational Research Society**, v. 66, p. 265-277, 2015.

FERENHOF, H.A.; FERNANDES, R.F. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SSF. **Revista ACB**, v. 21, n.3, p. 550-563, 2016

FEYZIAN-TARY, I.; RAZMI, J.; SANGARI, M.S. A variational inequality formulation for designing a multi-echelon, multi-product supply chain network in a competitive environment. **Annals of Operations Research**, v. 264, p. 89-121, 2018.

FIANU, S.; DAVIS, L.B. A Markov decision process model for equitable distribution of supplies under uncertainty. **European Journal of Operational Research**, v. 264, p. 1101-1115, 2018.

FISHER, M.L. The Lagrangian relaxation method for solving integer programming problems. **Management Science**, v. 50, n. 12, p. 1861-1871, 2004.

GARCIA, S.; LABBE, M.; MARIN, A. Solving large p-median problems with a radius formulation. **Inform Journal on Computing**, v. 23, p. 546-556, 2011.

GARRETT, R. A. *et al.* Dynamic resource allocation to support oil spill response planning for energy exploration in the Arctic. **European Journal of Operational Research**, v. 257, p. 272-286, 2017.

GEBENNINI, E.; GAMBERINI, R.; MANZINI, R. An integrated production-distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization. **International Journal of Production Economics**, v. 122, p. 286-304, 2009.

- GHADERI, A. Heuristic algorithms for solving an integrated dynamic center facility location - Network Design Model. **Networks Spatial Economics**, v. 15, p. 43-69, 2015.
- GOLLOWITZER, S.; LJUBIC, I. MIP models for connected facility location: A theoretical and computational study. **Computers Operations Research**, v. 38, p. 435-449, 2011.
- HINOJOSA, Y. *et al.* Dynamic supply chain design with inventory. **Computers Operations Research**, v. 35, p. 373-391, 2008.
- HOFFMANN, M. G. *et al.* Fatores condicionantes à inovação: aproximação ao estado da arte por meio da bibliometria e da revisão sistemática. **Pretexto**, v. 17, n. 2, p. 11-27, 2015
- HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence**. MIT, Massachusetts, 1992.
- HUANG, R.; KIM, S.; MENEZES, M.B.C. Facility location for large-scale emergencies. **Annals of Operations Research**, v. 181, p. 271-286, 2010.
- HUANG, Y.; CHEN, C.; FAN, Y. Multistage optimization of the supply chains of biofuels. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 46, p. 820-830, 2010.
- IVANOV, D. *et al.* Minimization of disruption-related return flows in the supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 183, p. 503-513, 2017.
- IVANOV, D.; PAVLOV, A.; SOKOLOV, B. Optimal distribution (re) planning in a centralized multi-stage supply network under conditions of the ripple effect and structure dynamics. **European Journal of Operational Research**, v. 237, p. 758-770, 2014.
- JABBARZADEH, A.; FAHIMNIA, B.; SEURING, S. Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 70, p. 225-244, 2014.
- JACOBSEN, S.K., Multi period capacitated location models. In: MIRCHANDANI, P. D.; FRANCIS, R.L. (ed) **Discrete location theory**, New York: Wiley, 1990. cap. 4, p. 173-208.
- JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. Dynamic facility location with generalized modular capacities. **Transportation Science**, v. 49, p. 484-499, 2015.
- JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. Solving a dynamic facility location problem with partial closing and reopening. **Computers Operations Research**, v. 67, p. 143-154, 2016.
- JENA, S.D.; CORDEAU, J.-F.; GENDRON, B. Lagrangian heuristics for large-scale dynamic facility location with generalized modular capacities. **Inform Journal on Computing**, v. 29, p. 388-404, 2017.
- JOUZDANI, J.; SADJADI, S.J.; FATHIAN, M. Dynamic dairy facility location and supply chain planning under traffic congestion and demand uncertainty: A case study of Tehran. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, p. 8467-8483, 2013.

- KCHAOU BOUJELBEN, M.; GICQUEL, C.; MINOUX, M. A MILP model and heuristic approach for facility location under multiple operational constraints. **Computers Industrial Engineering**, v. 98, p. 446-461, 2016.
- KCHAOU BOUJELBEN, M.; BOULAKSIL, Y. Modeling international facility location under uncertainty: a review, analysis, and insights. **IISE Transactions**, v. 50, n. 6, p. 535-551, 2018
- KILIC., Y.E.; TUZKAYA, U.R. A two-stage stochastic mixed-integer programming approach to physical distribution network design. **International Journal of Production Research**, v. 53, p. 1291-1306, 2015.
- KIRKPATRICK, S.; GELATT, C.D.; VECCHI, M.P. Optimization by simulated annealing. **Science**, v. 220, n. 4598, p. 671–680, 1983.
- KONG, C. *et al.* A hierarchical optimization model for a network of electric vehicle charging stations. **Energies**, v. 10, p. 675, 2017.
- LANCINSKAS, A. *et al.* Improving solution of discrete competitive facility location problems. **Optimization Letters**, v. 11, p. 259-270, 2017.
- LAND, A. H.; DOIG, A. G. An automatic method of solving discrete programming problems. **Econometrica** v. 28, p. 497–520, 1960.
- LEDUC, S. *et al.* Location of a biomass based methanol production plant: A dynamic problem in northern Sweden. **Applied Energy**, v. 87, p. 68-75, 2010.
- LEE, Y.H.; KWON, S.G. The hybrid planning algorithm for the distribution center operation using tabu search and decomposed optimization. **Expert Systems With Applications**, v. 37, p. 3094-3103, 2010.
- LI, X. *et al.* Design framework of large-scale one-way electric vehicle sharing systems: A continuum approximation model. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 88, p. 21-45, 2016.
- LITTELL, J. H.; CORCORAN, J.; PILLAI, V. **Systematic reviews and meta-analysis**. New York: Oxford University Press ,2008.
- LIU, H.; WANG, D.Z.W. Locating multiple types of charging facilities for battery electric vehicles. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 103, p. 30-55, 2017.
- MANZINI, R.; GEBENNINI, E. Optimization models for the dynamic facility location and allocation problem. **International Journal of Production Research**, v. 46, p. 2061-2086, 2008.
- MARQUES, M.C., MATOS DIAS, J. Simple dynamic location problem with uncertainty: a primal-dual heuristic approach. **Optimization** v. 62, n. 10, p. 1379–1397, 2013.
- MARQUES, M.C., MATOS DIAS, J. Dynamic location problem under uncertainty with a regret-based measure of robustness. **International Transactions in Operational Research**, v. 25 p. 1361-1381, 2018.

- MARUFUZZAMAN, M.; EKSHIOGLU, S.D. Designing a reliable and dynamic multimodal transportation network for biofuel supply chains. **Transportation Science**, v. 51, p. 494-517, 2017.
- MARUFUZZAMAN, M.; GEDIK, R.; RONI, M.S. A Benders based rolling horizon algorithm for a dynamic facility location problem. **Computers Industrial Engineering**, v. 98, p. 462-469, 2016.
- MELO, M. T.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA, F. Facility location and supply chain management - A review. **European Journal of Operational Research**, v. 196, n. 2, p. 401-412, 2009.
- MÖLLER, B.; BERR, M., **Fuzzy Randomness. Uncertainty in civil engineering and computational mechanics**. Berlin: Springer, 2004, 336 p.
- MOVAHEDIPOUR, M. *et al.* Optimization in supply chain management, the current state and future directions - a systematic review and bibliometric analysis. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, p. 933-963, 2016.
- MURAT, A.; LAPORTE, G.; VERTER, V. A global shooting algorithm for the facility location and capacity acquisition problem on a line with dense demand. **Computers Operations Research**, v. 71, p. 1-15, 2016.
- NDIAYE, M.; ALFARES, H. Modeling health care facility location for moving population groups. **Computers Operations Research**, v. 35, p. 2154-2161, 2008.
- NEEMA, M.N.; OHGAI, A. Multi-objective location modeling of urban parks and open spaces: Continuous optimization. **Computers Environment and Urban Systems**, v. 34, p. 359-376, 2010.
- NICKEL, S.; PUERTO, J. **Location theory: a unified approach**, Springer-Verlag, Berlin, 2005.
- NOGUEIRA, L.C., JR.; PINTO, L.R.; SILVA, P.M.S. Reducing emergency medical service response time via the reallocation of ambulance bases. **Health Care Management Science**, v. 19, p. 31-42, 2016.
- ORTIZ-ASTORQUIZA, C.; CONTRERAS, I.; LAPORTE, G. Multi-level facility location problems. **European Journal of Operational Research**, v. 267, n. 3, p. 791-805, 2018
- OSMANI, A.; ZHANG, J. Economic and environmental optimization of a large scale sustainable dual feedstock lignocellulosic-based bioethanol supply chain in a stochastic environment. **Applied Energy**, v. 114, p. 572-587, 2014.
- OWEN, S.H.; DASKIN, M.S. Strategic facility location: a review. **European Journal of Operational Research**, v. 111 p. 423-447, 1998.
- QIU, J.; SHARKEY, T.C. Integrated dynamic single-facility location and inventory planning problems. **IIE Transactions**, v. 45, p. 883-895, 2013.

RAPPOLD, J.A.; VAN ROO, B.D. Designing multi-echelon service parts networks with finite repair capacity. **European Journal of Operational Research**, v. 199, p. 781-792, 2009.

REZAPOUR, S. *et al.* Designing a new supply chain for competition against an existing supply chain. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 67, p. 124-140, 2014.

SALEM, R.W.; HAOUARI, M. A simulation-optimisation approach for supply chain network design undersupply and demand uncertainties. **International Journal of Production Research**, v. 55, p. 1845-1861, 2017.

SAYARSHAD, H.R.; CHOW, J.Y. J. Non-myopic relocation of idle mobility-on-demand vehicles as a dynamic location-allocation-queueing problem. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 106, p. 60-77, 2017.

SCImago, (n.d.). SJR — SCImago Journal & Country Rank [Portal] Disponível em: <http://www.scimagojr.com> Acesso em: 24 maio 2018.

SEIFERT, R.W.; LANGENBERG, K.U. Managing business dynamics with adaptive supply chain portfolios. **European Journal of Operational Research**, v. 215, p. 551-562, 2011.

SEYEDHOSSEINI, S. M. *et al.* Models, solution, methods and their applicability of dynamic location problems (DLPs) (a gap analysis for further research). **Journal of Industrial Engineering International**, v. 12, n.3, p. 311–34, 2016.

SHEN, C.-Y.; YU, K.-T. A generalized fuzzy approach for strategic problems: the empirical study on facility location selection of authors' management consultation client as an example. **Expert Systems with Applications**, v. 36, p. 4709-4716, 2009.

SHU, K.; SCHNEIDER, U.A.; SCHEFFRAN, J. Optimizing the bioenergy industry infrastructure: transportation networks and bioenergy plant locations. **Applied Energy**, v. 192, p. 247-261, 2017.

SILVA, A.H.; FOSSÁ, M.I.T. Análise de conteúdo: exemplo de aplicação da técnica para análise de dados qualitativos. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 15, n. 1, 2015.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Managing the supply chain: the definitive guide for the business professional**, New York: McGraw-Hill, 2004.

SMITH, H.K.; LAPORTE, G.; HARPER, P.R. Locational analysis: highlights of growth to maturity. **Journal of the Operational Research Society**, v. 60 p. S140-S148, 2009.

SNYDER, L.V. Facility location under uncertainty: a review. **IIE Transactions**, v. 38, n. 7, p. 537-554, 2006.

SPINAK, E. Indicadores científicos. **Ciência da Informação**. Brasília. v. 27, ed. 2, p. 141-148, 1998.

STRUECKER, D.R.; HOFFMANN, M.G. Participação social nos serviços públicos: caracterização do estado da arte por meio da bibliometria e da revisão sistemática. **REGE - Revista de Gestão**, v. 24, p. 371-380, 2017

SWEENEY, D.J.; TATHAM, R.L. An improved long-run model for multiple warehouse location, **Management Science**, v. 22, n. 7, p. 748-748, 1976

THANH, P.N.; BOSTEL, N.; PETON, O. A dynamic model for facility location in the design of complex supply chains. **International Journal of Production Economics**, v. 113, p. 678-693, 2008.

TORRES-SOTO, J.E.; USTER, H. Dynamic-demand capacitated facility location problems with and without relocation. **International Journal of Production Research**, v. 49, p. 3979-4005, 2011.

TOSO, E.A.; ALEM, D. Effective location models for sorting recyclables in public management. **European Journal of Operational Research**, v. 234, p. 839-860, 2014.

TRAN, T.H.; SCAPARRA, M.P.; O'HANLEY, J.R. A hypergraph multi-exchange heuristic for the single-source capacitated facility location problem. **European Journal of Operational Research**, v. 263, p. 173-187, 2017.

TU, W. *et al.* Optimizing the locations of electric taxi charging stations: A spatial temporal demand coverage approach. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 65, p. 172-189, 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software. **StArt** (State of the Art through Systematic Review). Disponível em: [http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start\\_tool](http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool). Acesso em: 05 abr. 2018.

WANG, X.; LIM, M.K.; OUYANG, Y. A continuum approximation approach to the dynamic facility location problem in a growing market. **Transportation Science**, v. 51, p. 343-357, 2017.

WEBER, A. Über den Standort der Industrien, Tübingen. **Theory of the Location of Industries** (tradução para inglês por C.J. Friedrich (1929), University of Chicago Press, 1909.

WILHELM, W.; HAN, X.; LEE, C. Computational comparison of two formulations for dynamic supply chain reconfiguration with capacity expansion and contraction. **Computers Operations Research**, v. 40, p. 2340-2356, 2013.

XIE, W.; OUYANG, Y. Dynamic planning of facility locations with benefits from multitype facility colocation. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 28, p. 666-678, 2013.

XU, J.; LIU, Q.; LEI, X. A fuzzy multi-objective model and application for the discrete dynamic temporary facilities location planning problem. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 22, p. 357-372, 2016.

ZHANG, A.; KANG, J.E.; KWON, C. Incorporating demand dynamics in multi-period capacitated fast-charging location planning for electric vehicles. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 103, p. 5-29, 2017.

ZHOU, Y. *et al.* A multi-objective evolutionary algorithm for multi-period dynamic emergency resource scheduling problems. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 99, p. 77-95, 2017.

ZHUGE, D. *et al.* Multi-period distribution center location and scale decision in supply chain network. **Computers Industrial Engineering**, v. 101, p. 216-226, 2016.

### **CAPÍTULO 3 – OTIMIZAÇÃO PARA PLANEJAMENTO DA REDE DE SUPRIMENTOS DE FERTILIZANTES NO ESTADO DE MATO GROSSO**

**RESUMO:** Um dos pilares de sustentação da economia brasileira é o agronegócio. O estado de Mato Grosso é o maior produtor das *commodities* agrícolas soja, milho e algodão e possui o mais alto valor bruto da produção no país. Com isso, é também o maior consumidor de fertilizantes químicos importados no Brasil. Com a busca pelo incremento na produtividade sem a expansão das terras agricultáveis, a demanda por fertilizantes passa a apresentar uma correlação positiva, aproximadamente, similar à produção agrícola. No entanto, é dependente da importação, está posicionado a longas distâncias dos portos de entrada de matéria-prima e enfrenta os altos custos logísticos vinculados às deficiências na infraestrutura. Diante do exposto, este estudo tem o objetivo de propor o *design* otimizado da cadeia de suprimentos de fertilizantes no estado de Mato Grosso, aplicando a modelagem matemática de otimização para minimizar os custos de transporte de matéria-prima importada, de produto acabado e de construção de fábricas preparadoras de fertilizantes. Responde às questões do planejamento estratégico, como: a quantidade de fábricas misturadoras a serem instaladas, as respectivas localizações, a capacidade de produção. Além disso, os resultados indicam que o *design* otimizado desta cadeia de suprimentos depende da modificação dos fluxos de transporte atuais para os portos da região Norte do país, e assim garante-se menores custos e vantagens competitivas. No entanto para atender a demanda do estado, a deficiência mensurada na capacidade portuária da região Norte alcança 4,86 milhões de toneladas anuais.

**Palavras chave:** Fertilizantes, Cadeia de Suprimentos, Otimização, Pesquisa Operacional.

### **OPTIMIZATION TO DESIGN THE FERTILIZER SUPPLY NETWORK IN THE STATE OF MATO GROSSO**

**ABSTRACT:** One of the supporting pillars of the Brazilian economy is agribusiness. The state of Mato Grosso is the largest producer of commodities as soybean, corn and cotton and has the highest gross value of production in the country. Thus it is also the largest consumer of imported chemical fertilizers in Brazil. With the pursuit for an increase in productivity without the expansion of arable land, the demand for fertilizers starts to show a positive correlation approximately similar to agricultural production. However, it is import-dependent, positioned over long distances from raw material ports and faces the high logistics costs linked to infrastructure deficiencies. Given the above, this study aims to propose the optimized design of the fertilizer supply chain in the state of Mato Grosso, applying mathematical optimization modeling to minimize the transportation costs of imported raw material, finished product and construction. from fertilizer factories. It answers strategic planning questions such as: the number of mixing plants to be installed, their locations, production capacity. The results show that the optimized design of this supply chain depends on changing current transport flows to the northern ports, ensuring low costs and competitive advantages. However, to meet state demand, the deficiency in port capacity in the north region reaches 4.86 million tons per year.

**Key words:** Crop inputs; Agroindustry; Supply network; Operational Research

## 1 INTRODUÇÃO

O *design* de uma cadeia de suprimentos integra o planejamento estratégico. Os principais tópicos abordados neste estudo tratam da estrutura e distribuição física da rede, mais especificamente a sua localização, a quantidade e a capacidade das instalações. Neste sentido, trata de decisões que requerem altos investimentos com retornos a longo prazo e quando não bem planejados afetam a qualidade do atendimento ao mercado e geram custos excessivos durante toda sua vida útil (JAYARAMAN, 1998, DASKIN; SNYDER; BERGER, 2005, BALLOU, 2006, KCHAOU BOUJELBEN; BOULAKSIL, 2018)

A estrutura da cadeia de suprimentos influencia diretamente em como as empresas obtêm vantagens competitivas sustentáveis. E, uma vez que a cadeia logística também pode ser impactada por aspectos externos como os políticos, os ambientais, os tecnológicos, as mudanças no consumo ou na concorrência, ressalta-se a necessidade de análises robustas para a tomada de decisão em *supply chain* (DASKIN; SNYDER; BERGER, 2005, FARAHANI *et al.*, 2015).

Por meio de uma ou várias métricas, o *design* otimizado de cadeia de suprimentos reflete a “melhor” configuração e operação dos elementos envolvidos (WASSICK, 2009). Na perspectiva da pesquisa operacional, esta questão de planejamento estratégico deu origem ao desenvolvimento de modelos matemáticos de otimização que apoiam a decisão de localização de instalações. E visam representar os problemas do mundo real de forma aderente, através de equações e inequações matemáticas, combinando os fatores e as relações entre as variáveis e os parâmetros (CAIXETA FILHO, 2004).

O Brasil é um dos mais importantes players globais do agronegócio e a atividade agrícola é um dos pilares de sustentação da sua economia (VACCHIANO *et al.*, 2019). De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), no ano de 2017 o PIB da economia brasileira cresceu 1,0%, enquanto o resultado do PIB agropecuário foi de 13,0% (BRASIL, 2018).

Ainda, segundo o relatório de projeções do agronegócio, estima-se que a safra de grãos 2027/28 alcançará 301,8 milhões de toneladas, representando um acréscimo de 29,8% sobre a safra de 2017/18. Neste mesmo período, a área dedicada a este cultivo deve aumentar 14,9% (BRASIL, 2018). O incremento na produtividade decorre tanto da expansão da área agricultável quanto do aumento da produção por área, sendo esta última relacionada ao desenvolvimento tecnológico (ALVES; CONTINI, HAINZELIN, 2005). O crescimento da produção local continuará sendo o principal fator de impulsionamento da produtividade de grãos nos próximos dez anos (BRASIL, 2018).

Para alcançar altos níveis de produtividade com a mesma área, a agricultura integra diversas tecnologias, como o melhoramento genético de sementes, irrigação, agricultura de precisão, dentre outros (LOPES; GUILHERME, 2000). Os fertilizantes minerais são caracterizados como insumo poupador de terra, proporcionando incremento produtivo frente à limitação da área agricultável por estabelecer o equilíbrio dos nutrientes após a colheita (COELHO, 2005, MALINGREAU; EVA; MAGGIO, 2012).

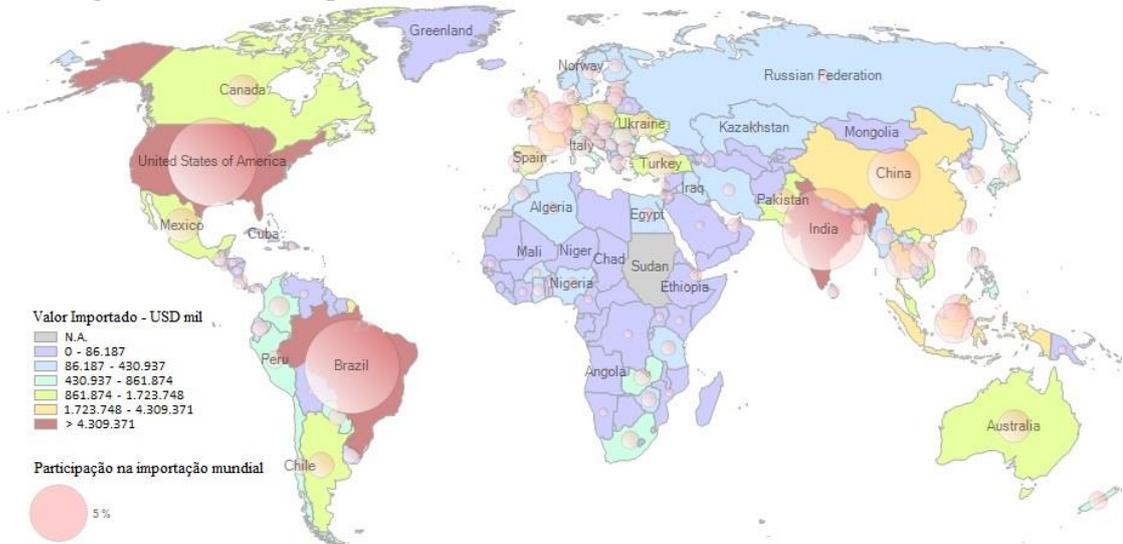
Mesmo com a evolução tecnológica e melhora nas práticas agrícolas, a exportação de nutrientes pela colheita, aliada à necessidade de maior produtividade, torna indispensável a aplicação dos nutrientes (MALINGREAU; EVA; MAGGIO, 2012). Em função disso, a demanda por fertilizantes tem uma relação positiva aproximadamente equivalente à produção agrícola (CRUZ; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2017). Desta forma, a disponibilidade dos macronutrientes primários é um dos elementos chave para a segurança alimentar mundial (MALINGREAU; EVA; MAGGIO, 2012).

O Brasil destaca-se como produtor de *commodities* agrícolas, no entanto, apresenta solos pobres em nutrientes. Por consequência, depende da aplicação de corretivos e fertilizantes para garantir sua produção e a sustentabilidade do negócio agrícola (ANDA, 2018). Apesar disso, a produção interna de fertilizantes é insuficiente para atender a demanda (COMEX STAT, 2018).

Sendo o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, o Brasil fica atrás da China, Índia e Estados Unidos. Foram entregues ao mercado brasileiro 35,5 milhões de toneladas, em 2018, registrando crescimento de 3,1% em relação ao ano anterior. Deste total, 27,5 milhões foram importados. Embora o país produza fertilizantes, é dependente da importação e a indústria química vem contribuindo negativamente para o resultado da balança comercial brasileira, a qual vem mantendo déficits crescentes e persistentes (COMEX STAT, 2018).

Segundo os dados do *International Trade Centre*, em 2018, o Brasil foi o maior importador de fertilizantes, representando 13% das importações mundiais. Na Figura 6, evidencia-se o *ranking* dos países importadores de fertilizante (ITC, 2018). Os insumos para fertilizantes são concentrados em poucos países produtores tendo em vista os altos custos e investimentos em mineração, energia e a dotação de recursos naturais, além da dependência de petróleo e seus derivados (ANDA, 2018). Os principais países exportadores de fertilizantes minerais para o Brasil são o Canadá, a Rússia, o Marrocos, a China, a Bielorrússia e os Estados Unidos (ITC, 2018).

Figura 6 – Países importadores de fertilizantes e *market share* no ano de 2018



Fonte: *International Trade Centre - Trade Map*

Ocupando a primeira posição no ranking do valor bruto da produção brasileira (que corresponde ao faturamento bruto dentro da propriedade rural), o estado de Mato Grosso atingiu R\$ 82,8 bilhões, no Brasil este valor é de R\$ 564,32 bilhões (BRASIL, 2019). De acordo com o Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária o agronegócio representa 50,5% do PIB estadual (IMEA, 2018). O estado deve continuar liderando a expansão da produção de milho e soja no país, com aumentos na produção de 45,5% e 35,0%, respectivamente, previstos para os próximos dez anos (BRASIL, 2018).

Sendo o líder nas entregas de fertilizantes ao mercado, o estado de Mato Grosso concentrou o maior volume do país em janeiro de 2019, com 28,7% (ANDA, 2019). E, com os bons resultados alcançados na agricultura, os aspectos logísticos passam a ser tratados como a fronteira para a diminuição dos custos do produto final (IMEA, 2018). Este contexto demonstra a relevância do fertilizante no estado de Mato Grosso, seu impacto na economia brasileira e a importância de uma técnica robusta que possa apoiar os tomadores de decisão na identificação dos gargalos, na redução de custos e na construção de uma cadeia de suprimentos eficiente e responsiva.

Diante do exposto, este estudo propõe o *design* otimizado da cadeia de suprimentos de fertilizantes no estado de Mato Grosso. Aplica a estrutura de modelagem matemática de otimização para responder questões como: Quantas fábricas misturadoras devem ser instaladas? Onde serão localizadas? Com que capacidade de produção? Quais portos atenderão à demanda de matéria-prima? Os portos possuem capacidade suficiente para atender à demanda? Quais

regiões serão atendidas por cada misturadora? E considera, simultaneamente, os menores custos de transporte de matéria prima, de distribuição do produto acabado e os custos de instalação.

Este trabalho é composto por 7 Seções estruturadas, conforme a seguir. A primeira seção traz uma contextualização do estudo. Na Seção 2, apresenta-se uma breve revisão de literatura sobre otimização de cadeias de suprimentos em contextos agroindustriais. Na Seção 3, demonstram-se os procedimentos metodológicos adotados. Na Seção 4, descreve-se o ambiente do problema de pesquisa, apresentando as características gerais da cadeia de suprimentos de fertilizante. Na Seção 5, desenvolve-se o modelo matemático proposto. Na Seção 6, aplica-se o modelo desenvolvido ao caso concreto, detalhando-se e discutindo-se seus resultados. Por fim, são estabelecidas as considerações finais e perspectivas para futuros trabalhos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta revisão, foram abordados os trabalhos que utilizaram modelagem matemática para otimização de cadeias de suprimentos. Mais especificamente, os que apoiaram a tomada de decisão em nível estratégico, tanto de forma isolada quanto integrada aos níveis tático e/ou operacional, em contextos agroindustriais. O Quadro 7 sintetiza as principais características abordadas, que incluem: a cadeia de suprimentos, o local onde aplicou-se o estudo de caso, o nível de planejamento abordado, a função objetivo e o método de solução adotado.

Os primeiros modelos de *design* de cadeia de suprimentos surgiram na década de 60, baseados no clássico problema de localização de instalação de carga fixa (BALINSKI, 1965), dado um conjunto de clientes com demandas conhecidas e um conjunto de localizações de instalações candidatas. Ao localizar uma instalação em um ponto candidato, incide-se o custo de instalação. Existe um custo de transporte conhecido entre cada local candidato e cada localização de cliente. A solução é gerada ao encontrar os locais das instalações e o padrão de transporte entre as instalações e os clientes que minimizam os custos combinados de estabelecimento e expedição com o atendimento de todas as necessidades dos clientes (ALIZADEH, 2009).

As cadeias no âmbito agrícola possuem uma série de desafios a serem superados. O produto geralmente encontra-se em áreas rurais, está sujeito a sazonalidade, possui baixo valor agregado, perecibilidade, dificuldade de armazenamento, longo *lead-time* e as áreas de processamento ou consumo estão concentradas em áreas urbanas, o que reflete nos altos custos logísticos (ORJUELA-CASTRO; SANABRIA-CORONADO; PERALTA-LOZANO, 2017).

Quadro 7 – Detalhamento da revisão de literatura sobre *design* de cadeia de suprimentos em contextos agroindustriais

(continua)

Artigo	Cadeia	Local	Nível	Função Objetivo	Método de Solução
BORTOLINI <i>et al.</i> , 2018	Abobrinha, batata, maçã e tomate	Emilia-Romagna / Italia	E	Min. custos e impacto ambiental	Extato e fronteira de Pareto
CHERAGHALIPOUR; PAYDAR; HAJIAGHAEI-KESHTELI, 2019	Arroz	Irã	I	Min. custos em dois níveis de decisão	Algoritmo genético e otimização enxame de partículas; dois algoritmos híbridos e um algoritmo modificado
ACCORSI <i>et al.</i> , 2016.	Batata	Emilia-Romagna / Italia	E	Min. custos de implantação, transporte, plantação para sequestro de carbono e geração de energia	Exato
JONKMAN; BARBOSA-PÓVOA; BLOEMHOF, 2019	Beterraba Sacarina	Países Baixos	I	Max. margem bruta total; Min. impactos ambientais	Exato e eficiência de Pareto
SALIMI; VAHDANI, 2018	Biocombustível - biomassa (resíduo de milho e floresta)	Mississippi e Alabama / EUA	E	Min. custos da cadeia (instalação, transporte e produção)	Dois algoritmos metaheurísticos contendo algoritmo genético e algoritmo do morcego
QUDDUS <i>et al.</i> , 2018	Biocombustível - resíduos de milho, floresta e lixo	Mississippi / EUA	I	Min. custo de instalação (1º estágio); Min. custo de transporte, produção e armazenamento (2º estágio)	Algoritmo de aproximação pela média amostral combinada (SAA)
DE MEYER; CATTRYSSE; VAN ORSHOVEN, 2015	Bioenergia - biomassa	Limburg / Bélgica	I	Max. geração de energia	Sistema de apoio a decisão: banco de dados, distâncias, otimização com solução exata
ESCALANTE <i>et al.</i> , 2016	Bioenergia - biomassa (resíduo agrícola)	Santander / Colombia	E	Min. custos de transporte	Sistema de apoio a decisão espacial - <i>Fuzzy AHP</i> ; Análise de vizinhança; Polígonos de Thiessen
BALAMAN; SELIM, 2015	Bioenergia - dejetos da pecuária e silagem de milho	Izmir / Turquia	I	Max. receita anual; Min. custo operacional, investimento, transporte e compras	Transforma o modelo fuzzy em programação linear, usando o operador de Werner "fuzzy and"
FATTAHI; GOVINDAN, 2018	Bioetanol - biomassa (resíduo arroz, milho, trigo e floresta)	Irã	I	Min. custo total da cadeia	Algoritmo baseado na decomposição de Bender ; Horizonte rolante
CHÁVEZ; SARACHE; COSTA, 2018	Bioetanol - biomassa (resíduo da colheita de café)	Colombia	I	Max. valor presente líquido ; Min. impacto ambiental; Max. impacto social	FOs solucionadas isoladamente; para o problema multiobjetivo $\epsilon$ -restriction e a fronteira de Pareto
GHADERI; MOINI; PISHVAEE, 2018	Bioetanol - biomassa ( <i>switchgrass</i> - gramínea)	Irã	I	Min. custo total ; Min. impacto ambiental ; Max. responsabilidade social	Programação <i>Fuzzy</i> iterativa aplicando <i>TH approach</i>
MÉNDEZ-VÁZQUEZ <i>et al.</i> , 2017	Biomassa - pellet	Guanajuato / México	E	Max. lucro líquido e emissões de CO <sub>2</sub> evitadas	Exato
NEUNGMATCHA <i>et al.</i> , 2013	Cana de açúcar	Tailândia	I	Min. custos de instalação e transporte	Algoritmo genético adaptativo
GARCÍA-FLORES <i>et al.</i> , 2014	Carne bovina	Austrália	E	Max. lucro	Exato
MOHAMMED; WANG, 2017	Carne bovina	Londres	I	Min. custo de instalação, transporte, emissões de CO <sub>2</sub> e tempo de distribuição; Max. média de entrega	<i>LP-metrics</i> ; $\epsilon$ -constraint; Programação por metas; Min-Max para a solução de Pareto
YU <i>et al.</i> , 2018	Cenoura	China	E	Min. custos de instalação, transporte, desperdício e rastreabilidade; Max. atendimento da demanda	<i>Max-min operator method</i> (1ª fase) ; <i>fuzzy compromise approach</i> (2ª fase)

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

Quadro 7 – Detalhamento da revisão de literatura sobre *design* de cadeia de suprimentos em contextos agroindustriais

(conclusão)

Artigo	Cadeia	Local	Nível	Função Objetivo	Método de Solução
ALLAOUI, H. <i>et al.</i> , 2018	Empresa agroalimentar	Não divulgado	I	Min. custo total; Min. impacto ambiental e social; Max. eficiência da cadeia	Análise hierárquica de processos, Média ponderada ordenada (1º nível); Exato (2º nível); fronteira de Pareto
DE KEIZER <i>et al.</i> , 2017	Flores	Países Baixos	I	Max. lucro sob restrições de qualidade	Exato
ETEMADNIA <i>et al.</i> , 2015	Frutas e vegetais	Estados Unidos	E	Min. custos de transporte	Abordagem heurística
GE <i>et al.</i> , 2018	Frutas e vegetais	Estados Unidos	E	Min. custo total anual	Exato
ORJUELA-CASTRO; SANABRIA-CORONADO; PERALTA-LOZANO, 2017	Frutas perecíveis (7 frutas)	Bogotá - Colômbia	E	Min. custo de instalação, transporte e perdas	Exato
BEHZADI <i>et al.</i> , 2017	Kiwi	Nova Zelândia	I	Max. lucro sob interrupção da oferta	Algoritmo <i>branch-and-cut</i> integrado a algoritmos de <i>branch-and-bound</i> e de plano de corte
JOUZDANI; SADJADI; FATHIAN, 2013	Laticínio	Teerã / Irã	I	Min. custo de instalação, tráfego e transporte sob incerteza de demanda	Exato
BLACKBURN; SCUDDER, 2009	Melão e milho doce	Califórnia / EUA	E	Min. perda de valor da cadeia	Exato
ESSIEN; DZISI; ADDO, 2018	Milho	Gana	E	Min. custos de transporte	Sistema de apoio decisão: pseudo P-mediana, transporte, auto-regressão integrada de médias móveis sazonais e programação por metas
TABRIZI; GHODSYPOUR; AHMADI, 2018	Peixes	Irã	I	Max. lucro da cadeia (2 níveis)	Metaheurística otimização paralela multienxame de enxame de partículas (PMSPSO)
RENTIZELAS; SHPAKOVA; MAŠEK, 2018	Resíduo plástico da agricultura	Escócia	E	Max. valor presente líquido	Exato
DUBKE; PIZZOLATO, 2011	Soja	Brasil	E	Max. lucro da cadeia	Exato
ALMEIDA; AMARAL; MORABITO, 2016	Soja	Brasil	I	Min. custos de transporte e transbordo	Exato
AN; OUYANG, 2016	Soja ; Milho	Brasil ; Ilinois / EUA	I	Max. lucro ; Min. perdas pós-colheita	Algoritmo heurístico de relaxamento Lagrangiano personalizado
GARCÍA-FLORES <i>et al.</i> , 2015	Soro de leite	Minas Gerais / Brasil	I	Max. Lucro	Exato
MIRANDA-ACKERMAN; AZZARO-PANTEL, 2017	Suco de laranja	França	I	Min. potencial de aquecimento global; Max. valor presente líquido	Algoritmo genético e M-TOPSIS ( <i>Modified Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i> ) para a eficiência de Pareto
GHOLAMIAN; TAGHANZADEH, 2017	Trigo	Irã	I	Min. custo total do sistema	Exato

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

A performance de uma cadeia de suprimentos alimentar está fortemente relacionada à sua configuração, ou seja, o número, o tipo, a localização das instalações e seus fluxos de interconexão (AKKERMAN; FARAHANI; GRUNOW, 2010, DE KEIZER *et al.*, 2017). Assim, a otimização surge como apoio ao processo de tomada de decisão.

A respeito da cadeia de fertilizantes, Sharma (1991) tratou da produção e distribuição na Índia. O governo do país classificou os fertilizantes como um bem essencial e regulou sua distribuição, determinando o *market share* de cada empresa em cada safra. Assim sendo, o autor utilizou a programação inteira-mista para um modelo multiperíodo que minimizou os custos de produção, distribuição, estoque, espaço de armazenamento e instalação. O método de decomposição de Bender (em inglês: *Benders' decomposition*) foi utilizado para a solução.

Ainda nesta cadeia, Carvalho (2008) localizou fábricas misturadoras de fertilizante no Centro-Oeste brasileiro e também utilizou a programação inteira-mista para minimizar os custos de transporte, considerando dois modais. A distribuição do produto final atendeu especificamente à necessidade de nutrientes em cada estado, desse modo não foi considerado o balanço de massa para a transformação da necessidade em um formulado industrializado.

O combate às alterações climáticas, a manutenção da segurança energética e a sustentabilidade são apenas algumas das justificativas presentes nos artigos de otimização das cadeias de biocombustíveis, bioenergia e biomassa. Para a geração de bioenergia, a tecnologia de conversão envolvida foi a de digestores anaeróbicos (BALAMAN; SELIM, 2015, DE MEYER; CATTRYSSE; VAN ORSHOVEN, 2015, ESCALANTE *et al.*, 2016).

Para a conversão de resíduos plásticos da agricultura, surge a otimização da rede de usinas de pirólise. Mesmo sem tratar diretamente de impactos ambientais e sociais, a adoção dos princípios da economia circular no setor agrícola gera operações agrícolas mais sustentáveis. Para o volume de plástico disponível para reciclagem, a geração de diesel não mostrou-se viável, os produtos financeiramente viáveis foram a cera de polietileno, geração de calor e eletricidade (RENTIZELAS; SHPAKOVA; MAŠEK, 2018).

Nas cadeias que utilizaram biomassa para a produção de bioetanol, as três dimensões da sustentabilidade foram abordadas. Ghaderi, Moini e Pishvae (2018), além de objetivar a redução de custos, aplicaram a metodologia da análise de ciclo de vida ambiental e social ao seu modelo. Já no modelo de Chávez, Sarache e Costa (2018), buscou-se maximizar o valor presente líquido, reduzir a contaminação da água e do ar, aplicando “*GRI Standards*” e, no aspecto social, a geração de emprego e segurança alimentar foi maximizada. Fattahi e Govindan (2018) trataram da temática de forma diferente, embora a função objetivo minimize apenas

aspectos econômicos, o impacto ambiental e a responsabilidade social foram tratados como limites inferiores e superiores para a escolha de uma cadeia mais sustentável.

Para a geração de bicompostíveis, a cadeia foi representada por um modelo de programação estocástica que captou a incerteza atrelada à sazonalidade da matéria-prima de dois estágios com restrição probabilística, o que garante a utilização de resíduos sólidos urbanos acima de um valor limite. Com o incremento de 100% na taxa da reciclagem, a produção de biocompostível aumentou em 15,28% e o custo reduziu 13,13% (QUDDUS *et al.*, 2018).

Utilizando apenas a biomassa, ainda sobre essa cadeia, com um modelo de programação não linear inteira mista, objetivou-se minimizar o custo total da cadeia. Além disso, foram consideradas as possibilidades de ruptura e a incerteza da demanda foi tratada com o método de *risk-pooling*, o que ajustou os níveis de estoque para obter melhores níveis de serviço. Com dois métodos de solução diferentes aplicados, o algoritmo genético mostrou-se mais eficiente (SALIMI; VAHDANI, 2018).

O projeto de rede é um dos fatores críticos que influenciam a sustentabilidade de uma cadeia de suprimentos agroalimentar. Isso devido a ampla gama de indicadores associados ao tripé da sustentabilidade que precisam ser considerados. E para considerar as três dimensões da sustentabilidade, foram analisados a pegada de carbono, a pegada hídrica, o número de empregos criados e o custo total do projeto da cadeia de suprimentos. Para validar a abordagem desse estudo, dados reais de uma empresa agroalimentar foram utilizados e por este motivo sua localização não foi divulgada (ALLAOUI, H. *et al.*, 2018).

Produtos agrícolas podem ser classificados como: perecíveis, que possuem rápida deterioração variando de acordo com a temperatura, umidade e pressão – tais como carnes, frutas, lácteos, legumes e verduras - e não perecíveis, que possuem menor degradação da qualidade e do valor do produto ao longo do tempo – tais como grãos, oleaginosas e sementes (CHERAGHALIPOUR; PAYDAR; HAJIAGHAEI-KESHTELI, 2019).

Jonkman, Barbosa-Póvoa e Bloemhof (2019), integraram ao *design* da cadeia agroalimentar as decisões de colheita, considerando a sazonalidade, a perecibilidade e o processamento. Com a abordagem monolítica, apresentaram uma versão geral determinística do modelo e outra estocástica, incluindo as incertezas na demanda e no rendimento da colheita da beterraba sacarina.

O melão e o milho doce amadurecem no campo e atingem seu valor máximo no momento da colheita. Para minimizar a perda de valor do produto projetou-se uma cadeia de suprimentos híbrida que inicialmente se concentra no resfriamento do produto o mais rápido possível (qualidade) e depois na eficiência de custos (BLACKBURN; SCUDDER, 2009).

No *design* da cadeia de suprimentos de frutas e verduras, em um sistema logístico nacional com vendas por atacado e opções de transporte bimodais, utilizou-se um modelo de programação linear inteira mista (ETEMADNIA *et al.*, 2015). Posteriormente, nessa mesma cadeia, foram consideradas economias de escala para a otimização (GE *et al.*, 2018). Considerando multiprodutos na cadeia de frutas (amora, laranja, manga, maracujá roxo, morango, *physalis* e tangerina) em uma região montanhosa ao minimizar os custos de transporte e instalação foi possível reduzir o percentual de perda de produto (ORJUELA-CASTRO; SANABRIA-CORONADO; PERALTA-LOZANO, 2017).

A rotulagem ecológica agrega valor ao produto alimentar. Na rotulagem orgânica, o escopo de atuação limita-se à fase agrícola da cadeia, enquanto a pegada de carbono analisa a cadeia completa. Incorporar as emissões de CO<sub>2</sub> na função objetivo, gera um projeto de rede ambientalmente consciente mais coerente (MIRANDA-ACKERMAN; AZZARO-PANTEL, 2017). Ao otimizar a logística direta e reversa, incluindo a escolha entre embalagens reutilizáveis ou descartáveis dentro dos limites de decisão, é possível criar uma rede de suprimentos que equilibra os aspectos econômicos e ambientais. Os resultados enfatizam a conveniência de misturar os dois tipos de embalagens para alcançar a otimalidade global. Uma boa configuração de equilíbrio entre reduzir as emissões e conter o aumento de custo é 47,1% de embalagens reutilizáveis e 52,9% de descartáveis (BORTOLINI *et al.*, 2018).

Modelou-se a cadeia de peixes como não-cooperativa seguindo o conceito de equilíbrio de *Nash-Cournot* e *Nash-Tackelberg*, em dois níveis. Propondo um novo algoritmo metaheurístico coevolucionário (em inglês: *parallel multi-swarm particle swarm optimization*) possibilitou-se um maior lucro total a qualquer membro da cadeia (TABRIZI; GHODSYPOUR; AHMADI, 2018).

Avaliou-se três métodos de solução diferentes para a cadeia de suprimentos da carne bovina, que transformaram o modelo *fuzzy* multiobjetivo de três estágios, em um modelo *fuzzy* mono-objetivo. O método de  $\varepsilon$ -*constraint* foi o mais efetivo para este modelo, que incluiu a incerteza nos custos, demanda e capacidade das instalações (MOHAMMED; WANG, 2017). Para contemplar as práticas de bem-estar animal na cadeia da carne bovina, inseriu-se ao modelo áreas de descanso e parâmetros como o limite máximo de horas de condução e o tempo máximo de privação de água. Nos resultados da Austrália, com a inclusão de um matadouro o valor da cadeia de suprimentos aumentou em mais de setecentos e quinze milhões de dólares (GARCÍA-FLORES *et al.*, 2014).

O aumento na duração das operações logísticas e nas temperaturas reduz a qualidade do produto agrícola fresco. A deterioração heterogênea da qualidade das flores deve ser

considerada, uma vez que influencia significativamente o projeto de rede e sua lucratividade. Alterar as taxas de deterioração com o devido processamento afeta o nível de postergação (DE KEIZER *et al.*, 2017).

No planejamento da cadeia de suprimentos de laticínios considerou-se a distribuição do leite cru, do leite processado, de um produto lácteo e a incerteza na demanda foi tratada como número triangular *fuzzy* (JOUZDANI; SADIJADI; FATHIAN, 2013). Já quanto ao soro do leite, trata-se de um subproduto da fabricação de queijo comumente descartado. Para agregar valor e ampliar essa cadeia, selecionou-se a combinação ótima de equipamentos de processamento de soro, instalações e rotas de transporte. Todos sujeitos a um limite orçamentário, disponibilidade de equipamentos e requisitos do produto final (GARCÍA-FLORES, *et al.* 2015).

Considerando os produtos não perecíveis, os gargalos da cadeia estão principalmente relacionados à falta e a má distribuição da infraestrutura de armazenagem (GHOLAMIAN; TAGHANZADEH, 2017, ESSIEN; DZISI; ADDO, 2018) e processamento posterior (DUBKE; PIZZOLATO, 2011). Para o caso da soja brasileira a redução dos custos de logísticos foi apontado como ponto-chave e as oportunidades para melhorias na cadeia estariam atreladas aos portos da região Norte (DUBKE; PIZZOLATO, 2011).

An e Ouyang (2016) aplicaram seu modelo para a soja brasileira, integrando o equilíbrio de mercado entre os agricultores, a produção estocástica de safras e a perda pós-colheita. No cenário de empresas avessas a riscos, a falta de estrutura rodoviária compromete os fluxos para o norte do país. Já no cenário de empresas que buscam o risco, o lucro foi 9,6% maior e os investimentos necessários baixaram retorno sobre o investimento (ROI), mas possibilitariam a redução das perdas pós colheita e do custo de transporte de todo o sistema, além do descongestionamento dos portos ao sul ao utilizar mais portos da região Norte.

No mesmo sentido, para localizar terminais intermodais e analisar os fluxos para escoar a soja, a utilização de ferrovias e hidrovias se mostra financeiramente mais vantajosa, mesmo com o pagamento pelo transbordo. E a construção de um terminal para grãos no Porto de Vila do Conde, na região Norte, reduziu sessenta milhões de reais na função objetivo (ALMEIDA; AMARAL; MORABITO, 2016)

### **3 ABORDAGEM METODOLÓGICA**

Esta pesquisa é classificada como quantitativa axiomática normativa, pois a partir de um problema já idealizado (localização de instalações), propõe variações de modelos

(otimização do *design* da cadeia de suprimentos e mistura) e métodos de solução conhecidos na literatura (solução exata) para um novo objeto (a cadeia de suprimentos de fertilizantes no estado de Mato Grosso). Assim sua contribuição científica está em apresentar uma solução ótima utilizando um modelo matemático que representa as especificidades de um problema real ainda não tratado (BERTRAND; FRANSOO, 2002). As justificativas para otimizar o *design* da cadeia de suprimentos de fertilizantes no estado do Mato Grosso foram apresentadas na introdução, após, detalha-se as etapas adotadas no delineamento do escopo e, em seguida, a determinação das variáveis adotadas.

A pesquisa quantitativa baseada em modelo matemático é aquela na qual descrições matemáticas e simbólicas de causa e efeito entre variáveis de controle e de desempenho são desenvolvidas, analisadas e testadas (MORABITO; PUREZA, 2018). O ciclo da pesquisa é composto pelas fases de conceituação, modelagem, solução do modelo e implementação, sendo possível iniciar e terminar um ciclo em qualquer uma das fases (BERTRAND; FRANSOO, 2002).

A primeira etapa refere-se ao zoneamento da área analisada. Como critério para a divisão espacial do território estadual, adotou-se as microrregiões, que são subdivisões do estado em áreas com semelhanças socioeconômicas, propostas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em seguida, realizou-se um estudo regional das culturas plantadas no estado por meio do Censo Agropecuário 2017, também realizado pelo IBGE. Dentre todas, verificou-se a relevância das culturas conforme a extensão da sua área plantada em hectares (Apêndice A).

Com a seleção das culturas e a área de análise, foi possível o levantamento das recomendações de adubação, criando um perfil de demanda de nutrientes para cada microrregião. Neste momento, fez-se necessário o balanço de massa para a conversão da necessidade de nutrientes em necessidade de matéria-prima.

Um segundo balanço de massa foi necessário para a conversão de necessidade de nutrientes em necessidade de produto final. No entanto, o produto final possui uma formulação com requisitos mínimos de cada nutriente, tal como no problema da dieta de Stigler (1945), no qual alimentos possuem determinados nutrientes e a soma da quantidade de alimentos consumida deve fornecer a quantidade mínima exigida de cada nutriente.

Para fins de localização e determinação de distâncias, cada microrregião foi representada por seu respectivo município centroide. As distâncias calculadas geraram, como resultado, a matriz origem-destino de fluxos de transporte (Apêndice B). Para a distribuição da matéria-prima, considerou-se rotas intermodais (ferrovia ou hidrovía combinados com rodovia)

e os pontos de origem nos portos importadores. As distâncias rodoviárias foram calculadas pelo Google Maps, priorizando trajetos mais curtos e rodovias federais. Para a transporte do produto final entre as microrregiões, utilizou-se apenas o modal rodoviário.

As informações sobre o custo de instalação das misturadoras e as respectivas capacidades de produção foram coletadas em entrevistas com o gerente de logística e operações portuárias de um grupo produtor e comercializador de fertilizantes. Posteriormente, os dados foram validados nos canais de comunicação oficiais, planos de expansão e assessoria de imprensa de outras três empresas misturadoras de fertilizante que operam no mercado brasileiro.

Os preços de frete praticados no mercado brasileiro são formados com base na livre negociação entre a oferta e a procura. Algumas variáveis exercem influência adicional sobre os valores, tais como a quilometragem percorrida, a obtenção de carga de retorno, a sazonalidade, a agilidade de carga e descarga e os aspectos geográficos.

O custo do frete rodoviário adotado refere-se ao valor praticado no mercado em 2018 para transporte de fertilizantes, considerando o frete retorno. Os dados foram fornecidos por um grupo empresarial que atua nacionalmente no mercado de transporte de cargas para a agroindústria e pecuária. Foram acessados todos os dados financeiros, rotas, volume e tipo de material transportado, além de entrevistas não estruturadas com o sócio proprietário, gerente comercial e gerente de operações. O cálculo do custo do transporte rodoviário considerou a distância percorrida, os eixos dos caminhões e os pedágios da rota adotada (Apêndice D).

A malha ferroviária brasileira foi concedida para a iniciativa privada com o Decreto nº 473/92, permitindo a exploração por 30 anos, prorrogáveis por mais 30. As tarifas cobradas por cada uma das concessionárias possuem limites máximos, estabelecidos pelos contratos de concessão. A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2018) disponibiliza um simulador para consulta pública. Para se aproximar dos valores realmente cobrados, em contato com as concessionárias, verificou-se que o preço praticado no mercado em 2018 foi, em média, 20% abaixo de limite máximo estabelecido.

Determinou-se a capacidade dos portos pelo maior volume anual de fertilizantes minerais importados, considerando o período dos últimos quatro anos. A evolução do comércio exterior foi acompanhada pelos dados obtidos no sistema de relatórios personalizados de estatísticas de comércio exterior brasileiro Comex Stat (2019), elaborado pelo Ministério da Economia, onde o sistema harmonizado de designação e codificação de mercadorias (SH) atribui um código numérico para as mercadorias exportadas e importadas. O Quadro 8 apresenta a descrição dos tipos de produtos enquadrados no capítulo de adubos e fertilizantes. Neste

trabalho, foram considerados, exclusivamente, os códigos SH4: 3102, 3103, 3104 e 3105, que tratam de fertilizantes minerais.

Quadro 8 – Composição do capítulo de fertilizantes no sistema harmonizado de designação

Capítulo	Cód SH4	Descrição
31 - Adubos (fertilizantes)	3101	Adubos (fertilizantes) de origem animal ou vegetal, mesmo misturados entre si ou tratados quimicamente; adubos (fertilizantes) resultantes da mistura ou do tratamento químico de produtos de origem animal ou vegetal
	3102	Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados
	3103	Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados
	3104	Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos
	3105	Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogenio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes

Fonte: Comex Stat, 2019

Verificou-se quais matérias primas (fertilizantes básicos) são importadas pelo estado de Mato Grosso para a fabricação de fertilizantes formulados finais (Apêndice C,) por intermédio do relatório do Comex Stat (2019), com o detalhamento da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), que refere-se a um sistema de classificação fiscal que associa cada mercadoria a um código numérico de 8 dígitos de acordo com a sua natureza. Os dois primeiros dígitos da NCM referem-se ao capítulo do Sistema Harmonizado (SH 31 para adubos e fertilizantes) e abrangem produtos que guardam semelhança entre si.

Com as variáveis definidas e com os dados que representaram a realidade do problema, inicia-se a etapa da formulação do modelo matemático. O ponto de partida para a etapa da modelagem foram os modelos determinísticos já desenvolvidos na literatura para otimização de cadeias de suprimentos em contextos agroindustriais. Para se obter um modelo mais adequado ao tratamento do problema, modificações foram implementadas para tratar do balanço de massa da demanda.

Para a solução do modelo, utilizou-se um resolvidor externo que apresentou uma solução ótima. A partir desta solução, os resultados foram analisados para garantir que não violaram as equações criadas e que possuíam proporções reais. Por último, uma discussão crítica do resultado é apresentada para apoiar a tomada de decisão.

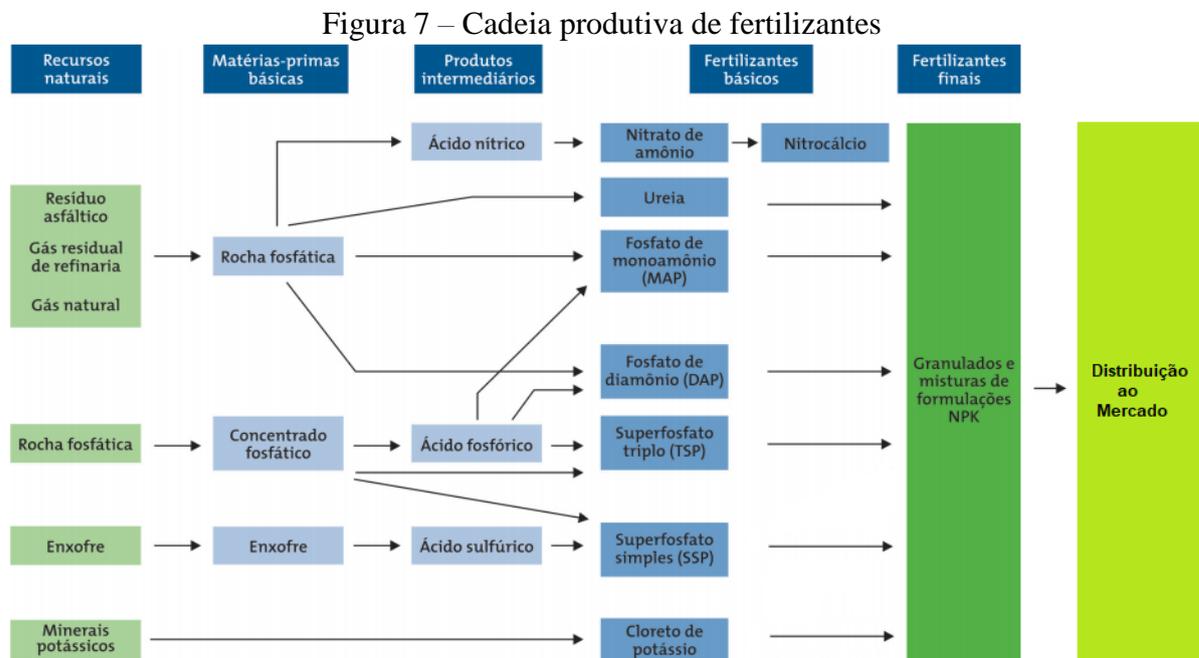
#### 4 AMBIENTE DO PROBLEMA

A fórmula básica do fertilizante mineral NPK é extraída a partir de percentuais dos macronutrientes nitrogênio (na fórmula N elementar), fósforo (como pentóxido de fósforo,

$P_2O_5$ ) e potássio (na forma de óxido de potássio,  $K_2O$ ). Estes são os elementos mais representativos, no entanto outros macros e micronutrientes, apesar da importância biológica, não têm expressão econômica significativa na indústria de fertilizantes, por serem utilizados em menores quantidades (DIAS; FERNANDES, 2006).

Fertilizantes são formados por partículas de variados tamanhos que, em movimento ou vibração, tendem a segregar-se. Este fenômeno é possível nas várias etapas do sistema de distribuição, em especial quando os materiais são empilhados aos montes. Para prevenir a compactação, evita-se que o produto caia de grandes alturas. Os embarques não devem ocorrer durante precipitação ou neblina forte, dessa forma o transporte deve ser seco, livre de ferrugem e coberto com lonas para proteger o produto (ABISOLO, 2015).

A cadeia produtiva dos fertilizantes é composta por cinco elos. No primeiro, a indústria extrativista mineral transforma os recursos naturais em matérias-primas básicas. No segundo, tem-se os produtos intermediários. No terceiro, os produtos químicos inorgânicos com a indústria de fertilizantes básicos. Em sequência encontram-se as fábricas misturadoras, que realizam formulações e granulações (NPK). As misturadoras fazem interface com o último elo, o agricultor brasileiro (CARVALHO, 2009). Na Figura 7, estão detalhadas as principais matérias primas e produtos envolvidos em cada elo da cadeia do fertilizante.



Fonte: ANDA, 2018

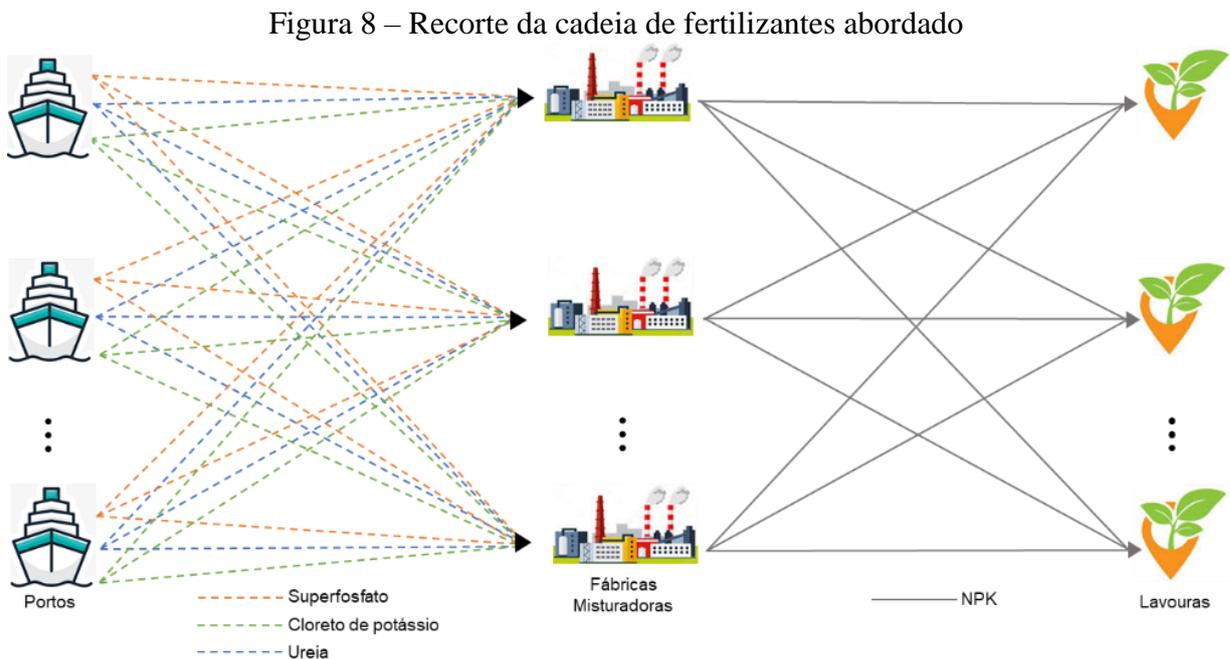
No Brasil, o setor de fertilizantes está regulamentado com o Decreto nº 8.384, de 29 de dezembro 2014. Segundo a classificação nacional de atividade econômica do IBGE (CNAE-

2.0), a indústria química divide-se em nove segmentos. Os fertilizantes e intermediários de fertilizantes estão inseridos no grupo de fabricação de produtos químicos inorgânicos.

O setor responsável pelas formulações finais de NPK é extremamente concentrado, sendo que quatro grupos controlam 70% do *market share* brasileiro. Além disso, há grupos de indústrias de fertilizantes com um posicionamento verticalizado na cadeia que controlam ou são sócios de *trading companies* que comercializam os grãos. Sendo cliente nas duas pontas, o produtor rural tem seu poder de barganha reduzido (SAAB; PAULA, 2008).

Apesar de o Brasil possuir altas taxas de crescimento na demanda por fertilizantes, a produção interna para a fabricação de suas matérias-primas não cresce no mesmo ritmo. A indisponibilidade de matérias-primas básicas, questões tributárias e ambientais são alguns dos gargalos que dificultam novos investimentos. Dessa forma, o atendimento ao consumo interno vem ocorrendo principalmente via aumento das importações (COSTA; SILVA, 2012).

Este estudo tratou da cadeia de suprimentos de fertilizantes no estado de Mato Grosso, considerando que toda a matéria prima distribuída é importada. Assim, a Figura 8 representa o recorte de análise da cadeia de suprimentos de fertilizantes deste trabalho. Com a grande variedade de fertilizantes básicos, é possível gerar inúmeras composições para as misturas de NPK, o que, por sua vez, acarreta em inúmeras possibilidades combinatórias de produtos e insumos vinculados ao setor.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019

Os nutrientes nitrogênio (N), fósforo ( $P_2O_5$ ) e potássio ( $K_2O$ ) podem ser encontrados em diversas matérias primas, com teores de concentração diferentes. É uma escolha da empresa

misturadora estabelecer quais matérias primas serão utilizadas para a formulação no produto NPK, desde que a compatibilidade entre os fertilizantes seja garantida, a fim de que não comprometa suas características físicas, químicas e físico-químicas.

## 5 MODELAGEM

Seguindo os pressupostos da programação matemática de otimização, o modelo aqui desenvolvido é constituído pelas restrições e uma função objetivo de minimização que incorpora os custos de transporte de matéria prima, de distribuição do produto final e de instalação de misturadoras de fertilizantes.

As hipóteses consideradas na modelagem são:

1. Este é um modelo estático de um único período único de análise (anual);
2. Considera-se uma única fonte de matéria prima para cada nutriente;
3. Apenas uma formulação do produto final NPK é considerada e distribuída para atender a demanda;
4. Não se considerada economia de escala no transporte.

Os conjuntos do modelo:

$P$  : portos importadores de matéria prima,  $p \in P$ ;

$R$  : microrregiões do estado,  $r, r' \in R$ ;

$M$  : matérias-primas importadas,  $m \in M$ ;

$T$  : tamanhos de misturadoras de fertilizantes,  $t \in T$ ;

$C$  : culturas agrícolas,  $c \in C$ ;

$N$  : nutrientes dos fertilizantes,  $n \in N$ ;

$W$  : subconjunto que identifica os nutrientes nas matérias-primas.

Parâmetros do modelo:

$cst_{pr}$ : custo de transporte do porto  $p$  para a região  $r$  (R\$/tonelada);

$cap_{pp}$ : capacidade do porto  $p$  (tonelada);

$cap_f$ : capacidade de fábrica para cada tamanho  $t$  (tonelada);

$csi_t$ : custo de instalação para cada tamanho de fábrica  $t$  (R\$);  
 $csd_{rr'}$ : custo de distribuição da região  $r$  para  $r'$  (R\$/tonelada);  
 $teor_{mn}$ : proporção do nutriente  $n$  presente em cada matéria-prima  $m$ ;  
 $rec_{cn}$ : recomendação de adubação do nutriente  $n$  para cada cultura  $c$  (quilos/hectare);  
 $crop_{rc}$ : área colhida de cada cultura  $c$  na região  $r$  (hectares);  
 $npk_n$ : fórmula com a proporção de cada nutriente  $n$  para a formulação NPK.

Parâmetros calculados:

Para o cálculo da demanda:

$dnc_{rcn}$ : demanda do nutriente  $n$  para a cultura  $c$  em cada região  $r$ .

$$dnc_{rcn} = \frac{rec_{cn}}{1000} crop_{rc} \quad \forall r, c, n$$

$dnr_{rn}$ : demanda total do nutriente  $n$  na região  $r$ .

$$dnr_{rn} = \sum_c dnc_{rcn} \quad \forall r, n$$

$max\_nut\_reg_r$ : retorna o maior nutriente  $n$  demandado na região  $r$ .

$$max\_nut\_reg_r = argmax_n (dnr_{rn})$$

$NPK\_d_r$ : demanda de NPK na região  $r$ .

$$NPK\_d_r = \frac{argmax_n (dnr_{rn})}{npk_n}$$

Variáveis de decisão:

$Q1\_MP_{prm}$ : quantidade de matéria prima  $m$  do porto  $p$  até a região  $r$  ( $Q1\_MP_{prm} \in \mathbb{R}_+$ ) (toneladas);

$Q2\_MP_{rm}$ : quantidade de matéria prima  $m$  na região  $r$  ( $Q2\_MP_{rm} \in \mathbb{R}_+$ ) (tonelada);

$Q3\_NPK_{r,r'}$ : quantidade de NPK transportado da região  $r$  para região  $r'$  ( $Q3\_NPK_{r,r'} \in \mathbb{R}_+$ ) (tonelada);

$Y_{tr}$ : quantidade de fábricas instaladas na região  $r$  do tamanho  $t$  ( $Y_{tr} \in \mathbb{Z}_+$ );

$CAP\_EP_p$ : quantidade de capacidade extra no porto  $p$  ( $CAP\_EP_p \in \mathbb{R}_+$ ) (toneladas).

Função Objetivo:

$$\text{Min} \sum_{mpr} cst_{pr} Q1\_MP_{prm} + \sum_{r,r'} csd_{r,r'} Q3\_NPK_{r,r'} + \sum_{tr} csi_t Y_{tr} + \sum_p CAP\_EP_p \quad (1)$$

O critério de otimização da função objetivo (1) expressa o desempenho buscado para a cadeia de suprimentos, que é o de minimizar o custo de transporte da matéria-prima do porto até misturadora de fertilizante, o custo de distribuição do produto final NPK até consumidor final e o custo de instalação das misturadoras de fertilizantes. A última parcela da função ( $\sum_p CAP\_EP_p$ ) trata de uma variável que calcula a necessidade de capacidade extra nos portos caso a demanda ultrapasse seus limites.

Sujeito às restrições:

$$\sum_{mr} Q1\_MP_{prm} \leq capp_p + CAP\_EP_p \quad \forall p \quad (2)$$

A restrição (2) determina que a quantidade de matéria prima necessária para atender a demanda das regiões não exceda a capacidade dos portos. E caso este limite seja ultrapassado, este volume será mensurado e destinado à capacidade extra de cada porto.

$$\sum_p Q1\_MP_{prm} = Q2\_MP_{rm} \quad \forall r, m \quad (3)$$

A restrição (3) faz o balanço de massa da quantidade de matéria-prima, garantindo que o volume disponível nos portos seja igual ao volume distribuído nas regiões.

$$\sum_m Q2\_MP_{rm} \leq \sum_t capf_t Y_{tr} \quad \forall r \quad (4)$$

A equação (4) assegura que toda a matéria-prima distribuída na região deve ser menor ou igual a soma da capacidade de todas as fábricas na região.

$$\sum_{nPK\_tuple} teor_{mn} Q2\_MP_{rm} = \sum_{r'} NPK\_f_n Q3\_NPK_{rr'} \quad \forall r, n \quad (5)$$

Para o balanço de massa entre a matéria-prima e produto final, a restrição (5) determina que a soma dos nutrientes da matéria prima seja igual à soma dos nutrientes do produto final NPK. Respeitando assim, a conservação das massas.

$$\sum_r Q3\_NPK_{rr'} \geq NPK\_d_{r'} \quad \forall r' \quad (6)$$

A restrição (6) garante que a quantidade de NPK entregue na região atenda a demanda de produto final NPK de acordo com a formulação exigida. Por fim, em (7) são apresentados os domínios das variáveis de decisão do modelo.

$$\begin{aligned} Q1\_MP_{p r m} &\in \mathbb{R}_+ \\ Q2\_MP_{r m} &\in \mathbb{R}_+ \\ Q3\_NPK_{r r'} &\in \mathbb{R}_+ \\ CAP\_EP_p &\in \mathbb{R}_+ \\ Y_{t r} &\in \mathbb{Z}_+ \end{aligned} \quad (7)$$

## 6 APLICAÇÃO DO MODELO

Nesta seção, o modelo matemático de otimização da cadeia de suprimentos de fertilizantes apresentado na Seção 5 é aplicado em um estudo de caso para o estado de Mato Grosso. Os resultados computacionais foram gerados a partir do modelo implementado no software de otimização *General Algebraic Modelling System* - GAMS (versão 24.0.2) e resolvido pelo CPLEX (versão 12.5.0), encontrando a solução ótima para o problema em um tempo de cerca de um segundo e setecentas iterações em um computador de processador Ryzen 1800X de 16 núcleos.

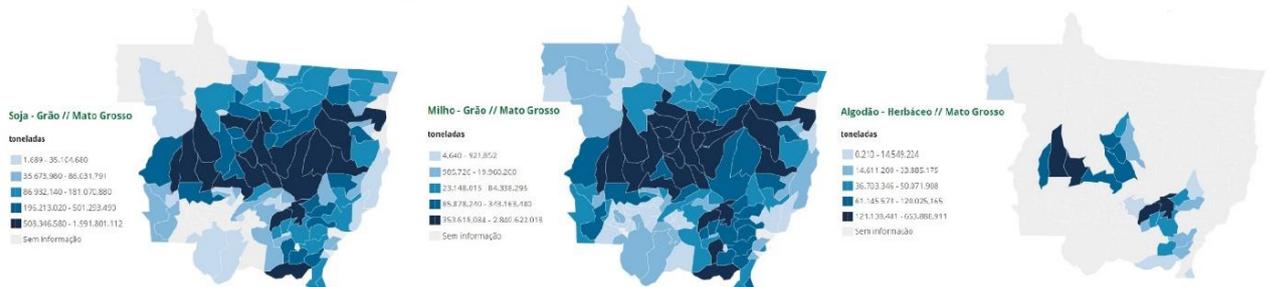
### 6.1 Descrição dos dados

Neste momento, são detalhados as etapas seguidas e dados coletados, que juntamente com os aspectos práticos presentes na realidade, tem como objetivo representar o funcionamento da cadeia de suprimentos de fertilizante do estado de Mato Grosso.

### 6.1.1 Zoneamento

O estado de Mato Grosso possui 141 municípios que estão agrupados em 22 microrregiões (IBGE, 2019). Contabilizou-se a área colhida (em hectares) de todas as lavouras temporárias em todos os municípios (IBGE, 2017) e os resultados foram reunidos de acordo com cada microrregião. As culturas mais abrangentes foram a da soja (59%), do milho (33%) e do algodão (4%) e, juntas, estas culturas representam noventa e seis por cento das lavouras temporárias no Mato Grosso (Apêndice A). Na Figura 9, observa-se a distribuição espacial e a concentração da produção da soja, do milho e do algodão.

Figura 9 – Produção de soja, milho e algodão em ton. no estado de Mato Grosso em 2017



Fonte: IBGE (2017)

Para fins de simplificação sem perda significativa do poder analítico do estudo, foram modeladas 15 microrregiões que concentram 98,2% da área colhida do estado. A Tabela 3 detalha a participação de cada cultura na composição da área plantada das microrregiões.

Tabela 3 – Dimensão das culturas nas microrregiões do estado de Mato Grosso

Microrregião	Município Centróide	Soja (ha)	Milho (ha)	Algodão (ha)	Total (ha)	(%)	Acum	
Mato Grosso		8.709.800	4.806.578	530.033	14.046.411	100.0%		
1	Alto Teles Pires	Sorriso	2.196.862	1.486.413	85.307	3.768.582	26.8%	26.8%
2	Parecis	Campo Novo do Parecis	1.203.103	651.331	264.623	2.119.057	15.1%	41.9%
3	Canarana	Água Boa	955.405	408.905	23.148	1.387.458	9.9%	51.8%
4	Sinop	União do Sul	752.442	496.881	0	1.249.323	8.9%	60.7%
5	Arinos	Nova Maringá	603.618	352.798	0	956.416	6.8%	67.5%
6	Norte Araguaia	Canabrava do Norte	627.901	257.156	0	885.057	6.3%	73.8%
7	Primavera do Leste	Primavera do Leste	416.698	250.508	99.245	766.451	5.5%	79.3%
8	Rondonópolis	Rondonópolis	413.900	253.519	28.855	696.274	5.0%	84.2%
9	Paranatinga	Paranatinga	421.245	108.546	0	529.791	3.8%	88.0%
10	Tesouro	Tesouro	233.876	115.362	12.231	361.469	2.6%	90.6%
11	Aripuanã	Juína	232.149	98.754	1	330.904	2.4%	92.9%
12	Alto Araguaia	Alto Araguaia	152.454	99.092	9.181	260.727	1.9%	94.8%
13	Colíder	Matupá	174.700	87.742	0	262.442	1.9%	96.6%
14	Tangará da Serra	Nova Olímpia	82.414	39.531	0	121.945	0.9%	97.5%
15	Alto Guaporé	Pontes e Lacerda	63.382	27.537	0	90.919	0.6%	98.2%
16	Cuiabá		40.559	22.095	7.442	70.096	0.5%	98.7%
17	Alto Paraguai		33.484	19.834	0	53.318	0.4%	99.0%
18	Médio Araguaia		43.624	1.969	0	45.593	0.3%	99.4%
19	Rosário Oeste		28.430	8.940	0	37.370	0.3%	99.6%
20	Jauru		0	5.071	0	5.071	0.0%	99.7%
21	Alta Floresta		23.299	8.765	0	32.064	0.2%	99.9%
22	Alto Pantanal		10.255	5.829	0	16.084	0.1%	100.0%

FONTE: IBGE – Censo Agropecuário 2017

Para cada microrregião, determinou-se que o município mais central seria seu ponto representativo. Dessa forma, os municípios centroides determinam as distâncias entre as microrregiões e representam as potenciais localizações para instalações das fábricas misturadoras.

### 6.1.2 Demanda

Para Shields (1976), a expressão “demanda de fertilizantes” gera confusão nas análises e estimativas, porque possui um problema de definição. Sobre fertilizantes, a demanda pode ser considerada uma necessidade nutricional, dada pela quantidade necessária para atingir um determinado nível de produção ou a quantidade comprada por um mercado em um determinado período. Embora os métodos apresentem resultados divergentes, não existe superioridade de um em relação ao outro, cada um apresenta vantagens e desvantagens e sua aplicação depende

da finalidade a que está sujeito. Neste trabalho, adota-se a primeira definição, que trata de uma necessidade de nutrientes requerida por uma cultura específica.

Partindo desta premissa, é preciso estabelecer as necessidades de nitrogênio, fósforo e potássio para as culturas da soja, do milho e do algodão. As quantidades de nutrientes necessárias são determinadas pelas características do solo. O estado de Mato Grosso está localizado no Cerrado, assim, estabeleceu-se que as recomendações de adubação seriam vinculadas aos solos deste bioma.

Os solos do Cerrado apresentam baixa fertilidade natural, elevada acidez, intemperização intensa (CARDUCCI *et al* 2011) e alta fixação de fósforo, necessitando de correção e de construção de fertilidade. Os solos deste bioma são caracterizados como os da ordem dos Latossolos (RIBEIRO; WALTER, 2008) de textura argilosa. A textura de solo argilosa é determinada por um teor de argila entre 35% e 60% (CANTARUTTI *et al*, 2007).

Dessa forma, estabelece-se os critérios para a definição da demanda de nutrientes por cultura. A recomendação deve ser individualizada por nutriente de cada cultura, em solos do Cerrado de textura argilosa. Os estudos adotados como referência para a recomendação de adubação fazem parte da linha editorial Transferência de Tecnologia, publicados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Este nicho é responsável por divulgar as tecnologias e os resultados dos conhecimentos de P&D das unidades da Embrapa e entidades de pesquisa com experiência validada. Nos artigos utilizados, Embrapa Soja (2000), Coelho (2006) e Ferreira e Carvalho (2005), as recomendações para quantidades de nutriente na fertilização do solo são apresentadas como um intervalo de limites máximos e mínimos. Em vista disso, calculou-se a média dos valores informados pelos autores para cada cultura e nutriente. A Tabela 4 evidencia os valores adotados referente à demanda de nitrogênio, fósforo e potássio por cultura

Embora a soja apresente a necessidade de nitrogênio, o NPK não foi considerado para repor esta deficiência, pois desde a década de 80 estudos demonstram que a fixação biológica do nitrogênio com inoculantes de boa qualidade, tornam a prática da adubação nitrogenada na cultura da soja desnecessária (VARGAS *et al.*, 1982) e que a seleção de estirpes de *Bradyrhizobium* adaptadas às condições do Cerrado, são capazes de substituir totalmente o uso de adubos nitrogenados (PERES *et al.*, 1993). A inoculação permitiu aumentar a produção com menor uso de fertilizantes, eliminando a necessidade de adubação química nitrogenada e reduzindo os custos (MENDES, *et al.*, 2008, VIEIRA FILHO; FISHLOW, 2017).

Tabela 4 – Recomendação de adubação química por cultura em quilos por hectare

<b>Cultura</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
Soja <sup>1</sup>	0	135	60
Milho <sup>2</sup>	90	80	135
Algodão <sup>3</sup>	114	135	132

Fonte: <sup>1</sup>Adaptado de EMBRAPA SOJA, 2000; <sup>2</sup>Adaptado de COELHO, 2006, <sup>3</sup>Adaptado de FERREIRA; CARVALHO, 2005

As matérias-primas para a fabricação de fertilizantes, ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio foram determinadas por apresentarem os maiores volumes nas importações realizados para o estado de Mato Grosso no período de 2018 a 2015 (Apêndice C).

A produção do fertilizante final deve obedecer uma fórmula comercial que corresponde à concentração expressa em porcentagem dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e potássio (K<sub>2</sub>O).

Para os cálculos do modelo, a proporção adotada será de 08-20-20. Na Tabela 5, especifica-se quais as fontes adotadas neste estudo, a proporção de cada nutriente presente em cada uma delas e a quantidade de matéria prima necessária para fabricar uma tonelada do produto final NPK nas proporções 08-20-20.

Tabela 5 – Teor de nutriente na matéria-prima e quantidade para produzir uma tonelada de produto final

<b>Fertilizante básico</b>	<b>Tipo</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Teor (%)</b>	<b>Quilos por ton NPK (08-20-20)</b>
Ureia	Nitrogenado	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	45% N	177.8
Superfosfato triplo	Fosfatado	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	44% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 14% Ca	454.6
Cloreto de potássio	Potássico	KCl	58% K <sub>2</sub> O 45-48% Cl	344.6

Fonte: ALCARDE, 2007

### 6.1.3 Capacidade de portos

De acordo com o boletim de fertilizantes do Sistema de Informação de Frete (SIFRECA, 2018), os portos brasileiros mais utilizados na importação de matéria prima de fertilizantes são: o Porto de Paranaguá (PR), o Porto de Santos (SP), o Porto de Rio Grande (RS) e o Porto de São Francisco do Sul (SC). Na Tabela 6, são apresentadas as quantidades anuais de fertilizantes

básicos importados pelo Brasil em cada porto marítimo ou fluviomarítimo em um período de quatro anos. Foram destacadas as maiores quantidades recebidas em cada porto.

Tabela 6 – Quantidade total anual de fertilizantes minerais importados via marítima

<b>Porto - IRF - ALF</b>	<b>2018 (t)</b>	<b>2017 (t)</b>	<b>2016 (t)</b>	<b>2015 (t)</b>
Porto de Paranaguá - PR	<b>9.707.659</b>	9.232.593	8.659.853	6.583.272
Porto de Rio Grande -RS	<b>4.737.639</b>	4.378.516	4.088.366	3.610.638
Porto de Santos - SP	<b>4.646.046</b>	4.529.085	3.584.753	2.565.784
Porto de São F.co do Sul - SC	2.042.019	<b>2.380.870</b>	2.046.319	1.442.497
Porto de Vitória - ES	1.835.419	<b>2.071.849</b>	1.774.924	1.632.007
Porto do Itaquí - MA	<b>2.038.745</b>	1.747.266	1.325.941	1.481.415
Porto de Salvador - BA	<b>1.214.713</b>	1.173.218	197.307	54.877
Porto de Porto Alegre - RS	613.558	<b>862.572</b>	434.612	552.371
Porto de Belém - PA	<b>758.660</b>	0	0	0
Porto de Aratu - BA	0	25.991	377.643	<b>751.751</b>
Porto de Vila do Conde - PA	183.738	<b>639.324</b>	287.267	152.370
Porto de Santarém - PA	<b>476.843</b>	383.441	115.192	126.682
Porto de Manaus - AM	354.657	<b>458.612</b>	156.237	142.571
Porto de Barra dos Coqueiros - SE	164.724	122.705	<b>191.947</b>	145.831
Porto do Recife - PE	145.963	148.428	144.543	<b>190.177</b>
Porto de Maceió - AL	163.035	<b>188.286</b>	151.780	135.415
Porto de Imbituba - SC	112.084	117.205	<b>123.547</b>	87.172
Porto do Rio de Janeiro - RJ	73.047	72.553	<b>93.483</b>	54.863
Porto de Fortaleza - CE	26.400	20.858	12.330	<b>67.437</b>
Porto de Itajaí - SC	<b>31.009</b>	10.517	8.326	6.941
Porto de Pecém - CE	13.151	<b>18.407</b>	14.534	8.371
Porto de Suape - PE	8.971	5.178	<b>11.608</b>	6.897
Porto de Itaguaí - RJ	<b>9.158</b>	551	1.952	2.748
Porto de Natal - RN	182	202	<b>392</b>	0

FONTE: COMEX STAT (2018).

A particularidade do estado de Mato Grosso, em relação à importação do fertilizante, se dá em relação a sua posição central mais próxima ao Arco Norte, definido como a região acima de uma linha imaginária que cruza o território brasileiro no Paralelo 16° Sul. Assim, para determinar quais portos seriam considerados no modelo, como possíveis locais de entrada de matéria prima, foram verificadas as quantidades totais anuais de fertilizantes importados em cada porto brasileiro com destino ao estado de Mato Grosso. Os resultados dessa análise estão discriminados na Tabela 7.

Tabela 7 – Quantidade total anual de fertilizantes importada para o estado de Mato Grosso

<b>Porto - IRF - ALF</b>	<b>2018 (t)</b>	<b>2017 (t)</b>	<b>2016 (t)</b>	<b>2015 (t)</b>
Porto de Paranaguá - PR	1.913.142	2.325.588	2.612.789	1.743.019
Porto de Santos - SP	824.491	154.739	183.774	11.376
Porto de São F.co do Sul - SC	492.741	1.013.464	895.627	710.705
Porto de Vila do Conde/ Belém - PA	413.599	237.571	12.500	754
Porto de Santarém - PA	343.802	377.141	91.691	126.682
Porto de Manaus - AM	322.304	429.220	146.175	133.798
Porto do Itaqui - MA	150.455	174.622	141.296	119.440
Porto de Vitória - ES	99.617	62.455	76.600	24.819

Fonte: Comex Stat, 2019

Dessa forma, considera-se a realidade das operações de importação para o estado de Mato Grosso. Foram selecionados os Portos de Paranaguá (PR), Santos (SP), São Francisco do Sul (SC), Vila do Conde (PA), Santarém (PA) e Itaqui (MA). A capacidade portuária individual foi determinada pela quantidade máxima de fertilizante já importada no período de 2018 a 2015, desconsiderando a concorrência entre os outros estados do país.

#### 6.1.4 Capacidade de fábricas

Determinou-se quatro tamanhos de fábricas para o modelo: micro, pequeno, médio e grande. Na Tabela 8, evidencia-se que, para cada tamanho estão atrelados o valor do custo para instalação e o volume de produção anual.

Tabela 8 – Custo de instalação e capacidade das misturadoras

<b>Tamanho</b>	<b>Custo de instalação (mil R\$)</b>	<b>Capacidade anual (mil ton)</b>
Micro	23.000	130
Pequeno	48.000	300
Médio	60.000	600
Grande	91.000	1.500

Fonte: Dados da pesquisa

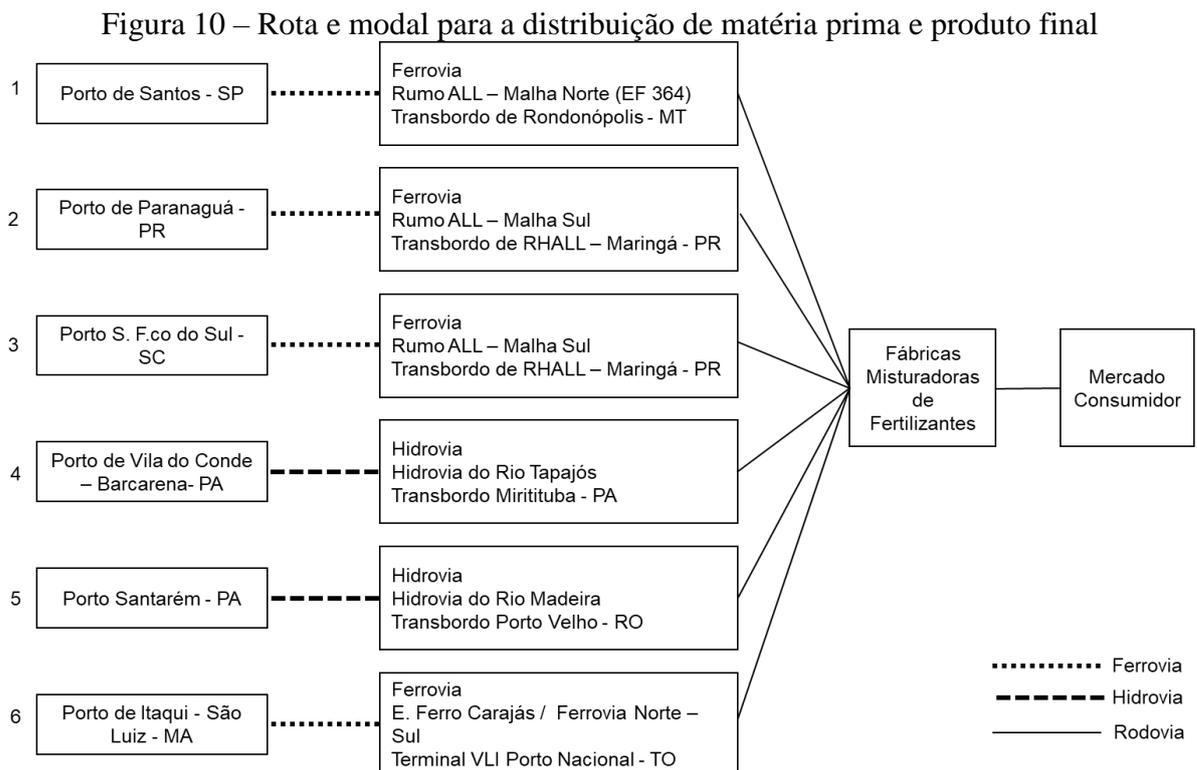
#### 6.1.5 Fluxos de transporte

Na atividade logística, os maiores custos são os referentes ao transporte. As empresas buscam desenvolver redes que reduzam o custo de escoamento a fim de garantir competitividade e diferencial no mercado. Cada modal apresenta uma estrutura de custo e características distintas, que determinam sua escolha, tais como tempo de percurso,

disponibilidade, capacidade, confiabilidade e frequência (NAZÁRIO, 2000). Assim, a escolha do modal dá-se pelo binômio custo e nível de serviço para o transporte do produto. O transporte intermodal, na movimentação de grandes volumes por longas distâncias, extrai o melhor de cada um dos modais disponíveis tornando-se uma opção mais econômica (CHANG, 2008).

Os fluxos de transporte iniciam-se nos portos selecionados. Para o transporte da matéria prima até as possíveis localizações de misturadoras, foram consideradas rotas intermodais: rodoferroviária e rodo-hidroviária (Apêndice D).

Para o cálculo do custo de transporte no primeiro modal (ferrovia ou hidrovia), considerou-se apenas o valor do frete conforme a distância percorrida. Logo, o modelo não explora as atividades de transbordo, carga, descarga ou armazenamento, nem os custos vinculados a estas operações. No transporte rodoviário, foram considerados o valor do frete de acordo com a quilometragem rodada e, também, o valor do pedágio da rota. A Figura 10 esquematiza as rotas e os modais adotados.



Fonte: Elaborado pelo autor

Agência Nacional dos Transportes Terrestres é a autarquia responsável regular, supervisionar e fiscalizar as atividades de prestação de serviços e de exploração da infraestrutura de transportes e administra 20 concessões de rodovias, totalizando aproximadamente 9.697 quilômetros de extensão (ANTT, 2019).

A cobrança dos pedágios fica a cargo das concessionárias e está vinculado à quantidade de eixos dos veículos. Deste modo, dada as características dos fertilizantes básicos, por se tratarem de insumos agrícolas transportados a granel em grandes volumes, estabeleceu-se que a matéria prima é transportada em caminhões de 9 eixos com capacidade máxima de 50 toneladas.

Não havendo sincronia entre os modais não haverá possibilidade para a eliminação de gargalos de infraestrutura, de ineficiências e de custos desnecessários. No estado de Mato Grosso, a única ferrovia diretamente conectada a um porto é a EF-364 operada pela Rumo Malha Norte S.A. Uma distância de 1.630 quilômetros interliga o terminal de transbordo de fertilizantes de Rondonópolis, operado pela JM Link, ao Porto de Santos.

Para conectar os outros portos brasileiros ao Mato Grosso, a intermodalidade se faz necessária. Para a entrada de fertilizantes pelos portos de Paranaguá – PR e São Francisco do Sul - SC, as cargas são enviadas até Maringá, onde encontra-se o terminal de transbordo da RHALL. Estas linhas ferroviárias são operadas pela Rumo Malha Sul S.A.

O Porto do Itaqui – MA tem conexão direta com a Estrada de Ferro Carajás (EF-315), operada pela Companhia Vale do Rio Doce até Açailândia – MA, distando 513 quilômetros. Para se aproximar do estado de Mato Grosso, é preciso conectar-se com a Ferrovia Norte-Sul (EF-151), operada pela VALEC - Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. até o Porto Nacional – TO e são mais 720 quilômetros.

O Porto de Santarém - PA localiza-se à margem direita do rio Tapajós a cerca de 3 quilômetros da confluência com o rio Amazonas. Para chegar a Porto Velho - RO, são duas hidrovias. Primeiro, pela hidrovia do Amazonas até Itacoatiara – AM e depois, a do Madeira. Estas hidrovias permitem a navegação de grandes comboios mesmo em períodos de estiagem (DNIT, 2018a).

O Porto de Vila do Conde - PA está a conectado ao Porto de Itaituba – PA, que fica no distrito de Miritituba - PA, por meio da hidrovia do rio Tapajós, a uma distância de 1.107 quilômetros (DNIT, 2018b). O terminal de transbordo de Miritituba iniciou sua operação em 2016 e foi concebido, inicialmente, para o escoamento de grãos. A operação de transbordo consiste na recepção de caminhões e carregamento em barcas realizada via sugador. Ao transportar os grãos entre Miritituba e Vila do Conde para exportação, os caminhões e embarcações, que voltariam pela mesma rota vazios, passam a transportar fertilizantes na prática do frete retorno.

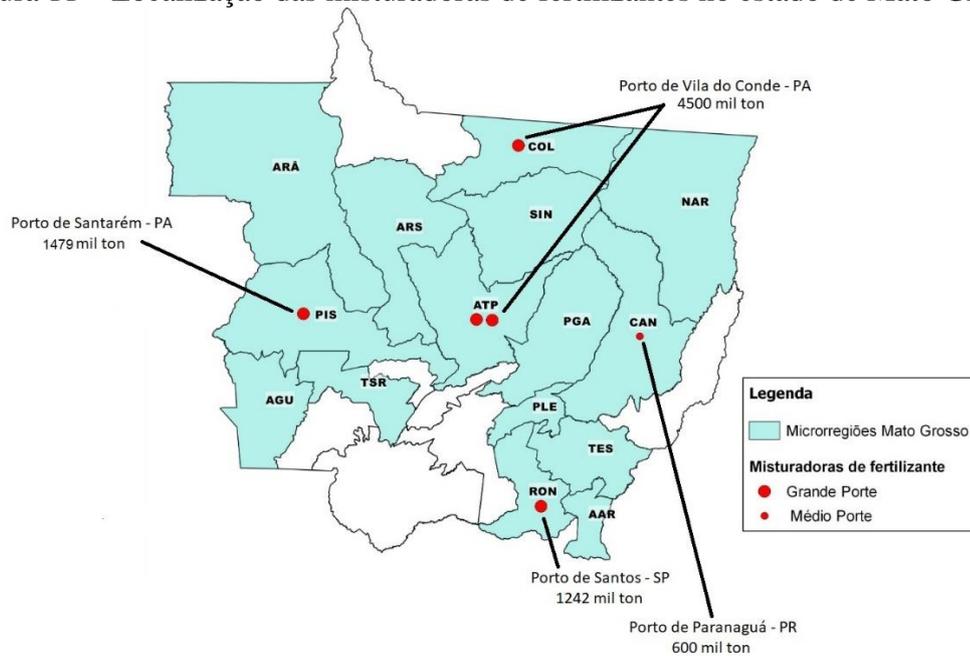
A distribuição do produto final NPK é realizada exclusivamente por rodovias. Para atender aos limites de peso bruto total e peso por eixo em cada rodovia, na satisfação da

demanda (clientes finais), os caminhões são de 7 eixos com capacidade total de 37 toneladas. Esta informação está vinculada aos valores dos pedágios cobrados por eixo. Assim, o custo total do transporte do produto final refere-se à soma do frete e do pedágio (Apêndice E).

## 6.2 Resultados

A presente Seção apresenta os resultados obtidos com o modelo matemático de programação inteira para o *design* da cadeia de suprimento de fertilizante no estado de Mato Grosso. Com a variável inteira, é possível determinar a quantidade e o tamanho das misturadoras instaladas em cada microrregião do estado. A Figura 11 ilustra o *design* da cadeia otimizado.

Figura 11 – Localização das misturadoras de fertilizantes no estado de Mato Grosso



Fonte: Resultados da pesquisa

A solução propõe instalar misturadoras de grande porte na maioria das regiões. Isto está relacionado ao objetivo do modelo, que é encontrar o menor custo entre o binômio transporte e custo de instalação. Como não há um limite orçamentário, e sim um limite imposto pela demanda, faz sentido a instalação de misturadoras de maior porte que ofereçam um menor custo por tonelada produzida, pois dessa maneira, conseguiriam suprir uma demanda com um valor total menor.

A microrregião de Alto Teles Pires é a que apresenta maior concentração de demanda de nutrientes e, por isso, serão instaladas duas misturadoras de grande porte. Vale lembrar que cada misturadora de grande porte tem uma capacidade produtiva máxima de um milhão e meio de toneladas ao ano. Para as microrregiões de Rondonópolis, Parecis e Colíder, o modelo aloca uma indústria de grande porte, já para Canarana, uma de médio porte.

A rede atual conta com uma quantidade maior de indústrias distribuídas no estado. No entanto, os grandes *players* do mercado de insumos agrícolas, com alta capacidade de produção e concentração do *market share*, possuem a maioria de suas unidades fabris instaladas nas áreas apontadas pela solução do modelo. Tanto a microrregião de Rondonópolis como a do Alto Araguaia tem um destaque maior. O posicionamento mais ao sul do estado está relacionado aos portos de entrada de matéria prima.

Como visto na Tabela 7, os portos do sul do país lideram os volumes de entrega de fertilizantes. Além disso, vinculado à ferrovia operada pela Rumo Malha Norte, o terminal de transbordo de Rondonópolis foi inaugurado em 2018, ao passo que o terminal do Alto Araguaia opera desde o ano de 2003.

Como os fluxos logísticos impactam diretamente nos agronegócios, os portos utilizados para atender à demanda podem direcionar a tomada de decisão para uma localização de instalação. Dessa maneira, respondendo à questão do *design* da cadeia, os portos que atendem cada uma das misturadoras estão, também, ilustrados na Figura 11.

Como a rede foi projetada para atender à demanda de fertilizante do estado, verificou-se que os portos definidos pela solução do modelo poderiam atender aos volumes necessários para a fabricação do NPK. São descritas na Tabela 9 as necessidades de matéria prima em cada porto para atender as demandas das fábricas misturadora as quais estão vinculadas.

Tabela 9 – Quantidade de matéria prima importada em cada porto

<b>Porto</b>	<b>Ureia (mil ton)</b>	<b>Superfosfato triplo (mil ton)</b>	<b>Cloreto de potássio (mil ton)</b>	<b>Total (mil ton)</b>
Porto de Vila do Conde	819	2093	1588	<b>4500</b>
Porto de Santarém	269	688	522	<b>1479</b>
Porto de Santos	226	578	438	<b>1242</b>
Porto de Paranaguá	109	279	212	<b>600</b>

Fonte: Resultados da pesquisa

Na construção do modelo, a capacidade máxima para recebimento de fertilizante nos portos foi determinada. Entretanto, ao alcançar uma solução ótima que atingisse os objetivos de minimização propostos, esse volume foi extrapolado em alguns portos. Por meio de uma

variável artificial inserida no modelo, verifica-se que, para alcançar uma cadeia de suprimentos otimizada, a infraestrutura portuária atual é deficiente.

Os portos da região Norte precisam de capacidade extra para atender à cadeia. Assim, a variável mensurou a deficiência em 1.002.454 (um milhão duas mil quatrocentas e cinquenta e quatro) toneladas no Porto de Santarém e em 3.860.676 (três milhões oitocentas e sessenta mil seiscentas e setenta e seis) toneladas no Porto de Vila do Conde. Isso significa que o fertilizante será entregue ao mercado de forma mais onerosa caso não ocorram investimentos para incremento da infraestrutura.

Em um estudo que discutiu o impacto de investimentos na infraestrutura portuária brasileira, ficou demonstrado que os portos no Arco Norte desenvolvem novos mercados, uma vez que estão associados à expansão da fronteira agrícola, principalmente, no norte do estado de Mato Grosso. Neste estudo de suporte a tomada de decisões em nível tático, o resultado aponta que a contrapartida aos investimentos efetuados na infraestrutura é uma economia de US \$ 845 milhões na logística nacional de fertilizantes durante o período de 2017 a 2025 (SIMÕES; CAIXETA FILHO; PALEKAR, 2018).

A Figura 12 exhibe os corredores logísticos conectados ao estado de Mato Grosso e evidencia vários gargalos e desafios a serem superados. O desbalanceamento da matriz logística que privilegia o modal rodoviário em detrimento de outros energeticamente mais eficientes como o ferroviário e hidroviário, gera um desperdício logístico de aproximadamente 5% do PIB brasileiro (CNT, 2017).

O fertilizante que chega ao Porto de Vila do Conde segue via barcaça até o terminal de Miritituba. Um único comboio composto por 20 barcaças é capaz de transportar 40 mil toneladas, substituindo mais de mil caminhões, proporcionando redução de emissões de CO<sub>2</sub> pela adoção de um modal menos poluente e mais econômico.

A rota rodoviária com destino ao Mato Grosso segue pela BR 163 e conforme o mapa da Figura 12, encontra-se parcialmente não pavimentada. Em 30 maio de 2019, com o Despacho nº 28, o Ministério da Infraestrutura aprovou estudos técnicos para concessão de 970,2 quilômetros desta rodovia à iniciativa privada, no trecho que liga Sinop –MT a Miritituba – PA. A rodovia com condições perenes de trafegabilidade para os produtos e insumos agrícolas reduz custos e tempo de viagem.

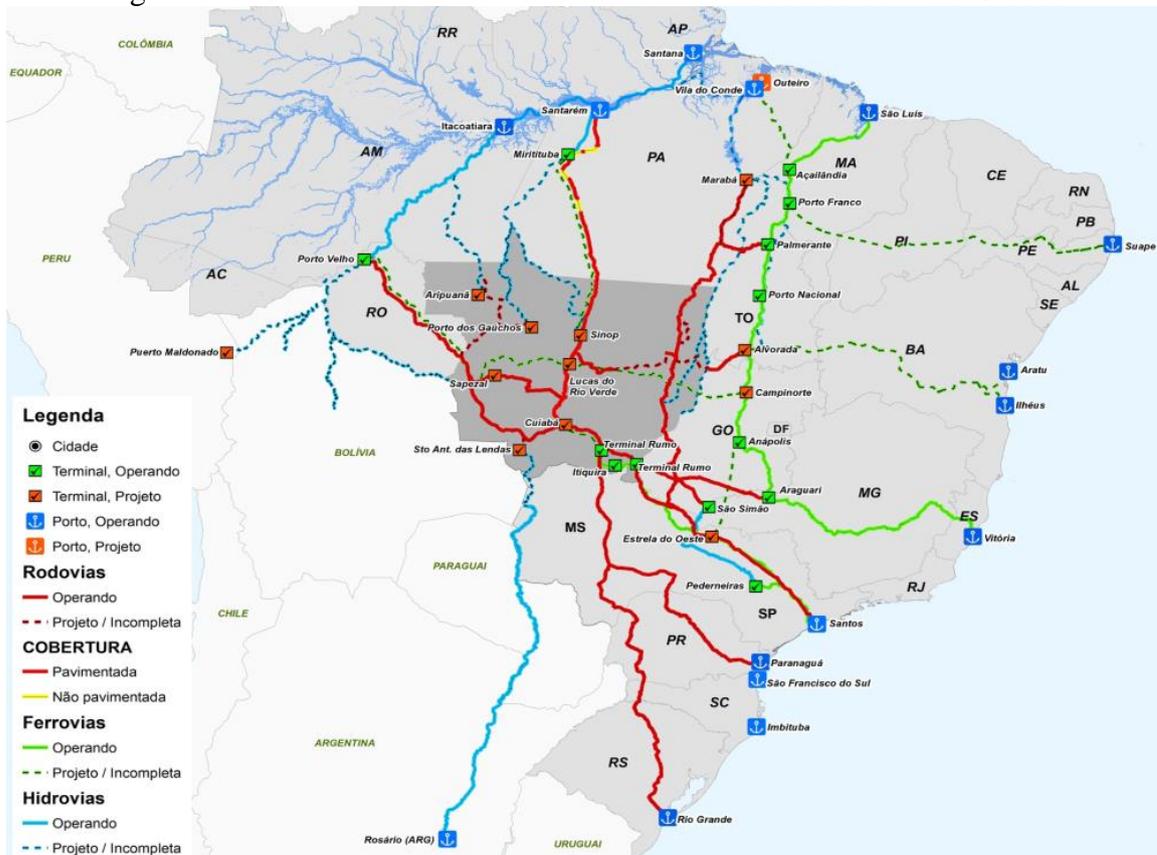
Outro projeto para este mesmo trecho de Sinop a Miritituba é a concessão da Ferrovia EF-170, também conhecida como Ferrogrão. Nos estudos de viabilidade apresentados pela Estação da Luz Participações, a ferrovia terá capacidade para transportar 58 milhões de toneladas/ano de fertilizantes, soja, milho e combustíveis. Com esta nova possibilidade da

integração entre hidrovia e ferrovia, a entrada do fertilizante passa a contar com um menor custo logístico. Cabe salientar que o modelo desenvolvido para a otimização da cadeia de fertilizantes permite a inclusão desta nova rota e a avaliação dos reais impactos em toda a cadeia de suprimento, bastando que seja conhecido o custo de transporte envolvido.

Alterando o domínio dos fluxos para o norte do país, além de reduzir os custos dos insumos agrícolas, tanto para as misturadoras de fertilizante quanto para o produtor rural, beneficia-se, também, todo o setor produtivo, reduzindo a pressão sobre rodovias e sobre os portos do Sul e Sudeste. Ou seja, reduz-se o congestionamento dos portos e dos encargos decorrentes, como, por exemplo, a *demurrage*, que é uma multa a ser paga, por dia ou pró-rata, pelo afretador ao transportador, pelo tempo utilizado além daquele estipulado para embarque ou descarga do navio.

Além disso, dentre os portos brasileiros, o Porto de Vila do Conde, situado a uma distância menor da Europa e América do Norte, local de origem dos fertilizantes importados, permite uma economia adicional com frete marítimo.

Figura 12 – Corredores multimodais conectados ao estado de Mato Grosso



Fonte: IMEA, 2019

Na Tabela 10 tem-se as quantidades totais de ureia, de superfosfato triplo e de cloreto de potássio destinadas às fábricas misturadoras que formam a rede de *supply chain*. Dessa forma, não se trata de demanda de nutriente na microrregião em si, pois este material entregue nas microrregiões de Alto Teles Pires, Canarana, Colíder, Parecis e Rondonópolis é a base para a produção de todo o NPK distribuído para o estado. As quantidades totais entregues estão relacionadas com a quantidade e a capacidade de fábricas instaladas na microrregião.

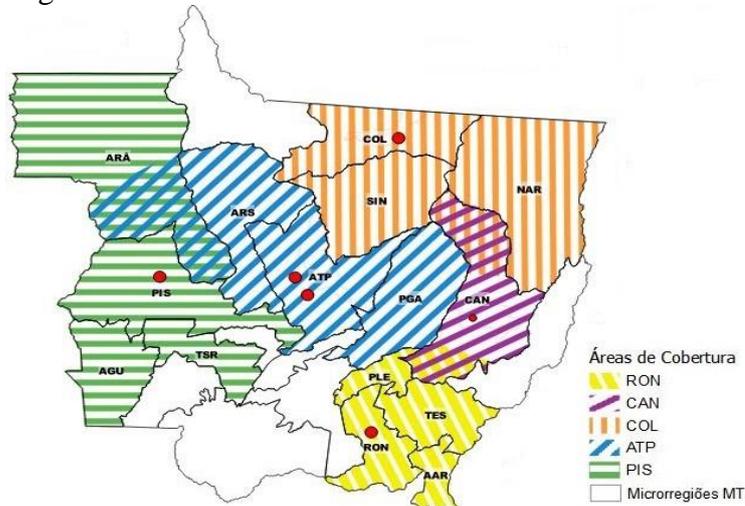
Tabela 10 – Matéria prima entregue para atender à necessidade das misturadoras

Microrregião	Ureia (mil ton)	Superfosfato triplo (mil ton)	Cloreto de potássio (mil ton)	Total (mil ton)
<b>Total</b>	<b>1423</b>	<b>3638</b>	<b>2760</b>	<b>7821</b>
Alto Teles Pires	546	1396	1059	3000
Canarana	109	279	212	600
Colíder	273	698	529	1500
Parecis	269	688	522	1479
Rondonópolis	226	578	438	1242

Fonte: Resultados da pesquisa.

Como é parte do objetivo do modelo reduzir o custo de instalação, não foram estabelecidas fábricas em todas as microrregiões que apresentaram demanda por fertilizantes. Portanto, as misturadoras instaladas são responsáveis por satisfazer à demanda da própria microrregião e de outras áreas também. Na figura 13, estão representadas as áreas de cobertura de cada misturadora. A área de cobertura de cada microrregião é determinada pelo custo de transporte para a distribuição do produto final. E, assim, assegura-se, mais uma vez, a dupla redução de custos, considerando instalação e transporte.

Figura 13 – Atendimento da demanda de NPK otimizada



Fonte: Dados da pesquisa

O detalhamento quantitativo dos fluxos de distribuição do produto final (NPK 08-20-20) no estado é apresentado na Tabela 11. Na microrregião de Canarana, o modelo alocou uma indústria de porte médio com 614 mil toneladas/ano. No entanto, a sua demanda por fertilizante é superior e totaliza 824 mil toneladas/ano. Para respeitar as restrições do modelo que garantem a atendimento da demanda e mantém em equilíbrio na capacidade produtiva de cada indústria misturadora, outras duas misturadoras diferentes, uma em Rondonópolis e outra em Colíder, complementam essa necessidade.

Aripuanã também recebe fluxos de produto final de duas fábricas misturadoras diferentes, a de Alto Teles Pires e a de Parecis. Essas duas são as microrregiões de maior necessidade de NPK a serem atendidas. Em contrapartida, Alto Guaporé apresenta a menor necessidade anual com 54 mil toneladas.

Tabela 11 – Distribuição do NPK formulado para atendimento da demanda

Misturadora de Fertilizantes /Destino	Canarana	Alto Araguaia	Primavera do Leste	Rondonópolis	Tesouro	Colíder	Norte Araguaia	Sinop	Alto Teles Pires	Ariños	Paranatinga	Aripuanã	Parecis	Tangará da Serra	Alto Guaporé	Total (em mil ton)
Canarana	614															<b>614</b>
Rondonópolis	61	149	448	400	212											<b>1271</b>
Colíder	149					153	527	707								<b>1535</b>
Alto Teles Pires									2135	549	328	59				<b>3070</b>
Parecis												137	1251	71	54	<b>1514</b>
<b>Total (em mil ton)</b>	<b>824</b>	<b>149</b>	<b>448</b>	<b>400</b>	<b>212</b>	<b>153</b>	<b>527</b>	<b>707</b>	<b>2135</b>	<b>549</b>	<b>328</b>	<b>196</b>	<b>1251</b>	<b>71</b>	<b>54</b>	<b>8004</b>

Fonte: Resultados da pesquisa

São descritos na Tabela 12 os custos totais envolvidos no *design* da cadeia, como resultado final da função objetivo. Assim, o valor total da função objetivo é dado pela soma das contribuições individuais de cada variável de decisão. Os maiores impactos estão no custo de transporte da matéria prima. Embora envolva modais com um menor custo de tonelada por quilometro percorrido, o posicionamento geográfico do estado no território nacional gera altos custos vinculados às longas distâncias até os portos. As dimensões do território brasileiro que geram vantagem na produção agrícola e corroboram com o sucesso do agronegócio, proporcionalmente, trazem a desvantagem na logística de movimentação das cargas.

Tabela 12 – Valor total e das parcelas da função objetivo

<b>Custo</b>	<b>Valor (milhões de R\$)</b>
<b>Total da Cadeia</b>	<b>2170</b>
Transporte de Matéria Prima	1490
Transporte do Produto Final	164
Instalação	515

Fonte: Dados da pesquisa.

O custo de instalação das misturadoras de fertilizante é o segundo item de maior influência na rede. Com indústrias de alta capacidade de produção, é possível minimizar o custo por tonelada e como o custo de deslocamento é dependente da distância, a distribuição interna do produto final no estado é bem menor. Dessa forma, o custo total para atendimento da demanda de 8 milhões de toneladas do NPK é de 2,17 bilhões de reais.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, o planejamento estratégico da cadeia de suprimentos de fertilizantes foi discutido e a otimização da localização das instalações e dos custos transporte de matéria prima e produto final foi investigada. O modelo de otimização indicou quantas fábricas misturadoras instalar e a localização de cada uma delas e as respectivas capacidades, os fluxos de transporte, fornecendo as quantidades de produtos transportados em cada origem e destino, captando as características dos problemas do mundo real, particularmente em relação à deficiência de estrutura portuária.

A aplicabilidade do modelo foi demonstrada no estudo de caso da otimização da cadeia de suprimento de fertilizantes no estado de Mato Grosso. O modelo proposto mostrou-se uma ferramenta factível e escalável, podendo ser aplicado a outros estados e, potencialmente, para o país. Também permite a escolha de diferentes culturas, matérias primas ou fatores de conversão com pequenas adaptações.

A descrição geral do problema e a formulação do modelo apresentados neste trabalho fornecem um panorama que pode apoiar os tomadores de decisão da agroindústria para identificar oportunidades para o *design* de cadeias de suprimento. Assim, podem auxiliar a tomada de decisão dos agentes públicos e privados envolvidos em políticas de planejamento e avaliação de investimentos e gerar benefícios à infraestrutura logística do país.

Como limitação do estudo tem-se a variabilidade na qualidade do solo, que influencia diretamente a quantidade de fertilizante utilizada, as diferentes matérias primas e composições de fertilizantes disponíveis.

Sugestões para futuras pesquisas seriam agregar ao modelo, as análises táticas e, assim, considerar os impactos da sazonalidade das culturas agrícolas e o *timing* de adubação sobre toda a cadeia. Quanto ao custo do transporte, seria possível incluir os custos de transbordo, perdas e analisar a economia de escala gerada pelo volume das cargas.

## REFERÊNCIAS

- ABISOLO – Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. **Manuseio e transporte do fertilizante**, 2015. Disponível em: <https://abisolo.com.br/2015/08/31/manuseio-e-transporte-do-fertilizante/>. Acesso em: 15 fev. 2019
- AKKERMAN, R.; FARAHANI, P.; GRUNOW, M. Quality, safety and sustainability in food distribution: a review of quantitative operations management approaches and challenges. **OR Spectrum**, v. 32, n. 4, p. 863-904, 2010.
- ALLAOUI, H. *et al.* Sustainable agro-food supply chain design using two-stage hybrid multi-objective decision-making approach. **Computers and Operations Research**, v. 89, p. 369-384, 2018.
- ALMEIDA, M.S.; AMARAL, M.; MORABITO, R. Um estudo sobre localização de terminais intermodais na rede de escoamento da soja brasileira. **Production**, v. 23, n.3, p. 562-580, 2016.
- ALIZADEH, M. Facility location in supply chain *In*: FARAHANI, R. Z.; HEKMATFAR, M. (ed.). **Facility location: concepts, models, algorithms and case studies**, Contributions to Management Science. Heidelberg: Physica-Verlag, 2009, cap. 20, p. 473- 504.
- ALVES, E.; CONTINI, E.; HAINZELIN, E. Transformações da agricultura brasileira e pesquisa agropecuária. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 1, p. 37-51, 2005.
- ALCARDE, J.C. Fertilizantes *In*: NOVAIS, R.F. *et al.* (ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap. 9, p. 738-745, 2007.
- AN, K.; OUYANG, Y. Robust grain supply chain design considering post-harvest loss and harvest timing equilibrium. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 88, p. 110-128, 2016.
- ANDA – Associação Nacional para a Difusão de Adubos. **Principais Indicadores do setor de Fertilizantes**, 2018. Disponível em: <http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por> . Acesso em: 27 ago. 2018.
- ANDA – Associação Nacional para a Difusão de Adubos. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2017**. São Paulo: ANDA, 2018.
- ANDA – Associação Nacional para a Difusão de Adubos. **Pesquisa setorial**. Dados 2019, 2019. Disponível em: <http://anda.org.br/estatisticas/> . Acesso em: 16 jun. 2019.
- ANTF – Associação Nacional do Transportadores Ferroviários. **Mapa ferroviário**, 2018. Disponível em: <http://www.antf.org.br/mapa-ferroviario/>. Acesso em: 1 out. 2018.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Concessões ferroviárias**, 2018. Disponível em: [http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Concessoes\\_Ferroviarias.html](http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Concessoes_Ferroviarias.html). Acesso em: 15 maio 2019.

- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Concessões rodoviárias**, 2019. Disponível em: [http://www.antt.gov.br/rodovias/Concessoes\\_Rodoviaras/Index.html](http://www.antt.gov.br/rodovias/Concessoes_Rodoviaras/Index.html). Acesso em: 15 maio 2019.
- BALAMAN, Ş. Y.; SELIM, H. A decision model for cost effective design of biomass based green energy supply chains. **Bioresource Technology**, v. 191, p. 97-109, 2015.
- BALINSKI, M. Integer programming: methods, uses, computation. **Management Science**, v. 12, n. 3, p. 253-313, 1965.
- BALLOU, R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimento. Logística empresarial**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BEHZADI, G. *et al.* Robust and resilient strategies for managing supply disruptions in an agribusiness supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 191, p. 207-220, 2017.
- BERTRAND, J. W .M; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Production Management**, v. 22, n 2, p. 241-264, 2005.
- BLACKBURN, J.; SCUDDER, G. Supply chain strategies for perishable products: the case of fresh produce. **Production and Operations Management**, v. 18, n. 2, p. 129-137, 2009.
- BORTOLINI, M. *et al.* Bi-objective design of fresh food supply chain networks with reusable and disposable packaging containers. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 375-388, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 projeções de longo prazo**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Brasília: MAPA/ACE, 2018. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/banner\\_site-03-03-1.png/view](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/banner_site-03-03-1.png/view). Acesso em: 15 maio 2019
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agropecuária Brasileira em Números**. Brasília: MAPA, 2019. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- BRASIL, Ministério da Economia. Secretaria da Receita Federal do Brasil. **Instrução normativa rfb n 1788**. Brasília: Ministério da Economia, 08 fev. 2018. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?idAto=90029&visao=original>. Acesso em: 16 fev. 2019
- BULHÕES, R., CAIXETA FILHO, J. V. Análise da distribuição logística da soja na região Centro-Sul do Brasil através de um modelo de equilíbrio espacial. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 8, n. 15, p. 11-23, 2000.
- CAIXETA FILHO, J. V. **Pesquisa operacional: técnicas de otimização aplicada a sistemas agroindustriais** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

- CANTARUTTI, R. B. *et al.* Avaliação da fertilidade e do solo e recomendações de fertilizantes. *In: NOVAIS, R.F. et al. (ed) Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap. 13, p. 769- 850.
- CARDUCCI, C. E. *et al* Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a Equação Duplo Van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 77-86, 2011.
- CHANG, T. Best routes selection in international intermodal networks. **Computers & Operations Research**, v.35, n.9, p. 2877-2891, 2008.
- CHÁVEZ, M. M. M.; SARACHE, W.; COSTA, Y. Towards a comprehensive model of a biofuel supply chain optimization from coffee crop residues. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 116, p. 136-162, 2018.
- CHERAGHALIPOUR, A.; PAYDAR, M. M.; HAJIAGHAEI-KESHTELI, M. Designing and solving a bi-level model for rice supply chain using the evolutionary algorithms. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 651-668, 2019.
- COELHO, A.M. Agricultura de precisão: manejo e variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. **Agricultura**, v. 1518, n 4277, 2005.
- COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica 78). Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/busca-de-publicacoes/-/publicacao/490410/nutricao-e-adubacao-do-milho>. Acesso em 15 fev. 2019
- COMEX STAT Ministério da indústria, comércio exterior e serviços. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 29 set. 2018.
- COSTA, L. M.; SILVA, M.F.O. A indústria química e o setor de fertilizantes. **BNDES 60 anos – Perspectivas Setoriais**. Rio de Janeiro: BNDES, 2012
- CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Anuário CNT do transporte – Estatísticas consolidadas – 2017**, 2017. Disponível em: <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2017/#>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- CRUZ, A.C.; PEREIRA, F. S.; FIGUEIREDO, V.S. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. *Industria química*. **BNDS Setorial**, v. 45, p. 137-187, 2017.
- DASKIN, M.S.; SNYDER, L.V.; BERGER, R. T. Facility location in supply chain design. *In: Logistics systems: design and optimization*. New York: Springer, 2005. p. 39-65.
- DE KEIZER, M. *et al.* Logistics network design for perishable products with heterogeneous quality decay. **European Journal of Operational Research**, v. 262, n. 2, p. 535-549, 2017.
- DE MEYER, A.; CATTRYSSE, D.; VAN ORSHOVEN, J. A generic mathematical model to optimise strategic and tactical decisions in biomass-based supply chains (OPTIMASS). **European Journal of Operational Research**, v. 245, n. 1, p. 247-264, 2015.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Hidrovia do Madeira**, 2018a. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/modais-2/aquaviario/hidrovia-do-madeira>. Acesso em: 25 mar. 2019

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Hidrovia do Tapajós-Teles Pires**, 2018b. Disponível em: <https://www.dnit.gov.br/modais-2/aquaviario/hidrovia-do-tapajos-teles-pires>. Acesso em 25 mar. 2019

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, 2006.

DUBKE, A. F.; PIZZOLATO, D. Location model of specialized terminals for soybean exports in Brazil. **Pesquisa Operacional**, v. 31, n. 1, p. 21-40, 2011.

FERREIRA, G.B.; CARVALHO, M.C.S. **Adubação do Algodoeiro no Cerrado**: com resultados de pesquisa em Goiás e Bahia. Campina Grande: Embrapa Algodão (Documentos, 138), 2005. Disponível em : <https://www.embrapa.br/algodao/busca-de-publicacoes/-/publicacao/278345/adubacao-do-algodoeiro-no-cerrado-com-resultados-de-pesquisa-em-goias-e-bahia>. Acesso em: 15 fev. 2019

EMBRAPA SOJA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil**. Londrina: EMBRAPA-SOJA/ Fundação MT, 2000. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/449645/1/doc146.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019

ESCALANTE, H. *et al.* Spatial decision support system to evaluate crop residue energy potential by anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 80-90, 2016.

ESSIEN, E.; DZISI, K. A.; ADDO, A. Decision support system for designing sustainable multi-stakeholder networks of grain storage facilities in developing countries. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 147, p. 126-130, 2018.

ETEMADNIA, H. *et al.* Optimal wholesale facilities location within the fruit and vegetables supply chain with bimodal transportation options: an LP-MIP heuristic approach. **European Journal of Operational Research**, v. 244, n. 2, p. 648-661, 2015.

FARAHANI, R. Z. *et al.* Location-inventory problem in supply chains: a modelling review. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 12, p. 3769-3788, 2015.

FATTAHI, M.; GOVINDAN, K. A multi-stage stochastic program for the sustainable design of biofuel supply chain networks under biomass supply uncertainty and disruption risk: a real-life case study. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 118, p. 534-567, 2018.

GARCÍA-FLORES, R. *et al.* Optimal location of spelling yards for the northern Australian beef supply chain. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 102, p. 134-145, 2014.

GARCÍA-FLORES, R. *et al.* A novel facility and equipment selection model for whey utilisation: a Brazilian case study. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 117, p. 127-140, 2015.

GE, H. *et al.* Optimal locations of fresh produce aggregation facilities in the United States with scale economies. **International Journal of Production Economics**, v. 197, p. 143-157, 2018.

GHADERI, H.; MOINI, A.; PISHVAEE, M. S. A multi-objective robust possibilistic programming approach to sustainable switchgrass-based bioethanol supply chain network design. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 368-406, 2018.

GHOLAMIAN, M. R.; TAGHANZADEH, A. H. Integrated network design of wheat supply chain: a real case of Iran. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 140, p. 139-147, 2017.

GREGOLIN, J. A. R. *et al.* Análise da produção científica a partir de indicadores bibliométricos. In: LANDI, F. R. (coord.). Indicadores de ciência, tecnologia e inovação em São Paulo, 2004. São Paulo: FAPESP, 2005. cap. 5.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas **Panorama**, 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/panorama> Acesso em: 3 ago. 2018

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e estatísticas. **Censo agropecuário 2017**, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 15 fev. 2019

IMEA, Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. **Apresentação MT Agronegócio no Brasil e em Mato Grosso**. Cuiabá, 2018. Disponível em: <http://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado> Acesso em: 03 mar. 2019

IMEA, Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. **Estudos customizados**. Cuiabá, 2019. <http://www.imea.com.br/imea-site/estudos-customizados> Acesso em: 03 mar. 2019

ITC, International Trade Centre. **Trade Map, Trade statistics for international business development**, 2018. Disponível em: <https://www.trademap.org>. Acesso em: 4 jun. 2019

JAYARAMAN, V. Transportation, facility location and inventory issues in distribution network design. **International Journal of Operations & Production Management**, vol. 18 n.5, p. 471-494, 1998

JONKMAN, J.; BARBOSA-PÓVOA, A. P.; BLOEMHOF, J. M. Integrating harvesting decisions in the design of agro-food supply chains. **European Journal of Operational Research**, v. 276, n. 1, p. 247-258, 2019.

JOUZDANI, J.; SADJADI, S. J.; FATHIAN, M. Dynamic dairy facility location and supply chain planning under traffic congestion and demand uncertainty: a case study of Tehran. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, n. 18-19, p. 8467-8483, 2013.

KCHAOU BOUJELBEN, M.; BOULAKSIL, Y. Modeling international facility location under uncertainty: a review, analysis, and insights. **IISE Transactions**, v. 50, n. 6, p. 535-551, 2018

LOPES, A. S.; GUILHERME, L.A.G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: Aspectos agrônômicos**. 3 ed. São Paulo: ANDA, 2000. 72p

- MALINGREAU, J.P.; EVA, H.; MAGGIO, A. NPK: Will there be enough plant nutrients to feed a world of 9 billion in 2050? **Foresight and Horizon Scanning Series. JRC 70936, Joint Research Centre of the European Commission**, 2012.
- MENDES, I.C. *et al.* Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n.8, p. 1053-1060, 2008
- MIRANDA-ACKERMAN, M. A.; AZZARO-PANTEL, C. Extending the scope of eco-labelling in the food industry to drive change beyond sustainable agriculture practices. **Journal of Environmental Management**, v. 204, p. 814-824, 2017.
- MITROFF, I.I.; BETZ, F.; PONDY, L.R.; SAGASTI, F. On managing science in the system age: two schemas for study of science as a whole system phenomenon. **Interfaces**, v. 4, n. 3, p. 46-58.1974.
- MOHAMMED, A.; WANG, Q. The fuzzy multi-objective distribution planner for a green meat supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 184, p. 47-58, 2017.
- MORABITO, R.; PUREZA, V. M. Modelagem e Simulação. *In*: CAUCHICK-MIGUEL, P. A. (coord.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 3. ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2018, cap. 8, p. 167-196.
- NAZÁRIO, P. Administração do Transporte. *In*: FLEURY, P.F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. (org.). **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000
- NEUNGMATCHA, W. *et al.* Adaptive genetic algorithm for solving sugarcane loading stations with multi-facility services problem. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 98, p. 85-99, 2013.
- ORJUELA-CASTRO, J. A.; SANABRIA-CORONADO, L. A.; PERALTA-LOZANO, A. M. Coupling facility location models in the supply chain of perishable fruits. **Research in Transportation Business and Management**, v. 24, p. 73-80, 2017.
- PARANÁ, Secretaria de Infraestrutura e Logística. Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina – APPA. **Estatísticas 2018**. <http://www.portosdoparana.pr.gov.br/>
- PERES, J.R.R. *et al.* Eficiência e competitividade de estirpes de rizóbio para a soja em solos de Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 357-363, 1993.
- QUDDUS, M. A. *et al.* A two-stage chance-constrained stochastic programming model for a bio-fuel supply chain network. **International Journal of Production Economics**, v. 195, p. 27-44, 2018.
- RENTIZELAS, A.; SHPAKOVA, A.; MAŠEK, O. Designing an optimised supply network for sustainable conversion of waste agricultural plastics into higher value products. **Journal of Cleaner Production**, v. 189, p. 683-700, 2018.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. v. 2. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008.

SAAB, A. A., PAULA, R. A. O mercado de fertilizantes no Brasil. Diagnósticos e propostas de políticas. **Revista de Política Agrícola**, ano 17, n. 2, 2008

SHARMA, R. R. K. Modelling a fertiliser distribution system. **European Journal of Operational Research**, v. 51, n. 1, p. 24-34, 1991.

SALIMI, F.; VAHDANI, B. Designing a bio-fuel network considering links reliability and risk-pooling effect in bio-refineries. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 174, p. 96-107, 2018.

SIFRECA – Sistema de informação de Frete /ELSAQ LOG, 2018. Disponível em: <https://sifreca.esalq.usp.br/fertilizantes>. Acesso em: 29 set. 2018.

SIMÕES, D. C.; CAIXETA FILHO, J. V.; PALEKAR, U. S. Fertilizer distribution flows and logistic costs in Brazil: changes and benefits arising from investments in port terminals. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 21, n. 3, p. 407-422, 2018.

STIGLER, G. J. The cost of subsistence. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 27, n. 2, p. 303-314, 1945.

TABRIZI, S.; GHODSYPOUR, S. H.; AHMADI, A. Modelling three-echelon warm-water fish supply chain: a bi-level optimization approach under Nash-Cournot equilibrium. **Applied Soft Computing Journal**, v. 71, p. 1035-1053, 2018.

VACCHIANO, M. C. *et al.* Do data support claims that Brazil leads the world in environmental preservation? **Environmental Conservation**, v. 46, n. 2, p. 118-120, 2019.

VARGAS, M.A.T.; PERES, J.R.R.; SUHET, A.R. Adubação nitrogenada, inoculação e épocas de calagem para a soja em um solo sob Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 17, p. 1127-1132, 1982.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil: inovação e competitividade**. Brasília: Instituto de Pesquisa Economia Aplicada - IPEA, 2017. 305 p.

WASSICK, J. M. Enterprise-wide optimization in an integrated chemical complex. **Computers and Chemical Engineering**, v. 33, n. 12, p. 1950-1963, 2009.

YU, J. *et al.* Multi-objective models and real case study for dual-channel FAP supply chain network design with fuzzy information. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 29, n. 2, p. 389-403, 2018.

**APÊNDICE A – ÁREA DE LAVOURA TEMPORÁRIA NO ESTADO DE MATO GROSSO  
NO ANO DE 2017**

<b>Produtos</b>	<b>Area Colhida (ha)</b>	<b>(%)</b>
Total	14.651.116	100.0%
Soja	8.709.800	59.4%
Milho	4.806.578	32.8%
Algodão	530.033	3.6%
Cana de açúcar	193.112	1.3%
Arroz	127.628	0.9%
Feijão fradinho	124.196	0.8%
Feijão de cor	45.900	0.3%
Outros produtos	34.196	0.2%
Mandioca	32.848	0.2%
Girassol (semente)	18.150	0.1%
Sorgo	9.213	0.1%
Gergelim (semente)	6.390	0.0%
Abóbora	5.395	0.0%
Melancia	2.387	0.0%
Abacaxi	1.456	0.0%
Feijão preto	1.395	0.0%
Feijão verde	1.376	0.0%
Sementes e outros produtos	789	0.0%
Amendoim em casca	98	0.0%
Melão	52	0.0%
Sementes de milho	49	0.0%
Tomate rasteiro (industrial)	43	0.0%
Batata inglesa	19	0.0%
Sorgo vassoura	7	0.0%
Cebola	6	0.0%
Alho	0	0.0%
Aveia branca	0	0.0%
Centeio	0	0.0%
Cevada em casca	0	0.0%
Colza (canola)	0	0.0%
Ervilha	0	0.0%
Fava	0	0.0%
Fumo em folha seca	0	0.0%
Juta (fibra)	0	0.0%
Linho (fibra)	0	0.0%
Malva (fibra)	0	0.0%
Mamona	0	0.0%
Rami (fibra)	0	0.0%
Sementes de algodão	0	0.0%
Sementes de arroz	0	0.0%
Sementes de batata inglesa	0	0.0%
Sementes de feijão	0	0.0%
Sementes de forrageiras	0	0.0%
Sementes de soja	0	0.0%
Sementes de trigo	0	0.0%
Toletes de cana	0	0.0%
Trigo	0	0.0%
Trigo preto	0	0.0%
Triticale	0	0.0%

Fonte: Censo Agropecuário, 2017

**APÊNDICE B – DISTÂNCIA INTERMODAL NO TRANSPORTE DA MATÉRIA PRIMA**

<b>Rota</b>	<b>Origem</b>	<b>Transbordo</b>	<b>Modal</b>	<b>Distância (km)</b>
1	Porto de Santos	Rondonópolis - MT	Ferroviário	1630
2	Porto de Paranaguá	Maringá - PR	Ferroviário	660
3	Porto de São F.co do Sul	Maringá - PR	Ferroviário	660
4	Porto de Vila do Conde	Miritituba - PA	Hidroviário	1107
5	Porto de Santarém	Porto Velho - RO	Hidroviário	1722
6	Porto do Itaquí	Porto Nacional - TO	Ferroviário	1233

<b>Transbordo / Destino (km)</b>	<b>Alto Araguaia</b>	<b>Alto Guaporé</b>	<b>Alto Teles Pires</b>	<b>Arinos</b>	<b>Aripuanã</b>	<b>Canarana</b>	<b>Colíder</b>	<b>Norte Araguaia</b>	<b>Paranatinga</b>	<b>Parecis</b>	<b>Primavera do Leste</b>	<b>Rondonópolis</b>	<b>Sinop</b>	<b>Tangará da Serra</b>	<b>Tesouro</b>
<b>Rondonópolis - MT</b>	206	660	614	604	951	632	898	1031	422	608	130	114	866	421	155
<b>Maringá - PR</b>	918	1708	1662	1653	1999	1300	1947	1698	1472	1657	1181	1052	1915	1469	1204
<b>Maringá - PR</b>	918	1708	1662	1653	1999	1300	1947	1698	1472	1657	1181	1052	1915	1469	1204
<b>Miritituba - PA</b>	1885	1903	1076	1322	1592	1495	788	1190	1313	1461	1698	1682	1089	1489	1844
<b>Porto Velho - RO</b>	1878	1019	1445	1315	944	2203	1729	2131	1553	1057	1701	1674	1697	1244	1829
<b>Porto Nacional - TO</b>	1183	1895	1842	1832	2188	765	1100	710	1501	1845	1210	1339	1401	1658	1189

Fonte: Google Maps, 2019

## APÊNDICE C – FERTILIZANTE BÁSICO IMPORTADO PELO ESTADO DE MATO GROSSO

Cód. SH4	Descrição SH4	Cód. NCM	Descrição NCM	2018 (ton)	2017 (ton)	2016 (ton)	2015 (ton)
3102	Azotados	31021010	Ureia, mesmo aquosa, com teor de N superior a 45 %, em peso, sobre o anidro seco	887.799	868.905	575.533	325.734
3102	Azotados	31022100	Sulfato de amônio	594.242	460.297	418.773	214.268
3102	Azotados	31024000	Misturas de nitrato de amônio com carbonato de cálcio ou com outras matérias inorgânicas	14.100	1.000	3.350	0
3102	Azotados	31029000	Outros fertilizantes nitrogenados, incluindo as misturas não mencionadas anteriormente	11.942	43.521	28.630	21.000
3102	Azotados	31026000	Sais duplos e misturas de nitrato de cálcio e nitrato de amônio	48	72	0	48
3103	Fosfatados	31031100	Superfosfatos, com teor de P2O5 em 35 % ou mais, em peso	84.589	71.144	0	0
3103	Fosfatados	31031900	Outros superfosfatos	149.240	121.927	0	0
3103	Fosfatados	31031010	Superfosfatos, com teor de P2O5 não superior a 22 %, em peso	0	22.000	166.399	85.700
3103	Fosfatados	31031030	Superfosfatos, com teor de P2O5 superior a 45 %, em peso	0	4.900	136.632	70.170
3103	Fosfatados	31031020	Superfosfatos, com teor de P2O5 superior a 22 % mas não superior a 45 %, em peso	0	0	0	21.499
3104	Potássicos	31042090	Outros cloretos de potássio	2.219.181	2.112.406	1.969.442	1.614.323
3104	Potássicos	31042010	Cloreto de potássio, com teor de K2O não superior a 60 %, em peso	6.915	162	0	0
3104	Potássicos	31049090	Outros fertilizantes potássicos	12.162	37.833	0	3.423
3105	Mistura de dois ou três elementos	31055900	Outros fertilizantes com nitrogênio e fósforo	404.463	583.132	482.967	262.002
3105	Mistura de dois ou três elementos	31054000	Fosfato monoamônico, mesmo misturado com fosfato diamônico	204.084	315.028	258.947	162.605
3105	Mistura de dois ou três elementos	31052000	Fertilizantes com nitrogênio, fósforo e potássio	62.241	126.969	114.633	78.326
3105	Mistura de dois ou três elementos	31059090	Outros fertilizantes com nitrogênio e potássio	1.447	3.364	3.107	2.805
3105	Mistura de dois ou três elementos	31055100	Fertilizantes que contenham nitratos e fosfatos	5.050	2.050	2.000	7.168
3105	Mistura de dois ou três elementos	31051000	Fertilizantes em tabletes, formas semelhantes ou embalagens inferiores 10 kg	285	233	40	20
3105	Mistura de dois ou três elementos	31059011	Nitrato de sódio potássico, com teor de N não superior a 15 % e K2O não superior a 15 %, em peso	447	126	0	0
3105	Mistura de dois ou três elementos	31056000	Fertilizantes com fósforo e potássio	4.234	0	0	0
3105	Mistura de dois ou três elementos	31053010	Fosfato diamônico, com teor de arsênio superior ou igual a 6 mg/kg	1.091	0	0	1.500

Fonte: Comex Stat, 2019

**APÊNDICE D – DISTÂNCIA E CUSTO TOTAL NO TRANSPORTE DA MATÉRIA PRIMA**

<b>Rota</b>	<b>Microregião</b>	<b>Distância</b>	<b>Custo Total</b>	<b>Rota</b>	<b>Microregião</b>	<b>Distância</b>	<b>Custo Total</b>
	<b>Destino</b>	<b>Total (Km)</b>	<b>(R\$/ton)</b>		<b>Destino</b>	<b>Total (Km)</b>	<b>(R\$/ton)</b>
1	Alto Araguaia	1836	201.52	4	Alto Araguaia	2992	288.56
	Alto Guaporé	2290	265.06		Alto Guaporé	3010	289.42
	Alto Teles Pires	2244	264.31		Alto Teles Pires	2183	189.58
	Arinos	2234	261.29		Arinos	2429	218.05
	Aripuanã	2581	300.06		Aripuanã	2699	253.97
	Canarana	2262	265.39		Canarana	2602	238.75
	Colíder	2528	295.66		Colíder	1895	149.96
	Norte Araguaia	2661	310.57		Norte Araguaia	2297	199.22
	Paranatinga	2052	237.81		Paranatinga	2420	217.95
	Parecis	2238	262.03		Parecis	2568	236.49
	Primavera do Leste	1760	193.13		Primavera do Leste	2805	262.60
	Rondonópolis	1744	188.36		Rondonópolis	2789	262.98
	Sinop	2496	291.40		Sinop	2196	190.05
	Tangará da Serra	2051	237.80		Tangará da Serra	2596	240.12
	Tesouro	1785	193.72		Tesouro	2951	281.00
2	Alto Araguaia	1578	184.44	5	Alto Araguaia	3600	319.02
	Alto Guaporé	2368	286.57		Alto Guaporé	2741	215.73
	Alto Teles Pires	2322	283.16		Alto Teles Pires	3167	268.15
	Arinos	2313	280.46		Arinos	3037	250.42
	Aripuanã	2659	324.22		Aripuanã	2666	205.74
	Canarana	1960	230.64		Canarana	3925	357.58
	Colíder	2607	320.33		Colíder	3451	300.00
	Norte Araguaia	2358	276.11		Norte Araguaia	3853	350.65
	Paranatinga	2132	262.98		Paranatinga	3275	282.37
	Parecis	2317	281.13		Parecis	2779	220.79
	Primavera do Leste	1841	225.26		Primavera do Leste	3423	294.33
	Rondonópolis	1712	209.09		Rondonópolis	3396	293.32
	Sinop	2575	316.30		Sinop	3419	295.96
	Tangará da Serra	2129	262.73		Tangará da Serra	2966	241.22
	Tesouro	1864	225.00		Tesouro	3551	312.85
3	Alto Araguaia	1578	184.44	6	Alto Araguaia	2416	303.32
	Alto Guaporé	2368	286.57		Alto Guaporé	3128	388.77
	Alto Teles Pires	2322	283.16		Alto Teles Pires	3075	384.49
	Arinos	2313	280.46		Arinos	3065	381.66
	Aripuanã	2659	324.22		Aripuanã	3421	425.69
	Canarana	1960	230.64		Canarana	1998	251.90
	Colíder	2607	320.33		Colíder	2333	296.52
	Norte Araguaia	2358	276.11		Norte Araguaia	1943	249.68
	Paranatinga	2132	262.98		Paranatinga	2734	344.53
	Parecis	2317	281.13		Parecis	3078	382.47
	Primavera do Leste	1841	225.26		Primavera do Leste	2443	306.82
	Rondonópolis	1712	209.09		Rondonópolis	2572	326.77
	Sinop	2575	316.30		Sinop	2634	331.57
	Tangará da Serra	2129	262.73		Tangará da Serra	2891	358.91
	Tesouro	1864	225.00		Tesouro	2422	304.09

Fonte: Dados da pesquisa, 2018

## APÊNDICE E – CUSTO DE DISTRIBUIÇÃO DO NPK ENTRE AS MICRORREGIÕES

(continua)

Origem	Destino	Distância (Km)	Frete (R\$)	Pedágio (R\$)	Custo Distribuição (R\$/ton)
Alto Araguaia	Alto Guaporé	862	4.465.16	93.10	123.20
Alto Araguaia	Alto Teles Pires	812	4.206.16	186.20	118.71
Alto Araguaia	Arinos	803	4.159.54	125.30	115.81
Alto Araguaia	Aripuanã	1.152	5.806.08	131.60	160.48
Alto Araguaia	Canarana	489	2.909.55	0.00	78.64
Alto Araguaia	Colider	1.096	5.677.28	235.20	159.80
Alto Araguaia	Norte Araguaia	887	4.594.66	0.00	124.18
Alto Araguaia	Paranatinga	627	3.555.09	126.00	99.49
Alto Araguaia	Parecis	810	4.195.80	131.60	116.96
Alto Araguaia	Primavera do Leste	335	1.993.25	126.00	57.28
Alto Araguaia	Rondonópolis	206	1.225.70	0.00	33.13
Alto Araguaia	Sinop	1.065	5.516.70	235.20	155.46
Alto Araguaia	Tangará da Serra	622	3.526.74	131.60	98.87
Alto Araguaia	Tesouro	189	1.124.55	0.00	30.39
Alto Guaporé	Alto Araguaia	862	4.465.16	93.10	123.20
Alto Guaporé	Alto Teles Pires	830	4.299.40	131.60	119.76
Alto Guaporé	Arinos	649	3.679.83	0.00	99.45
Alto Guaporé	Aripuanã	552	3.129.84	0.00	84.59
Alto Guaporé	Canarana	1.188	5.987.52	0.00	161.82
Alto Guaporé	Colider	1.115	5.619.60	180.60	156.76
Alto Guaporé	Norte Araguaia	1.586	7.993.44	0.00	216.04
Alto Guaporé	Paranatinga	977	5.060.86	0.00	136.78
Alto Guaporé	Parecis	392	2.332.40	0.00	63.04
Alto Guaporé	Primavera do Leste	685	3.740.10	0.00	101.08
Alto Guaporé	Rondonópolis	660	3.603.60	93.10	99.91
Alto Guaporé	Sinop	1.082	5.604.76	180.60	156.36
Alto Guaporé	Tangará da Serra	379	2.255.05	0.00	60.95
Alto Guaporé	Tesouro	814	4.216.52	93.10	116.48
Alto Teles Pires	Alto Araguaia	812	4.206.16	186.20	118.71
Alto Teles Pires	Alto Guaporé	830	4.299.40	131.60	119.76
Alto Teles Pires	Arinos	250	1.487.50	17.85	40.69
Alto Teles Pires	Aripuanã	521	2.954.07	53.90	81.30
Alto Teles Pires	Canarana	1.127	5.680.08	93.10	156.03
Alto Teles Pires	Colider	287	1.707.65	49.00	47.48
Alto Teles Pires	Norte Araguaia	689	3.761.94	49.00	103.00
Alto Teles Pires	Paranatinga	240	1.428.00	59.50	40.20
Alto Teles Pires	Parecis	389	2.314.55	34.30	63.48
Alto Teles Pires	Primavera do Leste	625	3.543.75	93.10	98.29
Alto Teles Pires	Rondonópolis	609	3.453.03	186.20	98.36
Alto Teles Pires	Sinop	255	1.517.25	49.00	42.33
Alto Teles Pires	Tangará da Serra	416	2.475.20	34.30	67.82
Alto Teles Pires	Tesouro	779	4.035.22	93.10	111.58

Fonte: Dados da pesquisa, 2018

## Custo de distribuição do NPK entre as microrregiões

(continuação)

<b>Origem</b>	<b>Destino</b>	<b>Distância (Km)</b>	<b>Frete (R\$)</b>	<b>Pedágio (R\$)</b>	<b>Custo Distribuição (R\$/ton)</b>
Arinos	Alto Araguaia	803	4.159.54	125.30	115.81
Arinos	Alto Guaporé	649	3.679.83	0.00	99.45
Arinos	Alto Teles Pires	250	1.487.50	17.85	40.69
Arinos	Aripuanã	356	2.118.20	0.00	57.25
Arinos	Canarana	1.118	5.634.72	32.20	153.16
Arinos	Colider	534	3.027.78	66.85	83.64
Arinos	Norte Araguaia	936	4.848.48	66.85	132.85
Arinos	Paranatinga	484	2.879.80	77.35	79.92
Arinos	Parecis	259	1.541.05	0.00	41.65
Arinos	Primavera do Leste	623	3.532.41	32.20	96.34
Arinos	Rondonópolis	604	3.424.68	125.30	95.95
Arinos	Sinop	502	2.846.34	66.85	78.73
Arinos	Tangará da Serra	345	2.052.75	0.00	55.48
Arinos	Tesouro	770	3.988.60	32.20	108.67
Aripuanã	Alto Araguaia	1.152	5.806.08	131.60	160.48
Aripuanã	Alto Guaporé	552	3.129.84	0.00	84.59
Aripuanã	Alto Teles Pires	521	2.954.07	53.90	81.30
Aripuanã	Arinos	356	2.118.20	0.00	57.25
Aripuanã	Canarana	1.475	7.434.00	0.00	200.92
Aripuanã	Colider	803	4.159.54	102.90	115.20
Aripuanã	Norte Araguaia	1.205	6.073.20	102.90	166.92
Aripuanã	Paranatinga	761	3.941.98	113.40	109.60
Aripuanã	Parecis	342	2.034.90	0.00	55.00
Aripuanã	Primavera do Leste	978	5.066.04	0.00	136.92
Aripuanã	Rondonópolis	951	4.926.18	131.60	136.70
Aripuanã	Sinop	771	3.993.78	102.90	110.72
Aripuanã	Tangará da Serra	531	3.010.77	0.00	81.37
Aripuanã	Tesouro	1.125	5.670.00	0.00	153.24
Canarana	Alto Araguaia	489	2.909.55	0.00	78.64
Canarana	Alto Guaporé	1.188	5.987.52	0.00	161.82
Canarana	Alto Teles Pires	1.127	5.680.08	93.10	156.03
Canarana	Arinos	1.118	5.634.72	32.20	153.16
Canarana	Aripuanã	1.475	7.434.00	0.00	200.92
Canarana	Colider	706	3.854.76	0.00	104.18
Canarana	Norte Araguaia	400	2.380.00	0.00	64.32
Canarana	Paranatinga	435	2.588.25	0.00	69.95
Canarana	Parecis	1.133	5.710.32	0.00	154.33
Canarana	Primavera do Leste	503	2.852.01	0.00	77.08
Canarana	Rondonópolis	632	3.583.44	126.00	100.26
Canarana	Sinop	1.380	6.955.20	142.10	191.82
Canarana	Tangará da Serra	945	4.895.10	0.00	132.30
Canarana	Tesouro	481	2.861.95	0.00	77.35

Fonte: Dados da pesquisa, 2018

## Custo de distribuição do NPK entre as microrregiões

(continuação)

<b>Origem</b>	<b>Destino</b>	<b>Distância (Km)</b>	<b>Frete (R\$)</b>	<b>Pedágio (R\$)</b>	<b>Custo Distribuição (R\$/ton)</b>
Colider	Alto Araguaia	1.096	5.677.28	235.20	159.80
Colider	Alto Guaporé	1.115	5.619.60	180.60	156.76
Colider	Alto Teles Pires	287	1.707.65	49.00	47.48
Colider	Arinos	534	3.027.78	66.85	83.64
Colider	Aripuanã	803	4.159.54	102.90	115.20
Colider	Canarana	706	3.854.76	0.00	104.18
Colider	Norte Araguaia	402	2.391.90	0.00	64.65
Colider	Paranatinga	525	2.976.75	108.50	83.39
Colider	Parecis	673	3.674.58	83.30	101.56
Colider	Primavera do Leste	917	4.750.06	142.10	132.22
Colider	Rondonópolis	898	4.651.64	235.20	132.08
Colider	Sinop	301	1.790.95	0.00	48.40
Colider	Tangará da Serra	701	3.827.46	83.30	105.70
Colider	Tesouro	1.064	5.511.52	142.10	152.80
Norte Araguaia	Alto Araguaia	887	4.594.66	0.00	124.18
Norte Araguaia	Alto Guaporé	1.586	7.993.44	0.00	216.04
Norte Araguaia	Alto Teles Pires	689	3.761.94	49.00	103.00
Norte Araguaia	Arinos	936	4.848.48	66.85	132.85
Norte Araguaia	Aripuanã	1.205	6.073.20	102.90	166.92
Norte Araguaia	Canarana	400	2.380.00	0.00	64.32
Norte Araguaia	Colider	402	2.391.90	0.00	64.65
Norte Araguaia	Paranatinga	802	4.154.36	0.00	112.28
Norte Araguaia	Parecis	1.075	5.568.50	83.30	152.75
Norte Araguaia	Primavera do Leste	901	4.667.18	0.00	126.14
Norte Araguaia	Rondonópolis	1.031	5.340.58	126.00	147.75
Norte Araguaia	Sinop	703	3.838.38	0.00	103.74
Norte Araguaia	Tangará da Serra	1.344	6.773.76	0.00	183.07
Norte Araguaia	Tesouro	880	4.558.40	0.00	123.20
Paranatinga	Alto Araguaia	627	3.555.09	126.00	99.49
Paranatinga	Alto Guaporé	977	5.060.86	0.00	136.78
Paranatinga	Alto Teles Pires	240	1.428.00	59.50	40.20
Paranatinga	Arinos	484	2.879.80	77.35	79.92
Paranatinga	Aripuanã	761	3.941.98	113.40	109.60
Paranatinga	Canarana	435	2.588.25	0.00	69.95
Paranatinga	Colider	525	2.976.75	108.50	83.39
Paranatinga	Norte Araguaia	802	4.154.36	0.00	112.28
Paranatinga	Parecis	496	2.951.20	42.70	80.92
Paranatinga	Primavera do Leste	293	1.743.35	0.00	47.12
Paranatinga	Rondonópolis	422	2.510.90	126.00	71.27
Paranatinga	Sinop	492	2.927.40	108.50	82.05
Paranatinga	Tangará da Serra	524	2.971.08	42.70	81.45
Paranatinga	Tesouro	438	2.606.10	0.00	70.44

Fonte: Dados da pesquisa, 2018

## Custo de distribuição do NPK entre as microrregiões

(continuação)

<b>Origem</b>	<b>Destino</b>	<b>Distância (Km)</b>	<b>Frete (R\$)</b>	<b>Pedágio (R\$)</b>	<b>Custo Distribuição (R\$/ton)</b>
Parecis	Alto Araguaia	810	4.195.80	131.60	116.96
Parecis	Alto Guaporé	392	2.332.40	0.00	63.04
Parecis	Alto Teles Pires	389	2.314.55	34.30	63.48
Parecis	Arinos	259	1.541.05	0.00	41.65
Parecis	Aripuanã	342	2.034.90	0.00	55.00
Parecis	Canarana	1.133	5.710.32	0.00	154.33
Parecis	Colider	673	3.674.58	83.30	101.56
Parecis	Norte Araguaia	1.075	5.568.50	83.30	152.75
Parecis	Paranatinga	496	2.951.20	42.70	80.92
Parecis	Primavera do Leste	636	3.606.12	0.00	97.46
Parecis	Rondonópolis	608	3.447.36	131.60	96.73
Parecis	Sinop	641	3.634.47	83.30	100.48
Parecis	Tangará da Serra	188	1.118.60	0.00	30.23
Parecis	Tesouro	783	4.055.94	0.00	109.62
Primavera do Leste	Alto Araguaia	335	1.993.25	126.00	57.28
Primavera do Leste	Alto Guaporé	685	3.740.10	0.00	101.08
Primavera do Leste	Alto Teles Pires	625	3.543.75	93.10	98.29
Primavera do Leste	Arinos	623	3.532.41	32.20	96.34
Primavera do Leste	Aripuanã	978	5.066.04	0.00	136.92
Primavera do Leste	Canarana	503	2.852.01	0.00	77.08
Primavera do Leste	Colider	917	4.750.06	142.10	132.22
Primavera do Leste	Norte Araguaia	901	4.667.18	0.00	126.14
Primavera do Leste	Paranatinga	293	1.743.35	0.00	47.12
Primavera do Leste	Parecis	636	3.606.12	0.00	97.46
Primavera do Leste	Rondonópolis	130	773.50	126.00	24.31
Primavera do Leste	Sinop	877	4.542.86	142.10	126.62
Primavera do Leste	Tangará da Serra	448	2.665.60	0.00	72.04
Primavera do Leste	Tesouro	147	874.65	0.00	23.64
Rondonópolis	Alto Araguaia	206	1.225.70	0.00	33.13
Rondonópolis	Alto Guaporé	660	3.603.60	93.10	99.91
Rondonópolis	Alto Teles Pires	609	3.453.03	186.20	98.36
Rondonópolis	Arinos	604	3.424.68	125.30	95.95
Rondonópolis	Aripuanã	951	4.926.18	131.60	136.70
Rondonópolis	Canarana	632	3.583.44	126.00	100.26
Rondonópolis	Colider	898	4.651.64	235.20	132.08
Rondonópolis	Norte Araguaia	1.031	5.340.58	126.00	147.75
Rondonópolis	Paranatinga	422	2.510.90	126.00	71.27
Rondonópolis	Parecis	608	3.447.36	131.60	96.73
Rondonópolis	Primavera do Leste	130	773.50	126.00	24.31
Rondonópolis	Sinop	861	4.459.98	235.20	126.90
Rondonópolis	Tangará da Serra	421	2.504.95	131.60	71.26
Rondonópolis	Tesouro	156	928.20	0.00	25.09

Fonte: Dados da pesquisa, 2018

## Custo de distribuição do NPK entre as microrregiões

(conclusão)

Origem	Destino	Distância (Km)	Frete (R\$)	Pedágio (R\$)	Custo Distribuição (R\$/ton)
Sinop	Alto Araguaia	1.065	5.516.70	235.20	155.46
Sinop	Alto Guaporé	1.082	5.604.76	180.60	156.36
Sinop	Alto Teles Pires	255	1.517.25	49.00	42.33
Sinop	Arinos	502	2.846.34	66.85	78.73
Sinop	Aripuanã	771	3.993.78	102.90	110.72
Sinop	Canarana	1.380	6.955.20	142.10	191.82
Sinop	Colider	301	1.790.95	0.00	48.40
Sinop	Norte Araguaia	703	3.838.38	0.00	103.74
Sinop	Paranatinga	492	2.927.40	108.50	82.05
Sinop	Parecis	641	3.634.47	83.30	100.48
Sinop	Primavera do Leste	877	4.542.86	142.10	126.62
Sinop	Rondonópolis	861	4.459.98	235.20	126.90
Sinop	Tangará da Serra	669	3.652.74	83.30	100.97
Sinop	Tesouro	1.024	5.304.32	142.10	147.20
Tangará da Serra	Alto Araguaia	622	3.526.74	131.60	98.87
Tangará da Serra	Alto Guaporé	379	2.255.05	0.00	60.95
Tangará da Serra	Alto Teles Pires	416	2.475.20	34.30	67.82
Tangará da Serra	Arinos	345	2.052.75	0.00	55.48
Tangará da Serra	Aripuanã	531	3.010.77	0.00	81.37
Tangará da Serra	Canarana	945	4.895.10	0.00	132.30
Tangará da Serra	Colider	701	3.827.46	83.30	105.70
Tangará da Serra	Norte Araguaia	1.344	6.773.76	0.00	183.07
Tangará da Serra	Paranatinga	524	2.971.08	42.70	81.45
Tangará da Serra	Parecis	188	1.118.60	0.00	30.23
Tangará da Serra	Primavera do Leste	448	2.665.60	0.00	72.04
Tangará da Serra	Rondonópolis	421	2.504.95	131.60	71.26
Tangará da Serra	Sinop	669	3.652.74	83.30	100.97
Tangará da Serra	Tesouro	595	3.373.65	0.00	91.18
Tesouro	Alto Araguaia	189	1.124.55	0.00	30.39
Tesouro	Alto Guaporé	814	4.216.52	93.10	116.48
Tesouro	Alto Teles Pires	779	4.035.22	93.10	111.58
Tesouro	Arinos	770	3.988.60	32.20	108.67
Tesouro	Aripuanã	1.125	5.670.00	0.00	153.24
Tesouro	Canarana	481	2.861.95	0.00	77.35
Tesouro	Colider	1.064	5.511.52	142.10	152.80
Tesouro	Norte Araguaia	880	4.558.40	0.00	123.20
Tesouro	Paranatinga	438	2.606.10	0.00	70.44
Tesouro	Parecis	783	4.055.94	0.00	109.62
Tesouro	Primavera do Leste	147	874.65	0.00	23.64
Tesouro	Rondonópolis	156	928.20	0.00	25.09
Tesouro	Sinop	1.024	5.304.32	142.10	147.20
Tesouro	Tangará da Serra	595	3.373.65	0.00	91.18

Fonte: Dados da pesquisa, 2018

Nota: o valor do pedágio refere-se a 13 fev. 2019, para caminhões de 7 eixos. O custo de distribuição do produto final foi apurado para cada rota com base em 37 toneladas

## **CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Enfim, os problemas de localização de instalações foram sistematizados e analisados, proporcionando um panorama deste corpo teórico e suas aplicações por meio de uma revisão sistemática, análises bibliométricas e de conteúdo. E a modelagem matemática de programação inteira aplicada ao design da cadeia de suprimentos de fertilizantes no estado de Mato Grosso alcançou a otimalidade.

Conseqüentemente, apresentar uma rede de suprimentos otimizada nesse contexto significa que a tomada de decisão está amparada por uma ferramenta robusta e que os locais recomendados para a instalação das indústrias atendem à demanda ao menor custo de instalação e distribuição. Concomitantemente a designação dos portos para atendimento da demanda da fábrica também oferece o menor custo deste fluxo.

O mercado internacional impacta profundamente a economia brasileira, já que é um país com vocação para exportação de produtos agroindustriais e dependente da importação de insumos. Para atender a rede criada pelo modelo os portos de Vila do Conde e de Santarém, ao norte do país, precisam expandir suas capacidades em 1 milhão e 3,8 milhões de toneladas respectivamente. Essas ineficiências atingem os setores produtivos e encarecem o produto brasileiro assim como o investimento no Brasil (custo Brasil).

A eficiência logística depende de ações governamentais e também de ações empresariais. Com os resultados da análise dessa cadeia agroindustrial e identificados os gargalos, as ações governamentais podem direcionar os investimentos em infraestrutura, redução da burocracia e regulamentação nas regiões que refletem os maiores ganhos de eficiência para a economia do país. E no campo empresarial é imprescindível o planejamento dos investimentos, capacidades e estoques, planejamento tributário, custo de capital de giro, custos de energia e matérias primas e custo da infraestrutura