

SIMULATION-OPTIMIZATION IN WINTER SIMULATION CONFERENCE: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Edgard Liberali
Mary Anny M. S. Lemstra
Laís Milene G. Dionísio

Escola Politécnica
Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1380
São Paulo - SP, 05508-010, BRAZIL

ABSTRACT

Otimização de simulação (SO) refere-se à otimização de uma função objetivo sujeita a restrições. Este estudo consiste em uma revisão de 85 artigos, que abordam a combinação específica das palavras “simulation and optimization”, publicados na “Winter Simulation Conference” no período de 1998 a 2018. O objetivo principal deste trabalho é analisar como os pesquisadores estão estudando a combinação do método de simulação com o método de otimização. Neste trabalho estão identificados os principais problemas industriais, de logística e de interoperabilidade entre os sistemas de simulação e otimização e quais as soluções propostas pelos pesquisadores.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Wiston (2004) a simulação pode ser definida como uma técnica que imita a operação de um sistema do mundo real à medida que evolui com o tempo, além de ser uma ciência da administração muito poderosa e amplamente usada para a análise e estudo de sistemas complexos. Como na maioria das outras técnicas, a simulação tem suas vantagens e desvantagens. A principal vantagem da simulação é que ela é relativamente direta, apesar de, em muitos casos, ser considerada uma técnica com preço elevado.

Deve ser enfatizado, no entanto, que a simulação não é uma técnica de otimização. A otimização, por se tratar de um modelo prescritivo, inclui três componentes: função objetivo, variáveis de decisão e restrições. Um modelo de otimização procura encontrar valores das suas variáveis de decisão que otimizam uma função objetivo entre o conjunto de todos os valores para as variáveis de decisão que atendam às restrições especificadas.

Métodos de otimização e de simulação, que antes eram considerados alternativas excludentes, hoje são utilizados conjuntamente em um número cada vez maior de trabalhos acadêmicos (Dehghanimohammadabadi and Keyser 2015). Além disso, a utilização combinada dessas técnicas está se estendendo para novas áreas, passando do uso tradicional em indústrias e serviços e sendo introduzidas em novos segmentos, como estudo do meio ambiente, recursos humanos, entre outros. Entretanto, Banga et al. (2003) cita algumas barreiras para a integração da simulação e otimização: a codificação, muitas vezes, de forma manual, ocasionando erros e demandando muitos recursos; a complexidade de muitos modelos e a falta de solucionadores robustos e eficientes; falta de mão-de-obra técnica especializada familiarizada com métodos de simulação e otimização; e a indisponibilidade de bibliotecas customizadas para cada tipo de operação.

A Winter Simulation Conference, todos os anos têm apresentado estudos nessa área. O presente trabalho tem como propósito compreender como o método simulação e otimização tem sido abordado nos trabalhos apresentados ao longo dos anos neste congresso e como os problemas tem sido tratados. Isso

será feito através de uma revisão sistemática dos artigos dessa conferência, que discutem em conjunto os temas simulação e otimização, sejam eles na área industrial ou de serviços, com a aplicação de casos reais ou apenas com estudos empíricos sobre o tema. O objetivo, com isso, é responder às seguintes questões de pesquisa: Como o método simulação e otimização vem sendo abordado nos artigos publicados na Winter Simulation Conference ao longo dos anos e quais são as principais áreas e problemas que os pesquisadores da Winter Simulation Conference estão direcionando suas pesquisas?

Este trabalho está estruturado em cinco seções. A introdução, apresentada nesta seção, onde descreve brevemente o contexto do tema e a questão de pesquisa. Posteriormente, uma breve revisão dos conceitos e métodos encontra-se na seção 2; A seção 3 apresenta o método de pesquisa, que descreve a revisão sistemática de literatura, o planejamento, a pesquisa e a seleção dos dados; a análise de dados e os resultados são demonstrados na seção 4. Na seção 5 é apresentada as considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional (PO) é uma forma de matemática aplicada, podendo ser usado tanto para métodos matemáticos e estatísticos como para sistemas de computação (Hillier and Lieberman 2013). Refere-se a problemas que englobam operações, como por exemplo, manufatura, transportes, construção, planejamento financeiro, entre outros. A abordagem da PO para resolver problemas compreende as respectivas etapas: formular o problema; construir o modelo matemático, de modo a captar a essência do problema real; derivar a solução do modelo; testar o modelo; estabelecer controle sobre a solução; e implementar os resultados (Hillier and Lieberman 2013).

2.2 Métodos de Simulação

Devido à natureza extensa e por vezes complexa dos problemas de gerenciamento e alocação de recursos, associado às limitações das técnicas analíticas, desenvolveu-se a ferramenta de simulação realizada por softwares computacionais. Esta ferramenta, de acordo com Loesh and Hein (2009), teve início em 1940 com o matemático Von Neumann que denominou de “análise de Monte Carlo” uma técnica matemática, utilizada na solução de problemas dentro da física nuclear em que uma solução experimental ou um tratamento analítico seriam muito complicados e/ou significariam altos custos (Uriarte et al. 2015).

O termo “simulação”, de acordo com Sousa Jr et al. (2019), Ceciliano (2007), Banks et al. (2010) e Uriarte (2015), pode ser entendido como um conjunto de técnicas que visam imitar um determinado comportamento de um sistema ideal ou real, por meio do uso de recursos como tempo e conhecimento, no intuito de responder questões feitas para um estudo estruturado quando experimentos reais são muito caros ou impossíveis de serem realizados, consistindo, em sua maioria, na coleta de dados e em análises auxiliadas por computadores.

Assim, na modelagem computacional é usada uma sequência de ações planejadas e coordenadas para a transformação do modelo lógico em um modelo operacional, podendo ser descritas como: coleta de dados e sua modelagem estatística, programação, por meio da utilização de um software apropriado ao tipo do problema, verificação e validação (Ceciliano 2007).

De modo geral, segundo Gholami et al. (2014), há duas formas de se elaborar modelos de simulação: (i) utilizar um modelo descritivo de um sistema com componentes definidos previamente, para que à partir deste, seja gerado a simulação de eventos, e, (ii) desenvolver um modelo de simulação por parâmetros pré-definidos utilizando dados coletados do sistema atual.

Desta forma, a simulação pode oferecer uma visão sistêmica e prover análises de como diferentes mudanças em um componente afetam o sistema, mesmo em casos em que seja muito complexo, seja pelo número de interações existentes, nível de variabilidade, tamanho ou se é um sistema inexistente. A simulação é a ferramenta que melhor identifica onde e como melhorar o sistema Uriarte et al. (2015).

Com o intuito de desenvolver um modelo de análise mais completo e preciso, de acordo com os autores Kulkarni and Venkateswaran (2014), a simulação foi integrada a diversas técnicas analíticas já consolidadas, como programação linear métodos heurísticos e data envelopment analysis. Devido a isso, o uso da modelagem e simulação continua crescendo significativamente no apoio a decisão de atividades tradicionais, sendo que muitas organizações instituíram políticas que exigem análise de simulação antes das despesas de capital acima de um limite estabelecido, enquanto outras formaram centros especializados em modelagem e simulação, formando analistas profissionais (Bapat and Sturrock 2003).

Sendo assim, segundo Kulkarni and Venkateswaran (2014), para sistemas grandes e/ou complexos com numerosos elementos interagindo, modelos de simulação juntamente com métodos analíticos são usados para que um grande número de alternativas seja comparado sem causar danos ao sistema atual ou inferir altos custos.

No entanto, gradativamente os cenários também foram se tornando mais complexos de modo que, segundo April et al. (2004), por mais que a simulação tenha se tornado uma ferramenta muito valiosa em modelos nas configurações citadas, não é, por si só, suficiente para produzir os resultados almejados, sendo necessário uma etapa extra, a combinação da simulação com a otimização. Assim sendo, segundo os autores, pesquisas recentes vêm desenvolvendo avanços nos campos metaheurísticos levando à criação de mecanismos de otimização que guiam com êxito avaliações complexas objetivando encontrar valores ótimos para variáveis de decisão.

2.3 Métodos de Otimização

Uma categoria da Pesquisa Operacional são os métodos de otimização, que se constituem formas de resolver problemas caracterizados pela necessidade de maximização ou minimização, de uma ou mais funções objetivo, em relação a uma ou mais variáveis de decisão em um sistema específico, normalmente limitado a um conjunto de restrições (Martinhago 2012).

Os métodos de otimização são subdivididos entre exatos e aproximados, sendo que os métodos exatos visam encontrar a solução ótima para o problema e fazem uso de técnicas de enumeração exaustiva, como busca em árvore (branch-and-bound ou treeseach), relaxação de programação de linear, métodos duais e baseados em relaxação langrangeana (Martinhago 2012). Por sua vez, os métodos aproximados ou heurísticos e metaheurísticos são utilizados para a solução de problemas maiores e/ou mais complexos, uma vez que os exatos tendem a tornar o algoritmo inviável à medida que a complexidade aumenta.

Dessa maneira, mesmo que os métodos aproximados não garantam que a solução ótima seja encontrada, eles são capazes de entregar uma boa representação da realidade, uma qualidade satisfatória de resolução e benefícios como tempos adequados de processamento da computação e menor necessidade de memória, reduzindo o tempo médio despendido na busca por uma solução (Ballou 2006).

2.4 Métodos de Simulação-Otimização (SO)

Frequentemente, os projetos de simulação almejam responder perguntas relacionadas à otimização de aspectos específicos que representam cenários “e se” para o sistema proposto. Desta forma, é possível definir simulação como a minimização, maximização ou ambos, de uma função multi-objetivo que resume, de um modo matemático, as perguntas feitas ao sistema, onde diferentes combinações de alternativas são consideradas viáveis se atenderem a todas as restrições do problema (Taha 2007).

Deste modo, caso a simulação possua dados suficientes para ser representativo ao sistema, a melhor situação simulada pode ser considerada como ótima e ter boas chances de ser implementada no sistema real atingindo o objetivo de ser uma excelente ferramenta para ajudar na tomada de decisão (Taha 2007).

Em termos de aplicação, ambos, otimização e simulação podem ser utilizadas na Engenharia Industrial, sendo uma área que, de acordo com Maynard and Hodson (2004), se preocupa com problemas relacionados com produção de bens e serviços, que avalia os efeitos do projeto, instalação e aprimoramento dos sistemas que integram materiais, informação e pessoas. O autor Salvendy (2001)

ressalva que esses problemas são intrinsecamente relacionados à tecnologia, à gestão de melhoria de desempenho, ao planejamento, controle e métodos para a tomada de decisão (Sousa Jr et al. 2019).

2.5 Diferentes Visões e Aplicações da SO

Caso a simulação possua dados suficientes para ser representativo ao sistema, a melhor situação simulada pode ser considerada como ótima e ter boas chances de ser implementada no sistema real atingindo o objetivo de ser uma excelente ferramenta para ajudar na tomada de decisão (Taha 2007).

Segundo Bush, Biles and Depuy (2003), os métodos de simulação e otimização devem ser aplicados conjuntamente, pois, (i) permite a simulação de um sistema, determinando o valor ótimo de um parâmetro particular do problema, utilizando uma técnica de otimização e (ii) porque a simulação é em geral aplicada aos resultados de um problema de otimização, validando os resultados obtidos, isto é, os resultados encontrados pelo modelo de otimização são utilizados como entradas para os modelos de simulação.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

Uma revisão sistemática de literatura segundo Thomé et al. (2016) identifica estudos existentes na área, seleciona e avalia contribuições, analisa e sintetiza dados e relata as evidências de maneira que permita conclusões claras sobre o tema. Booth, Papaioannou and Sutton (2012) acrescentam que, uma revisão sistemática envolve características como: clareza, transparência, metodologia, objetividade, estrutura padronizada e deve ser capaz de ser reproduzível.

Neste trabalho, utilizamos os estágios apresentados por Oliveira et al. (2016), que atende a todos esses requisitos e compreende às seguintes etapas: planejamento, pesquisa/seleção de dados, análise de dados, e apresentação dos resultados.

3.2 Planejamento

A primeira fase consistiu no entendimento das principais questões relacionadas ao tema simulação e otimização apresentadas na Winter Simulation Conference, para assim, ser estruturada a questão de pesquisa. Escolhemos delimitar a nossa pesquisa aos artigos dessa conferência, pelo fato de ser o principal fórum internacional para divulgação dos avanços relacionados à teoria e a aplicação da simulação (Goldsmann et al. 2017), onde são apresentadas pesquisas inovadoras tanto em áreas tradicionais, bem como em campos não convencionais, como humanidades, ciências sociais e artes.

A ideia dessa pesquisa surgiu da falta observada, nessa base de dados, de artigos relacionados à revisão sistemática de literatura no tema simulação e otimização e, da necessidade da compreensão das direções e barreiras que esse tema está percorrendo dentro dessa conferência. Desta forma, as questões de pesquisa (RQs) foram estruturadas segundo a lógica CIMO - Context, Intervention, Mechanism e Outcomes (Sousa Jr et al. 2019), que trata do contexto de um problema, que precisa de uma intervenção específica e usa um mecanismo para gerar resultados. Portanto, as questões de pesquisa foram divididas em quatro partes:

RQ1: Como os pesquisadores da Winter Simulation Conference estão abordando o tema Simulação e Otimização?

RQ2: Quais são as principais áreas e problemas que os pesquisadores da Winter Simulation Conference estão direcionando suas pesquisas?

RQ3: Quais os softwares de implementação foram os mais utilizados?

RQ4: Como os resultados foram mensurados?

3.3 Pesquisa e Seleção de Dados

Os artigos revisados nesta pesquisa foram levantados através da base Web of Science, com as palavras-chave “simulation and optimization”, refinado por: (i) títulos de conferências/encontros da “Winter Simulation Conference” e (ii) tempo estipulado aberto para todos os anos. Foram encontrados 85 artigos publicados no período de 1998 a 2018 que usam a SO em diversas aplicações, sejam elas de forma teóricas ou empíricas, conforme destacado na figura 1.

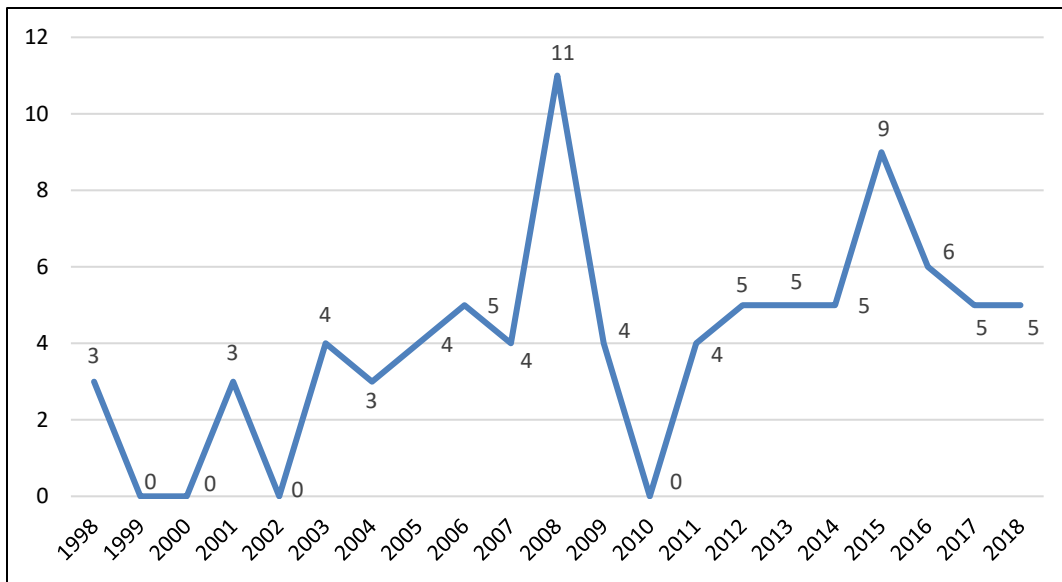


Figura 1: Quantidade de Artigos Publicados no Período de 1998 a 2018

A base de dados foi exportada para uma planilha em Excel, onde foi realizada uma triagem, para análise do título, resumo e natureza do artigo, respectivamente. Após uma primeira análise da base de dados foram excluídos 16 artigos que não atendiam a proposta de revisão deste estudo, devido a: (i) apresentarem um aspecto comercial voltado a divulgação de softwares proprietários para a resolução de problemas relacionados a simulação e/ou otimização como verificamos em (Bagchi et al. 1998; Bapat and Swets 2001; Dong et al. 2006; Halim and Seck 2011), e (ii) por tratar-se de trabalhos conceituais discutidos nos painéis de debate da WSC como observamos em (Thollander 2006; Ge and Kremers 2015; Kotachi 2016; Fani 2017) ou por ser artigo de contexto educacional (Ingalls et al. 2008). Portanto, restaram 69 artigos para uma análise mais profunda e para buscarmos as respostas das questões de pesquisa propostas para este estudo.

4 ANÁLISE DE DADOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A análise de dados está organizada em dois módulos, Estrutura da Pesquisa e Método Empregado, consequência da consolidação das informações resumidas em cada artigo estudado. A Figura 2 retrata os módulos com seus respectivos tópicos.

ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA	
Estrutura da Pesquisa	Método Empregado
Tipo de Problema	Softwares utilizados
Área de atuação	Modelo para SO
Origem dos dados	Resultados Esperados

Figura 2: Estruturação em Módulos

No módulo Estrutura da Pesquisa, o primeiro tópico analisado é o Tipo de Problema que está dividido em: processo industrial, logística, agendamento / reagendamento, inventário, interoperabilidade e outros que podem ser observados na Tabela 1. Os problemas relacionados como processo industrial representam 28% dos artigos e englobam temas ligados diretamente aos processos fabris como planejamento de manutenção (Ali et al. 2008), fluxo de material (Moeller et al. 2009), consumo de energia elétrica (Corredor et al. 2011), configuração de máquina (Laroque et al. 2012), controle preditivo (Lee, Horesh and Liberti 2015), remoção de gargalos (Amaran, Sharda and Bury 2016) e planejamento da linha de produção (Sobottka et al. 2017). Os problemas logísticos estão em 20% dos artigos e estudam questões como localização de CD (Yoshizumi and Okano 2007), distribuição de produto (Lu and Lam 2009 e Hillmann et al. 2016), roteirização (Schulze, Lemessi and Filippi 2001; Ahner, Buss and Ruck 2006; Ren et al. 2006), gerenciamento de frota (Fioroni et al. 2008) e transbordo de cargas (Clausen et al. 2015). Outros problemas que afetam a produção fabril e a cadeia de suprimentos formam outros dois grupos devido a quantidade de estudos nos quais eles aparecem. Estes dois grupos são agendamento / reagendamento (Dangelmaier et al. 2007; Al-Nory and Brodsky 2008; Kulkarni and Venkateswaran 2014 e Dehghanimohammadabadi and Keyser 2015) e inventário (Mazhari et al. 2009 e Steber, Huebler and Pruckner 2018) que aparecem em 18% e 10% dos artigos, respectivamente. Preocupados com a dificuldade da atuação conjunta de dois sistemas diferentes, simulação e otimização, e buscando alternativas para melhorar a velocidade de execução e as medidas de desempenho, os pesquisadores como, por exemplo, (Figueras et al. 2013 e Sprock and McGinnis 2016) estudaram a interoperabilidade presente em 8% dos artigos. Outros problemas que representam 16%, podemos citar as filas de espera em sistemas de saúde (Walker et al. 2015 e Wang et al. 2017) e as questões de riscos financeiros (Cobb and Charnes 2003 e Cobb and Charnes 2004).

No segundo tópico da Tabela 1 classificamos os artigos por Área de Atuação e pudemos constatar que mais de 60% deles estão em Produção/Manufatura e Supply Chain/ Logística/Distribuição/Transporte o que pode ser um indicador de que estas áreas são mais visadas pelos pesquisadores, pois, a produção, distribuição e transporte de bens podem ser, mais facilmente, modeladas pelo método SO; Engenharia de Construção/Gerenciamento de Projetos representam 13%, Aplicações em Saúde 7% e outros setores do mercado 14%.

Ainda analisando as informações da Tabela 1, o terceiro tópico, Origem dos Dados, observamos que 35% dos artigos se utilizaram da aplicação de dados reais, independentemente, de replicarem seus estudos na prática operacional. Outros 35% dos casos, aplicação de dados teóricos, foram desenvolvidos com dados definidos pelos pesquisadores para comprovarem suas ideias de melhoria dos problemas estudados. Por fim, 30% dos artigos foram apenas teóricos, isto é, embasados pela literatura científica, como por

exemplo (Ahner, Buss and Ruck 2006) ou propondo melhorias em trabalhos publicados anteriormente (Powell 2015 and Powell 2017).

Concluído os três tópicos do módulo Estrutura da Pesquisa observamos que a maioria dos estudos concentram-se nos problemas de produção, manufatura, Supply Chain e logística, com aplicação de dados reais ou não, o que indica que a resposta para a nossa RQ1 é que os pesquisadores estão tratando o tema SO como a alternativa mais indicada para soluções, cada vez mais otimizadas, dos problemas industriais relacionados ao planejamento de produção (agendamento, manutenção, reagendamento, fluxo de materiais), logística (distribuição, transporte, gestão dos estoques) e a interoperabilidade entre os sistemas de simulação e otimização.

Tabela 1 – Tipo de Problema, Área de Atuação e Origem dos Dados

ESTRUTURA DA PESQUISA

Tipo de Problema	Quantidade	%
Processo industrial	19	28%
Logística	13	20%
Agendamento / Reagendamento	13	18%
Inventário	7	10%
Interoperabilidade	6	9%
Outros	11	15%
Total	69	100%

Área de Atuação	Quantidade	%
Produção / Manufatura	27	39%
Supply Chain / Logística / Distribuição / Transporte	18	26%
Engenharia de Construção e Gerenciamento de Projetos	9	13%
Aplicações em Saúde	5	7%
Outros	10	15%
Total	69	100%

Origem dos Dados	Quantidade	%
Aplicação de dados reais	24	34,80%
Aplicação de dados teóricos	21	30,40%
Teórico	24	34,80%
Total	69	100%

No módulo Método Empregado é composto por três tópicos: softwares, modelo para a SO e resultados esperados. Em relação aos softwares de simulação e otimização contidos na Tabela 2, podemos responder a RQ2, uma vez que, os softwares de simulação mais utilizados nos artigos (20% do total) são, softwares proprietários, o ARENA e o AnyLogic e os de otimização, também proprietários, são o CPLEX e o OptQuest, que juntos, encontram-se em 20% dos artigos. Para o modelo de simulação 55% dos artigos citam outros softwares proprietários e para modelo de otimização o percentual de outros softwares proprietários é 15%. Em se tratando da significativa utilização de softwares proprietários podemos

destacar que, o uso de softwares proprietários, do ponto de vista acadêmico, possui limitações que comprometem o desenvolvimento e teste de novos métodos que podem apresentar contribuições para a literatura referenciada (Trigueiro et al. 2019).

Em relação ao tópico modelo para o SO, a Tabela 2 indica que para a simulação 12% dos artigos utilizaram o método de Monte Carlo para gerarem seus dados de entrada do sistema. Nos demais artigos não encontramos outros métodos estatísticos declarados pelos pesquisadores. Quanto ao método de otimização observamos que em 28% dos artigos foram utilizados meta-heurísticas como solucionador dos problemas. Os métodos que mais apareceram foram Simulated Annealing, Tabu Search e Particle Swarm Optimization, os quais juntos estão em 23% dos estudos.

O último tópico, resultados esperados, do módulo Método Empregado, está dividido em: (i) minimização de custo que está relacionada a problemas como redução de estoques (inventário), redução do consumo de energia elétrica, roteirização e transportes, localização de sites (por exemplo, centro de distribuição, unidade fabril); (ii) maximização da receita que contempla dimensionamento de recursos e mão-de-obra, compra de ações, gestão da carteira de seguros, agendamento, reagendamento; (iii) ganho de produtividade ligado a melhoria do fluxo de materiais, redução de gargalos, plano de manutenção, redução de parada de máquina, interoperabilidade; (iv) nível de serviço que está relacionado com redução do prazo de entrega, redução de fila de espera (por exemplo, healthcare, call center), maior disponibilidade de leitos em hospitais, maior velocidade ao combate a incêndios. Em 12% dos artigos os resultados esperados não estavam, claramente, especificados. Os resultados esperados respondem a RQ3 deste estudo pois, mostram a solução obtida em cada artigo em função dos parâmetros de otimização definidos e utilizados pelos pesquisadores no que tange a formulação da função objetivo, das variáveis do processo e das restrições inerentes ao problema estudado.

Tabela 2 – Softwares Utilizados, Modelo para SO e Resultados Esperados

MÉTODO EMPREGADO					
Software Simulação			Modelo para a SO		
Quantidade	%		Quantidade	%	
ARENA	8	11,6%	Monte Carlo	8	11,6%
AnyLogic	6	8,7%	<i>Simulated Annealing</i>	7	10,2%
d ³ fact	2	2,9%	<i>Tabu Search</i>	5	7,3%
eM-Plant	2	2,9%	<i>Particle Swarm Optimization</i>	4	5,8%
ExtendSim	2	2,9%	<i>Local Search</i>	1	1,4%
FACTS	2	2,9%	<i>Hill Climbing</i>	1	1,4%
SIMUL8	2	2,9%	<i>Ant Colony Optimization</i>	1	1,4%
Outros	28	40,6%	<i>Response Surface</i>	1	1,4%
Não especificado	17	24,6%	<i>Não especificado</i>	41	59,5%
Total	69	100%	Total	69	100%
Software Otimização			Resultados Esperados		
Quantidade	%		Quantidade	%	
CPLEX	9	13,0%	Minimização de custo	22	32%
OptQuest	5	7,2%	Maximização de receita	17	25%
Excel	4	5,8%	Ganho de produtividade	12	17%
MATLAB	4	5,8%	Melhorar nível de serviço	10	15%
JAVA	3	4,3%	Não especificado	8	12%
Gurobbi	2	2,9%	Total	69	100%
Outros	10	14,5%			
Não especificado	32	46,5%			
Total	69	100%			

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve por objetivo fazer uma revisão de literatura dos artigos relacionados a combinação das palavras “simulation AND optimization” publicados pela WSC – (Winter Simulation Conference) entre 1998 e 2018 para respondermos as RQ’s definidas na secção 3.

Considerando-se que ao decorrer do artigo as RQ’s foram respondidas reforçamos aqui os seguintes aspectos:

- Os pesquisadores estão tratando o tema SO como a alternativa mais indicada para soluções, cada vez mais otimizadas, dos problemas industriais, logística e de interoperabilidade entre os sistemas de simulação e otimização. Porém, a grande maioria dos artigos não apresentam se as soluções foram implementadas na prática ou não.
- Na maioria dos artigos encontramos a utilização de softwares proprietários tanto para simulação como para a otimização o que, sob a ótica acadêmica, possui limitações e não trazem novos métodos que contribuam para a literatura referenciada.
- Os artigos que buscaram melhorar a interoperabilidade entre os métodos de simulação e otimização não mostraram se o estudo proposto, de fato, gerou uma integração mais veloz e eficaz entre os sistemas.

Como oportunidade para futuros trabalhos podemos considerar que os estudos relacionados a SO tratem seus temas em aplicações reais que possam refletir seus resultados em benefício efetivo de minimização de custo, maximização de receita e melhores níveis de serviços.

REFERÊNCIAS

- Amaran, S., B. Sharda and S. J. Bury. 2016. *Targeted Incremental Debottlenecking of Batch Process Plants*. Winter Simulation Conference (WSC).
- April, J., M. Better, F. Glover and J. Kelly. 2004. *New Advances and Applications for Marrying Simulation and Optimization*. Winter Simulation Conference (WSC): 80-86.
- Ballou, Ronald H. 2006. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial*. São Paulo: Editora Bookman.
- Banga J. R., C. E. Balsa, C. G. Moles and A. A. Alonso. 2003. *Improving Food Processing Using Modern Optimization Methods*. Trends Food Science Technology: 131–144.
- Bapat, V., D. Sturrock. 2013. *The Arena Product Family: Enterprise Modeling Solutions*. 36th Winter Simulation Conference (WSC): 210-217.
- Booth, A., D. Papaioannou and A. Sutton. 2012. *Systematic Approaches to a Successful Literature Review*. SAGE Publications.
- Ceciliano, W. R. A. 2007. *Aplicação de um Método de Simulação-Otimização na Cadeia Produtiva de Minério de Ferro*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. Sistemas Logísticos.
- Clausen, U., D. Diekmann, J. Baudach, J. Kaffka, and M. Poeting. 2015. *Improving Parcel Transshipment Operations-Impact of Different Objective Functions in a Combined Simulation and Optimization Approach*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Corredor, J. S., N. Celik, S. Asfour, Y. Son. 2011. *Utility Resource Planning Using Modular Simulation and Optimization*. Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC).
- Dehghanimohammadabadi, M., T. K. Keyser. 2015. *Tradeoffs Between Objective Measures and Execution Speed in Iterative Optimization-Based Simulation (IOS)*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Fani, V. 2017. *Optimizing Production Allocation with Simulation in the Fashion Industry: A Multi-Level Hierarchical Optimization Framework Proposal*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Fani, V., R. Bandinelli, R. Rinaldi. 2017. *Optimizing Production Allocation with Simulation in the Fashion Industry: A Multi-Company Case Study*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Figueras I Jove, J., A. Guasch I Petit, P. Fonseca I Casas and J. Casanovas I Garcia. 2013. *Simulation and Optimization for an Experimental Environment to Wildfire Resource Management and Planning: Firefight Project Modelling and Architecture*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Fioroni, M. M., L. A. G. Franzese, T. J. Bianchi, L. Ezawa, L. R. Pinto and G. J. Miranda. 2008. *Concurrent Simulation And Optimization Models For Mining Planning*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Frank, M.; C. LAROQUE, T. UHLIG. 2013. *Reducing Computation Time in Simulation-Based Optimization of Manufacturing Systems*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Ge, X. and E. Kremers. 2015. *Optimization Applied with Agent Based Modelling in the Context of Urban Energy Planning*. Winter Simulation Conference (WSC).

- Gholami, S., H. S. Sarjoughian, G. W. Godding, D. R. Peters and V. Chang. 2014. Developing Composed Simulation and Optimization Models Using Actual Supply-Demand Network Datasets. Winter Simulation Conference (WSC) : 2510-2521.
- Halim, R. A. and M. D. Seck. 2011. The Simulation-Based Multi-Objective Evolutionary Optimization (Simeon) Framework. Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC).
- Hillier, F. S. and G. J. Lieberman, G. J. *Introdução à Pesquisa Operacional*. Editora AMGH Ltda. 9 ed. 1004 p. 2013.
- Hillmann, P., T. Uhlig, G. D. Rodosek and O. Rose. 2016. *Simulation and Optimization of Content Delivery Networks Considering User Profiles and Preferences of Internet Service Providers*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Kotachi, M. 2016. *A Modeling and Simulation Platform for Evaluating Optimization Methods in Container Terminals*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Kulkarni, K. and J. Venkateswaran. 2014. *Iterative Simulation and Optimization Approach for Job Shop Scheduling*. Winter Simulation Conference (WSC): 1620-1631.
- Laroque, C., A. Klaas, J. Fischer, M. Kuntze. 2012. *Fast Converging, Automated Experiment Runs for Material Flow Simulations Using Distributed Computing and Combined Metaheuristics*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Lee, Y. M., R. Horesh and L. Liberti. 2015. *Simulation and Optimization of Energy Efficient Operation of HVAC System as Demand Response with Distributed Energy Resources*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Liu, C., M. Lu and S. Johnson. 2013. *Simulation and Optimization of Temporary Road Network in Mass Earthmoving Projects*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Loesh, C. and Hein, N. 2009. *Pesquisa Operacional. Fundamentos e Modelos*. São Paulo: Saraiva.
- Lu, M. and H. Lam. 2009. *Simulation-Optimization Integrated Approach to Planning Ready Mixed Concrete Production and Delivery: Validation and Applications*. Systems Proceedings of The 2009 Winter Simulation Conference.
- Mazhari, E. M., J. Zhao, N. Celik, S. Lee, Y. Son and L. Head. 2009. *Hybrid Simulation and Optimization-Based Capacity Planner for Integrated Photovoltaic Generation with Storage Units*. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference.
- Moeller, A., M. Prox, M. Schmidt and H. Lambrecht. 2009. *Simulation and Optimization of Material and Energy Flow*. Systems Proceedings of The 2009 Winter Simulation Conference.
- Oliveira, J. B., R. S. Lima and J. A. B. Montevechi. 2016. *Perspectives and Relationships in Supply Chain Simulation: A Systematic Literature Review*. Simulation Modelling Practice and Theory, 62, 166–191.
- Sobottka, T., F. Kamhuber, J. Henjes and W. Sihn. 2017. *A Case Study for Simulation and Optimization Based Planning of Production and Logistics Systems*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Sousa Jr, W. T., J. A. B. Montevechi, R. C. Miranda, and A. T. CAMPOS. 2019. *Discrete Simulation-Based Optimization Methods for Industrial Engineering Problems: A Systematic Literature Review*. Computers & Industrial Engineering 128. p. 526–540. 2019.
- Sprock, T. and L. F. McGinnis. 2015. *A Simulation Optimization Framework for Discrete Event Logistics Systems (DELS)*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Steber, D., J. Huebler, and M. Pruckner. 2018. *A Comprehensive Electricity Market Model Using Simulation and Optimization Techniques*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Taha, H. A. 2006. *Operations Research: An Introduction*. 8.Ed, Prentice Haal.
- Thomé, A. M. T., L. F. Scavarda and A. J. Scavarda. 2016. “Conducting Systematic Literature Review in Operations Management”, Production Planning & Control, v. 27 n. 5: 408-420.
- Uriarte, A. G., M. U. Moris, A. H. C. Ng and J. Oscarsson. 2015. *Lean, Simulation and Optimization: A Win-Win Combination*. Winter Simulation Conference (WSC): 2227-2238.
- Walker, D. E. Shanks, D. Montoya, C. Weiman, E. Perez and L. Depagter. 2015. *Towards a Simulation Based Methodology for Scheduling Patient and Providers at Outpatient Clinics*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Wang, W., J. Li, Y. JIA and M. SANTOS. 2017. *Agent-Based Simulation and Optimization of Hospital Utilization in a Regional Network*. Winter Simulation Conference (WSC).
- Wiston, W. L. 2004. *Operations Research: Applications an Algorithms*. 4.Ed. Thomson. California.
- Martinhago, A. Z. *Otimização para a Locação de Pátios de Estocagem para Exploração de Impacto Reduzido na Amazônia Brasileira*. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras: UFLA. 162 p. 2012.

BIOGRAFIA DOS AUTORES

EDGARD LIBERALI FILHO é Engenheiro Mecânico formado pela FEI – Faculdade de Engenharia Industrial e mestrando em Engenharia de Sistemas Logísticos na Escola na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Sua carreira profissional desenvolveu-se na área de Supply Chain atuando em empresas multinacionais de bens e consumo e do varejo alimentar e não-alimentar. Seu endereço de e-mail é eliberali@usp.br.

MARY ANNY MORAES SILVA LEMSTRA é Engenheira de Produção e mestrando em Engenharia de Produção na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Sua carreira profissional desenvolveu-se na área de Planejamento e Controle da Produção atuando em empresas nacionais e multinacionais na área de bens e consumo, bem como Gestão de Projetos na Marinha do Brasil. Seu endereço de e-mail é m.a.lemstra@usp.br.

Liberali, Lemstra, and Dionísio

LAIS MILENE GOMES DIONÍSIO é Engenheira de Produção e mestrando em Engenharia de Produção na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Sua carreira profissional desenvolveu-se na área de Suprimentos. Seu endereço de e-mail é lais_milene@yahoo.com.br.