

SIMULACAO APLICADA AO ESTUDO DA OPERAÇÃO EM TERMINAIS DE CONTAINERS - UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Gustavo Costa
Dieferson Massarotto

Departamento de Engenharia Naval
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma revisão sistemática e análise bibliométrica dos artigos que discutem a aplicação de simulação nas operações em Terminais de Contêineres publicados entre 2016 e 2019. Pretende-se com isso, responder a seguinte questão de pesquisa: “Quais os principais temas pesquisados e modelos de simulação aplicados à Terminais de Contêineres e quais são os temas para futuras pesquisas?”. Para isso, o método de pesquisa envolveu o levantamento e seleção dos artigos para revisão, a análise descritiva, e análise bibliométrica dos arquivos selecionados. Na análise bibliométrica, apresenta-se uma rede de palavras-chave e de cocitação. Na análise de conteúdo, apresenta-se o resultado em um agrupamento dos artigos em 6 diferentes clusters.

1 INTRODUÇÃO

A containerização padronizou o Transporte Marítimo Regular (*Liner Service*) e reduziu os custos das cadeias logísticas globais. Também tornou o *Liner Service* um produto mais uniforme e com uma estratégia de negócios baseada na redução de custos por meio de economias de escala. Isso se concretizou por meio de aumentos muito significativos no tamanho dos navios porta-contêineres (OECD 2018). Outra característica do *Liner Service* é consolidação desta indústria. Desde 2014, os 10 principais armadores, a maioria dos quais fazem parte de alianças globais de transporte, aumentaram sua participação no mercado de 68% para 90% e sua capacidade de transporte de cerca de 55 milhões de TEU para 96,4 milhões de TEU (UNCTAD/RTM 2019). Alianças globais são acordos de cooperação entre armadores e consistem em compartilhamento de espaço (*slots*) nos navios, com o objetivo de alcançar economias de escala e uma cobertura mais ampla dos serviços. Atualmente as três alianças globais (2M, Ocean e THE Alliance) representam cerca de 80% do fluxo comercial total de contêineres e operam cerca de 95% da capacidade total dos navios nas rotas comerciais leste-oeste, onde ocorrem os principais fluxos de contêineres.

Podem-se observar vários impactos destas alianças no sistema de transporte: contribuem para a concentração de portos de escalas e para maiores deslocamentos de carga de um porto para outro quando as alianças os alteram; o poder de compra dos armadores participantes da aliança pode criar uma concorrência destrutiva entre operadores de terminais de contêineres, reduzindo suas taxas de retorno do investimento (OECD 2018). Os terminais de contêineres são confrontados com o poder das alianças, que demandam maiores níveis de desempenho que vão além de critérios como otimização de operações, redução de custos, eficiência de tempo e promoção comercial, espera-se que também melhorem o desempenho em outras áreas - segurança, conservação de recursos, proteção ambiental e inclusão social, por exemplo (UNCTAD/RTM 2019).

A importância dos terminais de contêineres é ressaltada por Gharehgozli et al 2015, observando que na cadeia de transporte global, os terminais de contêineres são de especial importância, pois todos os contêineres passam por pelo menos um deles durante o transporte, e que são os nós onde diferentes modalidades se encontram, ressaltando que os terminais de contêineres têm recebido crescente atenção da comunidade acadêmica devido às oportunidades e desafios que eles oferecem à pesquisa.

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma revisão sistemática e análise bibliométrica dos artigos que discutem a aplicação de simulação nas operações em Terminais de Contêineres publicados entre 2016 e 2019.. Pretende-se com isso, responder a seguinte questão de pesquisa: “Quais os principais temas pesquisados e modelos de simulação aplicados à Terminais de Contêineres e quais são os temas para futuras pesquisas?”. Este trabalho está estruturado em seis seções, sendo a primeira esta introdução, na qual

apresenta-se uma contextualização e descrevem-se a questão de pesquisa e o objetivo do estudo. Em seguida, o referencial teórico, que estabelece conceitos e fundamentos sobre a temática; o método de pesquisa, que inclui o procedimento de levantamento e seleção dos artigos para revisão, análise descritiva, bibliométrica dos artigos selecionados; e, finalmente, são apresentadas as considerações finais.

2 TERMINAIS DE CONTÊINERES

2.1 Caracterização de um Terminal de Contêineres

Os terminais de contêineres podem ser descritos como terminais intermodais, onde os contêineres passam de um modal para outro, possuindo duas interfaces: uma do lado de mar e outra do lado de terra. Estas interfaces são os cais de atracação dos navios e os *Gates* de entrada e saída dos contêineres. Uma vez que a transferência entre os modais não é imediata, os contêineres são armazenados antes do carregamento e após a descarga dos navios. Os três principais fluxos existentes em um terminal de contêineres são:

- Exportação: os contêineres chegam pelo lado de terra, utilizando os modais rodoviários ou ferroviários, são descarregados dos caminhões ou vagões e armazenados no pátio de exportação para posterior carregamento nos navios, quando saem pelo lado de mar;
- Importação: os contêineres são descarregados dos navios, transportados para o pátio de importação e armazenados para posterior carregamento nos modais rodoviário ou ferroviário e saírem pelo lado de terra;
- Transbordo: os contêineres são descarregados dos navios ou balsas, transportados para o pátio de transbordo e armazenados para posterior carregamento nos navios ou balsas, quando saem pelo lado de mar.

A Figura 1 apresenta um layout básico para um terminal de contêineres (adaptado de WANG et al. 2019), que é normalmente caracterizado em três áreas e suas subdivisões operacionais como detalhado na Tabela 1.

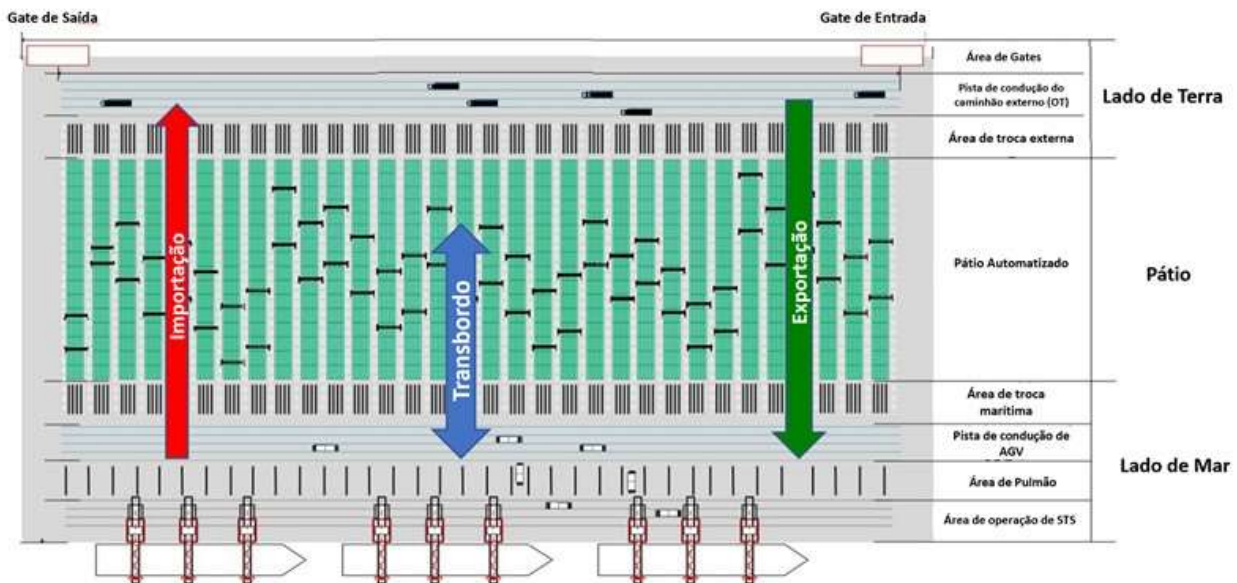


Figura 1: Layout básico de um terminal de contêineres.

Tabela 1: Equipamentos de movimentação e transporte de contêineres.

Área	Subdivisão	Característica Operacional
Lado de mar	Área de operação de STS	Operação de carga e descarga dos navios e interface entre os guindastes de cais e de transporte
	Área de Pulmão	Área onde os equipamentos de transporte aguardam para operação nos guindastes de cais
	Pista de condução	Pistas para movimentação dos equipamentos de transporte entre o lado de mar e o pátio
	Área de troca marítima	Interface entre os equipamentos de transporte e guindastes de pátio
Pátio		Área de armazenagem temporária dos contêineres
Lado de terra	Área de troca externa	Interface entre os equipamentos de transporte externos e guindastes de pátio
	Pista de condução	Pistas para movimentação dos equipamentos de transporte externo entre o pátio e Gates
	Gates	Interface para controle de entrada e saída dos veículos e contêineres

Os equipamentos utilizados para a movimentação e transporte de contêineres, que podem possuir diferentes níveis de automação (nenhuma, parcial e total), são apresentados na Figura 2 (Kalmar 2020) e na Tabela 2 com as interfaces operacionais em que são alocados.



Figura 2: Equipamentos de movimentação e transporte de contêineres.

Tabela 2: Equipamentos de movimentação e transporte de contêineres.

Interface	Movimentação	Transporte
Lado de mar	STS, PT, MHC	TTU, SC, AGV
Pátio	RS, RTG, RMG, ECH	TTU, SC, AGV
Lado de terra	RS, RTG, RMG, ECH	TTU, SC, AGV

2.2 Classificação dos Problemas de Planejamento em um Terminal de Contêineres

A classificação de problemas de planejamento em um terminal de contêineres já foi explorada por alguns autores, entre os quais destacam-se VIS e DE KOSTER 2003, VOSS et al. 2004, GÜNTHER e KIM 2006, ANGELOUDIS e BELL 2011, LUO et al. 2011, RASHIDI e TSANG 2013, CARLO et al. 2014, CARLO et al. 2015, GHAREHGOZLI et al. 2016, DRAGOVIC et al. 2017, HEILIG e VOSS 2017, CAVONE et al. 2018, CRAINIC et al. 2018 e ZHOU et al. 2018. Estes trabalhos estão referenciados em separado e não incluídos nesta revisão sistemática. Adota-se nesta revisão bibliométrica a seguinte classificação dos modelos de simulação: quanto ao nível de planejamento, quanto ao tipo do modelo, quanto a abordagem de seu desenvolvimento, quanto a integração com modelo de otimização e quanto aos problemas abordados. A Tabela 3 apresenta esta classificação em detalhes.

Tabela 3: Classificação dos modelos de simulação.

Classificação	Subclassificação
Nível de planejamento	Estratégico / Tático / Operacional
Tipo do modelo	Monte Carlo / Baseado em agentes / Eventos discretos / Dinâmica de sistemas / Heurística
Integração com modelo de Otimização	Simula o resultado da otimização Gera dados para a otimização Execução iterativa com a otimização Avalia o resultado da busca local da otimização Utilização dados gerados pela otimização
Abordagem do desenvolvimento	Software comercial / Bibliotecas de programação
Problemas abordados	Operação integrada do terminal Layout do terminal / Tipo de equipamentos Capacidade dos berços / Capacidade do pátio Quantidade de equipamentos Planejamento dos berços Planejamento da armazenagem Planejamento dos transportes Planejamento da mão de obra Estivagem dos navios Alocação dos berços Alocação dos guindastes de cais Programação dos guindastes de cais Alocação dos equipamentos de transporte Roteirização dos equipamentos de transporte Tráfego dos equipamentos de transporte Sincronização dos equipamentos de transporte e guindastes Alocação das áreas do pátio Alocação dos guindastes de pátio Programação dos guindastes de pátio Remoção de contêineres no pátio Programação dos Gates Programação dos veículos externos Programação de ferrovia / Impacto ambiental Impacto social e urbanístico / Segurança

3 MÉTODO DE PESQUISA

Para alcançar o objetivo do estudo, uma revisão da literatura sobre a utilização de Simulação em Terminais de Contêineres foi realizada. A pesquisa inclui as seguintes etapas: levantamento e seleção de artigos para revisão, análise descritiva, análise bibliométrica e classificação dos Artigos em clusters.

3.1 Levantamento e seleção de artigos para revisão

Este estudo abrange o período de 2016 a 2019, sendo que a pesquisa dos artigos foi feita no Web of Science utilizando as palavras chaves (container AND terminal AND simulation) no campo padrão Tópico, que inclui o título, abstract e palavras chaves. A pesquisa no Web of Science resultou em 233 artigos, sendo que 70 possuíam acesso aberto e destes, 60 possuíam PDF disponível.

A aplicando dos critérios de exclusão, definidos como: (i) artigos que não possuem como foco a simulação de terminais de contêineres, (ii) que não estão escrito em inglês e (iii) artigos de revisão.

Foram excluídos 5 artigos pelo critério (i): um artigo sobre tecnologia de carregamento em vagões ferroviários; um sobre consumo de energia elétrica de contêineres frigoríficos; um sobre navegabilidade em portos; outro sobre competição em um sistema Hub e Spoke; e por fim, um sobre supervisores em engenharia de projetos, resultando em 55 artigos para a análise descritiva, apresentada a seguir.

3.2 Análise descritiva

Foi utilizada a função de análise de resultados do Web of Science para geração dos dados dos 55 artigos selecionados. A análise temporal dos artigos apresenta o ano de 2016 com 12 artigos (21,818 %); 2017 com 8 artigos (14,545 %); 2018 com o maior número de artigos, 20 (36,364%) e o ano de 2019 com 15 artigos (27,273%).

Em relação à distribuição geográfica dos autores, a China possui a maior participação com 17 artigos (30,9%), seguido pela Indonésia com 5 artigos (9,09%) e Polônia também com 5 artigos (9,09%). A Figura 3 apresenta o mapa de árvore do número de artigos por país.



Figura 3: Mapa de árvore do número de artigos por país.

A Universidade de Tecnologia de Dalian (6 artigos, 10,9%), a Universidade Marítima de Shanghai (5 artigos, 9,09%), o Instituto Tecnológico de Bandung (4 artigos, 7,27%) e a Universidade Politécnica de Bucareste (4 artigos, 7,27%) concentram 34,23% do total de artigos. A Figura 4 apresenta o mapa de árvore do número de artigos por Universidade.



Figura 4: Mapa de árvore do número de artigos por Universidade.

As principais fontes de publicação são os periódicos *Mathematical Problems in Engineering* (5 artigos, 9,09%) e *AIP Conference Proceedings* (4 artigos, 7,27%). A Figura 5 apresenta o mapa de árvore do número de artigos por Periódico.



Figura 5: Mapa de árvore do número de artigos por Periódico.

Em relação aos, Wang, W. Y., é o mais citado (5) seguido por Frazila, R. B, Peng, Y. e Song, X. Q., cada um com (4) referências. A Figura 6 apresenta o mapa de árvore do número de artigos por Autor.

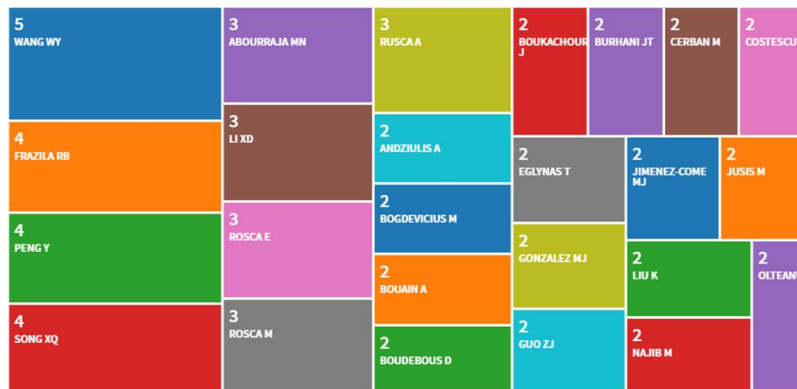


Figura 6: Mapa de árvore do número de artigos por Autor.

3.3 Análise bibliométrica

A análise bibliométrica contempla o mapeamento de redes de coautoria, cocitação, acoplamento bibliográfico, e de ocorrência de palavras-chave. Esta análise foi realizada com o software VOSViewer®, versão 1.6.13. Empregou-se o número mínimo de cinco ocorrências de uma palavra-chave e cinco citações de uma referência citada. O VOSViewer® utiliza um método de visualização baseado na distância entre os nós da rede analisada, sendo que a distância entre dois nós representa a intensidade da relação entre eles, considerando que a relação é maior quanto menor for a distância entre os nós.

A rede de palavras chaves (Figura 7) apresenta 4 *clusters*: o primeiro cluster (11 itens), em vermelho e tendo a palavra-chave *study* mais representativa, está mais relacionado ao tema da modelagem dos problemas operacionais. O segundo *cluster* (10 itens), em verde e tendo a palavra-chave *system* mais representativa, está mais relacionada ao objetivo dos problemas simulados. O terceiro *cluster* (8 itens), em azul e tendo a palavra-chave *crane* mais representativa, está mais relacionada ao tipo do equipamento do problema simulado. O Quarto e último *cluster* (6 itens), em amarelo e tendo a palavra-chave *use* mais representativa, está mais relacionada ao uso da simulação.

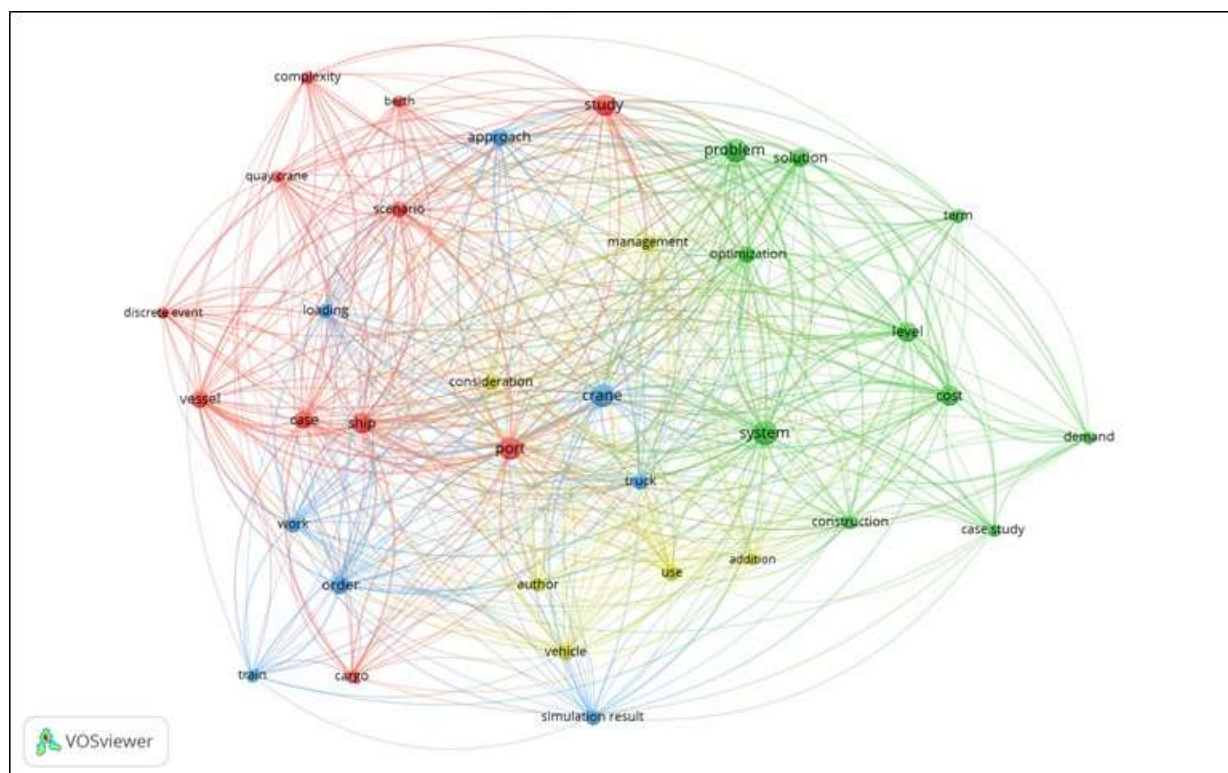


Figura 7: Rede ocorrência de palavras-chave.

A rede de cocitação, apresenta na Figura 8, não apresenta muitos autores devido ao reduzido intervalo de tempo (2016 a 2019). Esta rede mostra os trabalhos que estão sendo citados juntos, refletindo semelhanças de temas entre os artigos. Observa-se que os autores apresentados nesta rede tratam de sustentabilidade e terminais automatizados como temas principais.

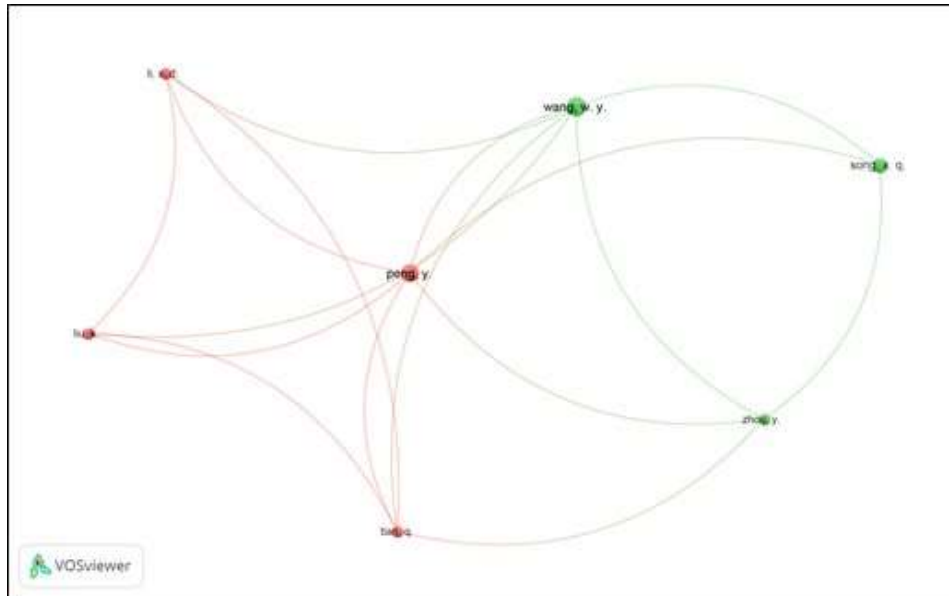


Figura 8: Rede ocorrência de palavras-chave.

3.4 Classificação dos Artigos

Os artigos foram classificados de acordo com a Tabela 3, utilizando uma planilha em Excel. Em relação ao nível de planejamento, observa-se uma concentração dos artigos no nível operacional (28 artigos, 50,9%), seguido pelo nível Estratégico (18 artigos, 32,75%) e pelo Tático (9 artigos, 16,4%). A Tabela 4 apresenta a distribuição dos níveis de planejamento por ano.

Tabela 4: Classificação dos modelos de simulação.

Nível de planejamento	2016	2017	2018	2019	Total
Estratégico	5	2	7	4	18
Tático		2	5	2	9
Operacional	7	4	8	9	28
Total	12	8	20	15	55

O planejamento estratégico é responsável pelo planejamento a longo prazo de toda a operação, o que acarreta uma abordagem holística dos problemas. O intuito de não adentrar muito em detalhes é devido ao fato de que quanto maior o nível de detalhamento do projeto, mais difíceis ficam de prever situações futuras. Ligado a isso há o planejamento Tático, referente aos setores da operação. Este é o nível em que o plano estratégico se torna um plano concreto. Caracteriza-se pelo planejamento departamental, cobrindo muitas vezes um processo de ponta a ponta, os quais tem como objetivo final realizar as metas propostas no planejamento estratégico.

O planejamento operacional estabelece o último nível na escala de planejamento e completa o quadro de planejamentos. Neste nível é onde saem as ações e metas de curto prazo planejadas no nível tático para realizar os objetivos das decisões estratégicas. Por se tratar de um processo interligado e interdependente, é importante salientar que o planejamento estratégico não sai do papel sem antes estar estabelecido o planejamento tático e operacional.

Os principais tipos de modelos utilizados pelos autores (Tabela 5) são Heurística (26 artigos, 47,3%), Eventos Discretos (21 artigos, 38,2%), seguidos por Baseado em Agentes e Dinâmica de Sistemas com 3 artigos (5,5%) cada e, por fim, Monte Carlo com 2 artigos (3,6%).

Tabela 5: Classificação dos Tipos de Modelos.

Tipos de Modelos	2016	2017	2018	2019	Total	%
Baseado em agentes		1	1	1	3	5.5%
Dinâmica de sistemas	1		2		3	5.5%
Eventos discretos	4	5	9	3	21	38.2%
Heurística	7	1	7	11	26	47.3%
Monte Carlo		1	1		2	3.6%
Total	12	8	20	15	55	100%

Quanto a integração com modelo de otimização (Tabela 6), observa-se uma elevada concentração em Simulação Pura com 45 artigos (81,8 %), refletindo o alto percentual de utilização de heurística nos tipos de modelo.

Tabela 6: Integração com modelo de otimização.

Integração com Modelo de Otimização	2016	2017	2018	2019	Total	%
Execução Iterativa com a Otimização	1	2		1	4	7.3
Gera Dados para a Otimização	1				1	1.8
Simula o Resultado da Otimização		1			1	1.8
Simulação pura	10	5	19	11	45	81.8
Utilização de dados gerados pela otimização			1	3	4	7.3
Total	12	8	20	15	55	100

A Abordagem de Desenvolvimento, que indica de utilizou-se software comercial ou biblioteca de programação não apresentou dados para todos os artigos uma vez que vários autores não mencionaram qual o software utilizado em seus artigos (26 artigos, 47,3%). Observa-se que o software de simulação Arena tem a maior participação (9 artigos, 10,9%), seguido pelo AnyLogic (6 artigos, 10,9%).

Em relação aos Problemas Abordados, observa-se uma concentração no tema Operação Integrada do Terminal (13 artigos, 23,6%) refletindo uma preocupação com uma análise sistêmica do terminal, considerando a interação entre as várias interfaces operacionais existentes. Em segundo, observa-se o tema Tipo de Equipamentos e Programação dos Guindastes de Cais (5 artigos, 9,1% cada), refletindo a preocupação em obter-se maior produtividade do terminal. A Tabela 7 apresenta a participação de cada problema abordado, bem como a relação dos autores que possuem artigos em cada uma delas.

4 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo fazer uma revisão sistemática e análise bibliométrica dos artigos que discutem a aplicação de Simulação à Terminais de Contêineres publicados entre 2016 a 2019. Como resultado, 55 artigos foram selecionados, analisados e classificados, visando responder a seguinte questão de pesquisa: “Quais os principais temas pesquisados e modelos de simulação aplicados à Terminais de Contêineres e quais são os temas para futuras pesquisas?”. Como resultado desta revisão pode-se dizer que os principais temas pesquisados estão relacionados aos problemas classificados como de nível estratégico, com predomínio da utilização de heurísticas para simulação com baixa interação com otimização e sendo majoritária a simulação integrada do terminal. Em relação às futuras pesquisas, observa-se que os portos e operações podem se beneficiar das oportunidades oferecidas pela digitalização, inteligência artificial (AI), Internet das Coisas (IoT) e *Blockchain*, já que estas tecnologias são aplicáveis nos terminais e representam uma oportunidade para aumentar a eficiência e produtividade, que são dois importantes fatores para a escolha dos terminais (UNCTAD/RMT 2019). Uma tecnologia de simulação que avança no setor portuário é conceito de gêmeos digitais, que permite às empresas replicar edifícios, equipamentos, processos e operações que ajudam no planejamento e na antecipação de problemas operacionais com base em dados passados e dados futuros, de, por exemplo, uma *Blockchain*. O porto de Roterdã, na Holanda, já vem trabalhando com a IBM para criar um gêmeo digital que ajudará o porto a testar cenários e estudar como melhorar a eficiência operacional. Logo, é possível inferir que as futuras pesquisas devem estar mais focadas no desenvolvimento de modelos de simulação que permitam a criação de gêmeos digitais dos terminais, fato que está refletido nesta pesquisa com uma concentração dos artigos forçando na simulação integral dos terminais de contêineres.

Esta revisão está limitada pelo período pesquisado (2016 a 2019) e pela utilização do *Web of Science* como fonte exclusiva dos artigos. Para futuras pesquisas recomenda-se que um maior período e outras fontes sejam utilizadas.

REFERÊNCIAS DE REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELOUDIS, P.; BELL, M. G. H. A review of container terminal simulation models. *Maritime Policy & Management*, 38, n. 5, p. 523-540, 2011.
- CARLO, H. J.; VIS, I. F. A.; ROODBERGEN, K. J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme. *European Journal of Operational Research*, 236, n. 1, p. 1-13, 2014.
- CARLO, H. J.; VIS, I. F. A.; ROODBERGEN, K. J. Seaside operations in container terminals: literature overview, trends, and research directions. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 27, n. 2-3, p. 224-262, 2015.
- CAVONE, G.; DOTOLI, M.; SEATZU, C. A Survey on Petri Net Models for Freight Logistics and Transportation Systems. *Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19, n. 6, p. 1795-1813, Jun 2018. Article.
- CRAINIC, T. G.; PERBOLI, G.; ROSANO, M. Simulation of intermodal freight transportation systems: a taxonomy. *European Journal of Operational Research*, 270, n. 2, p. 401-418, 2018.
- DRAGOVIC, B.; TZANNATOS, E.; PARK, N. K. Simulation modelling in ports and container terminals: literature overview and analysis by research field, application area and tool. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 29, n. 1, p. 4-34, Mar 2017. Article.
- GHAREHGOZLI, A. H.; ROY, D.; DE KOSTER, R. Sea container terminals: New technologies and or models. *Maritime Economics and Logistics*, 18, n. 2, p. 103-140, 2016.
- GÜNTHER, H.-O.; KIM, K.-H. Container terminals and terminal operations. 28, n. 4, p. 437-445, 2006.
- HEILIG, L.; VOSS, S. Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 29, n. 1, p. 35-63, 2017.

- LUO, J.; WU, Y.; HALLDORSSON, A.; SONG, X. Storage and stacking logistics problems in container terminals. *OR Insight*, 24, n. 4, p. 256-275, 2011/12/01 2011.
- RASHIDI, H.; TSANG, E. P. K. Novel constraints satisfaction models for optimization problems in container terminals. 37, n. 6, p. 3601-3634, 2013.
- VIS, I. F. A.; DE KOSTER, R. Transshipment of containers at a container terminal: An overview. *European Journal of Operational Research*, 147, n. 1, p. 1-16, 2003.
- VOSS, S.; STAHLBOCK, R.; STEENKEN, D. Container terminal operation and operations research - a classification and literature review. *OR Spectrum*, 26, n. 1, p. 3-49, 2004.
- ZHOU, C. H.; LI, H. B.; LIU, W. Z.; STEPHEN, A. et al. CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN INTEGRATION OF SIMULATION AND OPTIMIZATION IN MARITIME LOGISTICS. In: 2018 Winter Simulation Conference. New York: Ieee, 2018. p. 2897-2908. (Winter Simulation Conference Proceedings).

REFERÊNCIAS ADICIONAIS

- ALPHALINER, 2019a. Alphaliner Weekly Newsletter - Volume 2019 Issue 28, 2019.
https://www.alphaliner.com/resources/Alphaliner_Newsletter_no_28_2019.pdf, acessado em 17 Janeiro 2020.
- KALMAR, 2020. Images
<https://www.kalmarglobal.com/pressroom/images/>, acessado em 17 Janeiro 2020.
- OECD, 2018. The Impact of Alliances in Container Shipping.
<https://www.itf-oecd.org/impact-alliances-container-shipping>, acessado em 17 Janeiro 2020.
- PORTFORWARD, 2019. Towards a green and sustainable ecosystem for the EU Port of the Future.
<https://www.portforward-project.eu/>, acessado em 17 Janeiro 2020.
- UNCTAD/RMT, 2019. Review of Maritime Transport 2019.
https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf, acessado em 17 Janeiro 2020.