

A Simulação na Pesquisa Operacional: uma revisão literária

Cláudia Daiane Pereira, EPA, UNESPAR/Campus de Campo Mourão

claudia_daiane97@hotmail.com

Gayego Ferraz da Cunha, EPA, UNESPAR/Campus de Campo Mourão

gf.cunha@hotmail.com

Mariana Gonçalves da Silva, EPA, UNESPAR/Campus de Campo Mourão

marianags.eng@outlook.com

Resumo: A simulação é uma das técnicas mais usadas em Pesquisa Operacional (PO) que permite a formação de cenários, onde através destes, pode-se orientar o processo de tomada de decisão, preceder análises e avaliações de sistemas e propor soluções para a melhoria de desempenho. O objetivo deste estudo foi demonstrar definições e conceitos envolvendo a PO e encontrar e revisar trabalhos com o tema Simulação. Este presente trabalho justificou-se em demonstrar como a Simulação pode ser aplicada em diferentes tipos de sistemas e oferecer resultados precisos, o que seria inviável testar em uma situação real. O desenvolvimento da pesquisa foi qualitativo. E ao término do mesmo, pode-se concluir que a simulação pode ser eficiente à diversos tipos de sistemas contanto que seja desenvolvida adequadamente por profissionais capacitados, não apenas no desenvolvimento propriamente dito, mas também na interpretação dos resultados.

Palavras-Chave: Simulação; Pesquisa Operacional; Estudo de Caso.

1. Introdução

Embora o termo Simular remeta a contemporaneidade devido à associação á computadores e programas modernos, é fatídico que a Simulação teve origem em 1940 em um trabalho do matemático Von Neumann, que utilizou a expressão análise de Monte Carlo para nomear uma técnica matemática empregada na solução de problemas da física nuclear para os quais uma solução experimental seria muito mais dispendiosa ou um tratamento analítico seria muito complicado, ou seja, inviável (LOESH & HEIN, 2009).

Silva (2005) expõe que a Simulação é uma das técnicas mais gerais usadas em Pesquisa Operacional (PO), que permite a formação de cenários, onde através destes, pode-se orientar o processo de tomada de decisão, preceder análises e avaliações de sistemas e propor soluções para a melhoria de desempenho.

Simular significa reproduzir o funcionamento de um sistema, com o auxílio de um modelo que permite testar algumas hipóteses sobre o valor de variáveis controladas e, então as conclusões deste, são usadas para melhorar o desempenho do sistema em estudo (SILVA, 1998).

No caso das engenharias, a adoção da técnica de simulação tem gerado diversos benefícios como: a previsão de resultados na execução de uma determinada ação; redução de riscos na tomada decisão; identificação de problemas antes mesmo de suas ocorrências; eliminação de procedimentos em arranjos industriais que não agregam valor a produção; realização de análises de sensibilidade; redução de custos com o emprego de recursos (mão-de-obra, energia, água e estrutura física); revelação da integridade e viabilidade de um determinado projeto em termos técnicos e econômicos (SILVA, 2005).

O objetivo deste trabalho é expor definições e conceitos da Pesquisa Operacional, mais especificamente o subitem desta, a Simulação e realizar a revisão de literatura de estudos de caso com este tema.

De acordo com ABEPRO (2008), a Pesquisa Operacional é uma subárea da Engenharia de Produção a qual trata da resolução de problemas reais envolvendo situações de tomada de decisão, através de modelos matemáticos habitualmente processados computacionalmente. Aplica conceitos e métodos de outras disciplinas científicas na concepção, no planejamento ou na operação de sistemas para atingir seus objetivos. Procura, assim, introduzir elementos de objetividade e racionalidade nos processos de tomada de decisão, sem descuidar dos elementos subjetivos e de enquadramento organizacional que caracterizam os problemas.

O presente estudo justifica-se em demonstrar como a Simulação pode ser aplicada a diferentes tipos de sistemas e oferecer resultados que seriam inviáveis numa situação real.

2. Teoria de base

Pesquisa Operacional é definida como a aplicação de métodos científicos a problemas complexos auxiliando assim no processo de tomada de decisões, como por exemplo: projetar, planejar e operar sistemas em situações que exigem alocações eficientes de recursos escassos. Resumidamente, pode-se dizer que PO é uma abordagem científica para a tomada de decisões. A denominação PO é o motivo de análises e cogitações, pois não reflete a abrangência atual da área e pode dar a infida impressão de estar limitada à análise de operações. Alguns autores sugerem outras denominações preferíveis semanticamente, como análise de decisões, entretanto, o termo PO é bastante difundido no âmbito das engenharias (particularmente a Engenharia de Produção) e outras ciências (BATALHA, 2008).

Dentro da Pesquisa Operacional existem ainda alguns subitens como a que será demonstrada neste trabalho, a Simulação, esta, é uma das técnicas mais gerais usadas em PO e

significa reproduzir o funcionamento de um sistema com o auxílio de um modelo que permite dessa forma testar algumas hipóteses sobre o valor de variáveis controláveis, o que seria inviável na situação real, devido a custos, tempo, entre outros. As análises e conclusões dessa simulação servem para ajudar a melhorar o desempenho do sistema em estudo (SILVA, 1998).

Os modelos matemáticos de simulação, ou simplesmente modelos de simulação, podem ser classificados em:

Estáticos ou dinâmicos ou Monte Carlo: denominam-se como modelos estáticos os que visam representar o estado de um sistema em um instante ou que em suas formulações não se leva em conta a variável tempo, enquanto os modelos dinâmicos são formulados para representarem as alterações de estado do sistema ao longo da contagem do tempo de simulação;

Determinístico ou estocástico: são modelos determinísticos os que em suas formulações não fazem uso de variáveis aleatórias, enquanto os estocásticos podem empregar uma ou mais. Um modelo estocástico de simulação tem uma ou mais variáveis aleatórias como entrada. Estas entradas aleatórias levam a saídas aleatórias que podem somente ser consideradas como estimativas das características verdadeiras de um modelo.

Discretos ou contínuos: são modelos discretos aqueles em que o avanço da contagem de tempo na simulação se dá na forma de incrementos cujos valores podem ser definidos em função da ocorrência dos eventos ou pela determinação de um valor fixo, nesses casos só é possível determinar os valores das variações de estado do sistema nos instantes de atualização da contagem de tempo enquanto para os modelos contínuos o avanço da contagem de tempo na simulação dá-se de forma contínua, o que possibilita determinar os valores das variáveis de estado a qualquer instante (SANTOS, 1999; SILVA, 2005).

Santos (1999) cita etapas básicas de um projeto de simulação, sendo elas:

- **Formulação do problema:** cada projeto deve começar com a definição do problema a ser resolvido. É importante que a definição esteja clara para todos que participam do projeto.
- **Determinação dos objetivos e planejamento global do projeto:** o objetivo indica as questões que devem ser respondidas pela simulação. Neste ponto deve ser considerado se a simulação é a metodologia apropriada para o problema. Nesta fase deve-se fazer também uma estimativa do tamanho da equipe envolvida, custo, tempo, etc.
- **Construção do Modelo:** a construção de um modelo de um sistema é provavelmente mais arte que ciência. Embora não seja possível fornecer um conjunto de instruções que possibilitem construir cada vez modelos apropriados, existem algumas linhas mestres que podem ser seguidas. A arte de modelar é melhorada se se conseguir extrair as partes essenciais de um problema, selecionar e modificar as considerações

básicas que caracterizam o sistema e então enriquecer e elaborar o modelo até a aproximação de resultados úteis. Assim, é melhor começar com um modelo simples e ir aumentando sua complexidade. Entretanto a complexidade do modelo não necessita exceder o necessário para acompanhar os propósitos para qual o modelo foi construído.

- Coleta de dados: há uma interação constante entre a construção de um modelo e a coleta dos dados de entrada necessários. Geralmente quanto mais complexo o modelo, mais dados são necessários. Como a coleta de dados toma um tempo muito grande do tempo total de um projeto de simulação, é necessário começar esta coleta o mais cedo possível.
- Codificação: como a maioria dos sistemas do mundo real resulta em modelos que requerem um grande número de informações e de cálculos, o modelo deve ser programado em um computador.
- Testes: após a codificação dos programas é necessário testá-los para verificar se ele não tem algum erro de programação. Deve-se preparar um conjunto de dados com a finalidade exclusiva de se testar os programas.
- Validação: nesta fase se verifica se o modelo é uma representação precisa do sistema que se quer modelar. É nesta fase que se faz a chamada calibração do modelo, ou seja, são feitos ajustes até que os resultados nos deem garantias de que o modelo é uma boa representação do problema sendo modelado.
- Produção: nesta etapa o modelo é colocado em produção e os dados obtidos são analisados. A produção pode envolver a execução, várias vezes, do modelo, variando-se os dados e os parâmetros de entrada.
- Avaliação global dos resultados: nesta fase avalia-se se os resultados obtidos estão condizentes com os esperados. Caso sejam encontradas discrepâncias podemos ter que voltar à etapa de construção do modelo.
- Documentação e implementação: é fundamental, como em qualquer projeto, que a simulação seja documentada de forma clara e concisa. Os resultados obtidos também devem ser documentados e arquivados. A implantação, se o usuário participou do processo, tende a ser bem mais simples do que nos casos em que o usuário não teve uma participação ativa.

3. Metodologia

O método de abordagem utilizado para o desenvolvimento da pesquisa foi o qualitativo. A pesquisa classifica-se, quanto aos fins, como descritiva e, quanto aos meios, como bibliográfica e virtual.

Na Revisão de Literatura foram buscados trabalhos no portal Google acadêmico onde foram encontrados os estudos com o tema desejado nesta pesquisa.

4. Revisão de Literatura

Medeiros, Moster e Neri (2014), procuraram demonstrar em seu trabalho, importância do estudo da simulação computacional como uma área relevante de pesquisa, também conceituação de simulação além de suas vantagens, desvantagens e metodologia. E assim as aplicações podem ocorrer em quase todas as áreas que lidam de maneira geral pode ser aplicado um sistema de computador de simulação devido facilidade. Com isso têm-se alguns exemplos de sistemas que pode usar a simulação como os sistemas de produção, sistemas de transporte e estocagem, sistemas computacionais, sistemas administrativos e sistemas de prestação de serviços. A simulação também admite aprofundar conhecimento em sistemas e auxiliar no entendimento de vários elementos de um sistema.

Carneiro (2014) mostrou o modelo de simulação que foi desenvolvido resultados de aplicações do trabalho em minas de uma empresa, assim detalham-se os processos de tráfegos dos caminhões carregados e vazios entre as origens e destinos da mina, e assim o modelo de simulação por eventos discretos foi implementado pelo software Arena 14.0. Os dois principais resultados da aplicação do modelo de simulação foram à estatística das chegadas de caminhões nos cruzamentos em um tempo que vai de zero a seis segundos, que no trabalho são consideradas como eventos críticos, e o outro resultado foram à avaliação e classificação da intensidade de tráfego dos trechos de leve, moderada e alta.

Almeida et al. (2013) neste trabalho buscou-se elaborar um modelo aprimorado em inteligência computacional e utilizando a técnica dos conjuntos nebulosos, para auxiliar a tomada de decisão. Para uma solução foi determinada a implantação e simulação do modelo de inteligência computacional, que fosse permitida a alocação otimizada de usuários em redes macro-femto co-canal que são dispositivos empregados para melhorar a cobertura de redes móveis em áreas pequenas, ligadas localmente, baseado em um modelo fuzzy para diminuir o consumo de bateria sem prejudicar a qualidade. Tendo um resultado satisfatório, pois o modelo consegue uma economia de energia efetiva sem afetar as características da rede e distribuindo melhor os usuários.

Corrêa, Mello e Pereira (2014) visaram aplicar a simulação a eventos discretos na linha de montagem de componentes automotivos e identificar o impacto do fator humano na linha. Com relação ao fator humano muitas vezes são representadas nas simulações, com comportamento parecido com máquinas, porém na prática não é assim. Com resultados dos modelos simulação responderam questões como capacidade produtiva, identificação dos gargalos e alocação de recursos. Já fator humano na linha de produção pode-se calcular a variabilidade envolvida em cada operação, para representar o comportamento de cada operador de forma realista, assim verificou-se como mudanças no processo originadas por essas oscilações impactam na produção.

Sabbadini et al. (2014) teve como finalidade avaliar a situação atual e identificar oportunidades de melhorar a gestão da capacidade de atendimento em qualquer setor do hospital. O serviço de pronto-atendimento está com demanda elevada dos seus serviços, assim o setor está sobrecarregado. Logo se desenvolveu um estudo que resultou no modelo de simulação de eventos discretos. Esta simulação mostrou-se aplicabilidade de pesquisa operacional em serviços de saúde com problemas complicados. Assim os gestores puderam constatar os benefícios da simulação de eventos discretos recurso de avaliação de cenários e também oferece apoio à tomada de decisão.

Santos et al. (2014) foram analisados através de técnicas de simulação e otimização a dinâmica operacional do processo de fabricação de placas de sinalização em uma empresa de pequeno porte. E assim utilizou-se o software Arena que é um dos mais utilizados. E com a aplicação do modelo observou-se que o modelo computacional pode ser aplicado para simular a dinâmica operacional no processo de produção dessas placas e na previsão da variável do Número de Placas Produzidas em um Dia. E também com a aplicação gerou um conhecimento a mais sobre o processo para todos os envolvidos e a identificação de oportunidades para melhorar o processo.

Santos e Alves (2014), buscaram analisar através de simulação e otimização a dinâmica operacional de um pequeno restaurante self-service. O software utilizado foi o ARENA, onde foi selecionado a variável tempo na fila da balança, que através de simulação-otimização se observou que para melhorar o fluxo de clientes no restaurante, deve-se utilizar uma mesa de buffet com 12 lugares.

Da Silva et al.(2014) teve por objetivo avaliar frameworks para aplicação de redes neurais artificiais acoplados a eventos discretos, através da utilização do software URURAU.A análise busca encontrar mecanismos que podem possibilitar a realização de decisões através de outros algoritmos integrados ao código do modelo de simulação. Os resultados obtidos mostraram que a utilização do framework ENCOG é adequado para a criação das redes neurais artificiais, não apresentando erros de funcionamento e nem incompatibilidades com o código do software URURAU.

Cardoso, Rangel e Shimoda (2012), utilizaram simulação computacional com projeto de experimentos como ferramenta de avaliação da dinâmica das novas operações e análise dos métodos de manuseio de carga relacionadas ao novo sistema logístico (instalação de balança para controle de carga). A partir dos resultados se observa que a utilização de procedimentos computacionais pode proporcionar melhor escoamento da produção.

Medeiros et al.(2014), procuraram através de modelos de simulação computacional, realizar análises do comportamento operacional da cabotagem do estado do Amazonas utilizando serviço feeder. Os estudos revelaram que é necessário avaliar o volume de cargas conteinizadas que o estado é capaz de gerar e atrair, para que evite-se investimentos

ineficientes na criação de infraestrutura de transporte que não atendam a demanda real ou estimada.

Formigoni et al. (2015), aplicaram no trabalho a simulação computacional no processo de check-in do aeroporto de Guarulhos, utilizando o software ARENA. A empresa encontra problemas acarretados do excesso de usuários no seu sistema de atendimento de check-in em determinados momentos, e por consequência gera terminais lotados e filas grandes. Com os resultados obtidos se sugere o acréscimo de dois funcionários com função de auxiliar os quatro balcões de atendimento nos horários de maior movimento, com este acréscimo, se possibilita a diminuição do tempo de espera nas filas.

5. Considerações finais

A simulação em geral é definida como uma experimentação computacional, onde os inputs são os dados e os outputs, os resultados a serem usados para a melhoria do sistema real.

Nos trabalhos encontrados e revisados, pôde-se observar a aplicabilidade e eficiência da simulação em diversas áreas, em locais como hospitais, indústrias, supermercados, restaurantes entre outros setores da sociedade, pois, a sua utilização traz muitas vantagens como identificação de gargalos, aumento de capacidade produtiva, redução tempo de espera, redução de setup, melhor aproveitamento de oportunidades, etc., além de principalmente auxiliar na tomada de decisão. Porém, é importante salientar que a simulação possui certa limitação, já que o preço de um bom modelo pode ser elevado e deverá exigir um complicado processo de desenvolvimento e os seus resultados podem ser difíceis de ser analisados, necessitando assim de profissional altamente capacitado para desempenhar determinada função.

6. Referências

ALMEIDA, L. et al. GREEN-FUZZY - *Implementação de um modelo de alocação de usuários em redes macro-femto co-canal: uma abordagem baseada em simulação*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. A Pesquisa operacional na busca de eficiência nos serviços públicos e/ou privados, -. 2013, Natal/rn. XLVSBPO. Natal/rn: -, 2013. p. 2885 - 2895. Disponível em:< <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0370.pdf>> Acesso em: 19/10/2015.

BATALHA, M.O. *Introdução à Engenharia de Produção*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008

CARNEIRO, W. M.; *Modelo de simulação computacional para avaliação de segurança do tráfego de caminhões em minas a céu aberto*, p. 534-545. In: IN ANAIS DO XVII SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA - SPOLM 2014 [**Blucher Engineering Proceedings**, N.1, V.1]. São Paulo: Blucher, 2014. ISSN 2358-5498, DOI 10.5151/marine-spolm201. Disponível em:

IX EEPA

IX ENCONTRO DE ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL
19 A 20 DE NOVEMBRO DE 2015

<<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/modelo-de-simulao-computacional-para-avaliacao-de-segurana-do-trfego-de-caminhes-em-minas-a-cu-aberto-9882>> Acesso em: 19/10/2015.

CARDOSO, L. D. *et al.* *Simulação computacional para análise do transporte de tijolos produzidos no norte do estado do rio de janeiro.* 2012. Disponível em: <<http://www.podesenvolvimento.org.br/inicio/index.php?journal=podesenvolvimento&page=article&op=view&path%5B0%5D=142>>. Acesso em: 18/10/2015.

CORRÊA, J. É.; MELLO, C. H. P.; PEREIRA, T. F. *Uso de simulação de eventos discretos para avaliação de uma linha de montagem de uma empresa do ramo automotivo e os impactos do fator humano.* **E-locação: Revista Científica da Faex**, -, v. -, n. -, p.37-57. Edição 6 - Ano 3. Disponível em: <http://www.faex.edu.br/periodicos/index.php/e-locacao/article/view/53>> Acesso em: 19/10/2015.

FORMIGONI, A. *et al.* *Aplicação da simulação computacional no processo de check-in do aeroporto internacional de guarulhos.* **Sadsj - South American Development Society Journal**. 2015. Disponível em: <http://www.sadsj.org/index.php/sadsj/article/view/18/pdf_9>. Acesso em: 19/10/2015.

LOESH, C., HEIN, N. *Pesquisa Operacional.* Fundamentos e modelos. São Paulo: Saraiva, 2009.

MEDEIROS, R. L. *et al.* *Simulação computacional aplicada à análise operacional de serviço feeder para a cabotagem do estado do amazonas.* XVII SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA AGOSTO DE 2014. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/simulao-computacional-aplicada-anlise-operacional-de-servio-feeder-para-a-cabotagem-do-estado-do-amazonas-9897>>. Acesso em: 19/10/2015.

MEDEIROS, L. F. *et al.* *A simulação computacional como técnica de pesquisa na administração.* **Revista Intersaberes**, -, v. 9, n., p.441-459, jul. 2014. Jul.- Dez. 2014. Disponível em: <http://grupouninter.com.br/intersaberes/index.php/revista/article/view/800> >Acesso em: 19/10/2015.

MOREIRA, D.A. *Pesquisa operacional.* Curso introdutório. São Paulo: Cengage Learnig, 2010.

SABBADINI, F. S. *et al.* *A Simulação em Serviço de Pronto Atendimento Hospitalar.* **Revista de Administração da Fatea - Raf**, -, v. 9, n. 9, p.110-120, ago. 2014. Meses. Disponível em: <<http://www.publicacoes.fatea.br/index.php/raf/article/viewArticle/1193>> Acesso em: 19/10/2015.

SANTOS, J.A.A. *et al.* *Modelagem, simulação e otimização da dinâmica operacional de um pequeno restaurante: um estudo de caso.* 2014.. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus de Medianeira. DOI: 10.15628/holos.2014.1099. Disponível em: <<http://search.proquest.com/openview/eaef2c3475bb58e87af75cf7f277128d/1?pq-origsite=gscholar>>. Acesso em: 18/10/2015.

SILVA, E.M. *et al.* *Pesquisa Operacional.* Para cursos de: economia, administração e ciências contábeis. São Paulo: Atlas, 1998.

SANTOS, J.A. *et al.* *Modelagem, simulação e otimização da dinâmica operacional do processo de fabricação de placas de sinalização.* **Rgeintec**, [s.l.], v. 4, n. 1, p.692-703, 18 mar. 2014. Universidade Federal de Sergipe. DOI: 10.7198/s2237-0722201400010022. Disponível em: <<http://www.revistageintec.net/portal/index.php/revista/article/view/278>> Acesso em: 19/10/2015.

SANTOS, M.P. *Introdução à Simulação Discreta.* Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 1999. Disponível em: <<http://www.mpsantos.com.br/simul/arquivos/simul.pdf>> . Acesso em:19/10/2015.



IX EEPA

IX ENCONTRO DE ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL
19 A 20 DE NOVEMBRO DE 2015

SILVA, L. C. *Simulação de Processos*: Universidade Estadual do Espírito Santo. 2005. Disponível em: <http://www.agais.com/simula.htm>. Acesso em: 19/10/2015.

SILVA, M. G. D. *et al. Decisão com redes neurais artificiais em modelos de simulação a eventos discretos*. 2014. Disponível em: <http://www.podesenvolvimento.org.br/inicio/index.php?journal=podesenvolvimento&page=article&op=view&path%5B0%5D=335>. Acesso em: 18/10/2015.