Proposta de uso de *software open source* para a aplicação da metodologia Facilitated Simulation em simulação à eventos discretos

Helio Tavares de Sá Neto
Centro de Inovação em Modelagem e Otimização de Sistemas, Departamento de Engenharia Mecânica e Produção, Universidade Federal de São João del Rei
Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, 36307-352
heliotavares3108@outlook.com

Wilson Trigueiro de Sousa Júnior
Centro de Inovação em Modelagem e Otimização de Sistemas, Departamento de Engenharia Mecânica e Produção, Universidade Federal de São João del Rei
Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, 36307-352
wilson.trigueiro@ufsj.edu.br

Alex de Andrade Soares
Centro de Inovação em Modelagem e Otimização de Sistemas, Departamento de Engenharia Mecânica e Produção, Universidade Federal de São João del Rei
Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, 36307-352
arexandrade@gmail.com

Allexandre Fortes da Silva Reis
Centro de Inovação em Modelagem e Otimização de Sistemas, Deparatamento de Engenharia Mecânica e Produção, Universidade Federal de São João del Rei
Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, 36307-352
afortes@ufsj.edu.br

Pietro Tófoli de Araújo
Centro de Inovação em Modelagem e Otimização de Sistemas, Departamento de Engenharia Mecânica e Produção, Universidade Federal de São João del Rei
Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del Rei, 36307-352
pietrotofoli@aluno.ufsj.edu.br

RESUMO

Nos problemas de alocação de recursos para sistemas da área da saúde, surge a metodologia Facilitated Simulation como ferramenta para assistência no desenvolvimento de projetos de simulação que podem auxiliar o processo de tomada de decisão, que nesses casos impactam diretamente nos custos de operação e níveis de prestação de serviço. O presente artigo avaliou as fases em que a referida metodologia pode se beneficiar da utilização do *software open source* JaamSim para modelagem computacional. A partir de um objeto de estudo da área da saúde selecionado na literatura (simulação de uma Unidade Básica de Saúde) que utilizou de software pago de simulação, foi constatado como resultado que o software proposto atende à todas as expectativas das fases da metodologia em que é necessário a: modelagem computacional das variáveis, geração de dados, estruturação de cenários para análise e igual ou super se comparado com um *software* comercial.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

PALAVRAS CHAVE. Facilitated Simulation, Simulação à Eventos Discretos, *Software open-source*.

Tópicos (Simulação, PO na Área de Saúde)

ABSTRACT

In healthcare resource allocation problems, the Facilitated Simulation methodology emerges as a tool to assist the development of simulation projects that can support the decision-making process, which directly impact operational costs and service levels in these cases. This article evaluates the phases in which the aforementioned methodology can benefit from the use of the open-source software JaamSim for computational modeling and analysis. Through a literature-selected case study from the healthcare field (simulation of a Basic Health Unit) that utilized off-the-shelf simulation software, it was found that the proposed software meets all expectations of the methodology's phases where computational modeling of variables, data generation, scenario structuring for analysis, and, in equal or superior terms, compared to commercial software.

KEYWORDS. Facilitated Simulation, Discrete Event Simulation, Open-source Software.

Paper topics (Simulation, OR in Healthcare)

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

1. Introdução

Dentro do campo das simulações, a simulação à eventos discretos (SED) é uma das técnicas mais utilizadas [Robinson, 2005]. Por ser uma ferramenta que ajuda o entendimento de problemas e processos complexos, o SED tem sido utilizado na resolução de problemas em diversas áreas, desde aplicações nas indústrias até nas áreas de saúde e militar [Collins et al., 2021]. Os modelos gerados têm como objetivo recriar os comportamentos dinâmicos do sistema real [Gupta et al., 2010] bem como suas interações entre indivíduos, recursos e seus ambientes, e através de cenários hipotéticos realizar práticas potenciais e opções estratégicas, afim de encontrar os cenários mais eficazes e eficientes, com menores investimentos [Zhang, 2018]. Por seu baixo custo, alta flexibilidade e agilidade, a ferramenta SED é uma técnica extremamente útil como suporte nas tomadas de decisões [Jadrić et al., 2014].

Apesar de a simulação de eventos discretos ser uma ferramenta de ajuda para tomada de decisão, algumas empresas, especialmente pequenas e médias, acabam encontrando dificuldade na hora de sua implementação [Oliveira et al., 2023]. As maiores dificuldades enfrentadas são em lugares (i) onde se tem restrição quanto ao dinheiro, tanto para investir em estruturas para coleta de dados quanto na contratação de pessoas qualificadas para realizar analise desses dados [Teerasoponpong e Sopadang, 2021]; [Saez et al., 2018]; (ii) onde existe a falta de pessoas que possuam conhecimento em relação a modelagem e a SED, não conseguindo assim tirar proveito da ferramenta e possuindo dificuldade de representar modelos complexos e as características do sistema real [Teerasoponpong e Sopadang, 2021]; [Mittal et al., 2018]; (iii) e onde necessita de uma ferramenta que seja flexivel e seja implementada rapidamente [Barlas e Heavey, 2016]. Uma alternativa viável e estudada por [Robinson et al., 2014] é a utilização da metodologia Facilitated Simulation, que tem como base a criação de modelos rápidos e ”sujos”que podem ser descartados após sua aplicação e não tem como foco principal a acuracidade, o que permite uma coleta de dados mais simples e com menor custo. O principal objetivo desses modelos é gerar discussões entre as partes interessadas e gerar entendimento sobre o problema e o processo de forma mais rápida e menos custosa.

Devido ao aumento da popularidade de técnicas de simulação, o número de diferentes *softwares* cresceu desde os anos 80 [Fumagalli et al., 2019]; [Hlupic e Mann, 1995]. Portanto escolher o *software* adequado é necessário para um resultado mais eficaz e eficiente. Porém os altos custos de licenças de pacotes, geralmente, é um dos fatores para empresas de médio e pequeno porte não adotarem a aplicação de metodologias de simulação [Dagkakis e Heavey, 2015]. Os preços podem variar, dependo dos recursos necessários, chegando até dez mil dólares, sem contar com os custos de manutenção e de serviço anual [Lang et al., 2021]. Devido a esses fatores a utilização de um *software open source* (OS) é uma alternativa atraente para empresas que buscam menores investimentos no momento de aplicações de SED.

1.1. Objetivos

Portanto, esse trabalho tem como objetivo geral propôr um *software open source* de modelagem e SED que tenha as características necessárias para realizar a metodologia Facilitated Simulation.

Como objetivos específicos pretende-se:

- Selecionar um *software open source* para modelagem e SED;
- Selecionar um objeto de estudo da área da saúde;
- Definir recursos/etapas do Facilitated Simulation que são influenciados pelo *software* de modelagem e SED;

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

- Modelar o objeto de estudo no *software* selecionado;
- Avaliar o modelo gerado pelo *software* para com os recursos necessários para realizar a metodologia Facilitated Simulation.

A estrutura do trabalho segue como: seção 2, revisão da literatura, seção 3, metodologia, seção 4, resultados e discussões, seção 5, conclusão, seção 6, agradecimentos e por último as referências.

2. Revisão Bibliográfica

Nessa seção são apresentados os artigos selecionados nas bases de dados Web of Science, Scopus e Google Acadêmico, em pesquisas para os termos: ”facilitated simulation”, ”facilitated AND simulation”, ”open source AND simulation”e ”simulation AND open source AND framework”. Como critério de inclusão, foram selecionados os artigos que trataram sobre a teoria e/ou implementação da metodologia Facilitated Simulation e artigos que trabalharam a temática de *software open source* de simulação à eventos discretos.

2.1. Facilitated SED

Em uma busca pela literatura recente sobre o uso da metodologia Facilitated SED, é observado que há um grande foco na área da saúde [Oliveira et al., 2023]. A Tabela 1 faz referência sobre a origem, data, método e setor acerca dos trabalhos encontrado na literatura utilizando a técnica Facilitated SED.

Referência	Setor aplicado	País onde foi estudado	Método utilizado
Oliveira et al. [2023]	Industrial	Brasil	FaMoSim
Tako et al. [2020]	Saúde	Reino Unido	SIMTEGR8
Kotiadis e Tako, [2018]	Saúde	Reino Unido	PartiSim
Tako e Kotiadis, [2018]	Saúde	Reino Unido	PartiSim
Proudlovea et al. [2017]	Saúde	Itália & Reino Unido	PartiSim & BPMN (*Business Process Model and Notation*)
Tako e Kotiadis, [2015]	Saúde	Reino Unido	PartiSim
Kotiadis et al. [2014]	Saúde	Reino Unido	PartiSim
Robinson et al. [2014]	Saúde	Inglaterra	SimLean
Robinson et al. [2012]	Saúde	Inglaterra	SimLean

Tabela 1: Estudos encontrados que tratam sobre a metodologia Facilitated SED
Fonte: Autores

Um dos casos estudos foi realizado por [Robinson et al., 2014] em um hospital universitário no noroeste da Inglaterra. O foco do estudo foi na melhoria do tempo de espera do ambulatório de oftalmologia. A aplicação da metodologia Facilitated SED, ajudou na resolução do problema, gerando e implementando um modelo que diminuía em 15% no tempo total de espera do paciente. Algo interessante relatado nesse estudo de caso, foi que a apresentação do modelo computacional no *workshop* foi um fator crucial na mudança de pensamento dos médicos e enfermeiros, pois antes eles acreditavam que não tinha o que melhorar no processo a não ser as próprias pessoas.

No estudo realizado por [Kotiadis e Tako, 2018] em um centro do serviço nacional de saúde do Reino Unido que realiza cirurgias em pacientes com obesidade mórbida, farmacoterapia e tratamento de estilo de vida. O objetivo desse estudo visava avaliar o impacto do aumento de recursos, como médicos e cirurgiões, e/ou reduzir o número de pacientes encaminhados ao serviço, no tempo de espera para a realização de tratamento. A partir da geração e simulação de oito cenários hipotéticos, chegou-se à conclusão que era necessário a contratação de mais cirurgiões e médicos, bem como uma nova sala para operações para atingirem os níveis de atendimento necessários. Para a aplicação desse estudo foi utilizado a metodologia PartiSim, que foi proposta por [Tako e Kotiadis, 2015], que é um estilo de Facilitated Simulation focado na utilização do SED na área da saúde.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

Com a chegada da pandemia tornou-se mais difícil realizar projetos e estudos presencialmente, tendo isso em vista [Take e Kotidais, 2021] remodelaram a estrutura do PartiSim, para conseguir realizar os *workshops* e as etapas propostas de forma virtual. A fim de expandir a atuação do Facilitated Simulation com a utilização de SED, [Oliveira et al., 2023] propôs a estrutura denominada FaMoSim, que tem como objetivo viabilizar a aplicação do Facilitated com formatos de reuniões tanto presenciais quanto onlines. Essas duas novas abordagens são essências, tendo em vista que as reuniões híbridas serão predominantes no período pós pandemia [Hameed et al., 2021].

O trabalho realizado por [Proudlovea et al., 2017] utilizou o método PartiSim para realizar o Facilitated SED em três casos, sendo um em um hospital na Itália e os outros dois no hospital Salford Royal situado no Reino Unido. Em todos os casos foi estudado o fluxo dos pacientes. O primeiro estudo que foi realizado na Itália, tinha como objeto de estudo um ambulatório de ortopedia e como objetivo investigar a curva de *trade-off* entre a utilização da equipe e o tempo total de espera do paciente, além de avaliar o impacto do agendamento das consultas. No hospital do Reino Unido foi aplicado a metodologia na via não programada de emergência do idoso e medicina complexa, assim como no fluxo pelas salas de cirurgia e neurologia. Os objetivos foram, respectivamente, reduzir o tempo de espera dos pacientes para assim aumentar a capacidade de atendimento e estudar a reconfiguração dos recursos e fluxos de pacientes.

2.2. *Software open source* para SED

Para [Lang et al., 2021] a utilização de *softwares open source* é uma grande alternativa para aqueles que buscam e/ou necessitam de menores investimentos para utilizar metodologias de simulação. Em seu estudo, Lang busca realizar uma comparação entre os *softwares* comerciais e os *open source*. Para a seleção dos *softwares* foi utilizados os critérios: capacidade de modelar problemas de produção e logística, suporte e manutenção do *software*, existência de documentação de *software*, tamanho da comunidade de usuários e ferramentas para animação. Portanto os *softwares* comerciais escolhidos foram o Arena®e Plant Simulation®, e os *softwares open sorce* foram o Salabim, Jaamsim e CloudSim. Ao final de seus estudos chegou-se à conclusão de que o Jaamsim é um das melhores alternativas para substituir um *software* comercial, por possuir muitos objetos básicos de modelagem e por ter um guia de uso com vários exemplos de utilização, além de possuir um fórum onde os usuários e o time de desenvolvedores interagem para sanar duvidas decorrente do uso.

[Dagkakis e Heavey, 2015] também avaliaram a adequação de *softwares open source* para SED. Os critérios utilizados foram: linguagem de programação, licenças do sistema operacional, última versão do *software*, última atualização (correção de bugs e documentação) do *software*, domínio do problema no qual o projeto é direcionado, técnica de simulação que a ferramenta usa, documentação que o projeto usa, comunidade e a ferramenta utilizada para o controle da versão. Esse estudo abordou os *softwares*: OMNeT ++, NS-3, SimPy, JaamSim, JAPROSIM, DESMO-J, Facsimile, SharpSim, PowerDEVS, URURAU. O *software* JaamSim se destacou por ter a melhor interface de usuário 3D que pode até competir com os *softwares* comerciais. Além disso se destacou por possuir uma comunidade grande e possuir muito suporte para aprendizado, além de ser um *software* leve e que pode ser utilizado em diversos sistemas operacionais, o que leva o Jaamsim a ser uma excelente alternativa para usuários não especialista, já que pode ser rapidamente baixado e testado, o que é muito difícil quando trata-se de *softwares open source* para SED.

Analisando os artigos relacionados a respeito da metodologia Facilitated Simulation, com os que trataram sobre a utilização ou recomendação do uso de *software open source* para SED, foi possível observar que, em ambos os casos, os autores recomendam e tratam sobre manter os projetos simples, flexíveis e dinâmicos para absorver as alterações na medida em que essas necessidades

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

forem surgindo. Pela quantidade diminuta de artigos, comparados com outros temas de simulação, e a data recente dos artigos encontrados, é possível inferir que este é um tema que ainda está sendo explorado e que tem condições de sofrer mudanças na medida em que outros estudos de aplicação forem sendo aplicados, tanto para o *software* quanto para o método.

3. Metodologia

O método Facilitated Simulation tem como objetivo o desenvolvimento de modelos ágeis e simplificados, com o intuito de ser um suporte para a tomada de decisões com base em soluções satisfatórias e práticas [Oliveira et al., 2023]. Essa metodologia visa envolver as partes interessadas durante toda a etapa do estudo da simulação [Proudlove et al., 2017], o que torna difícil a aplicação total do método.

Segundo [Tako e Kotiadis, 2015] para realizar o Facilitated Simulation deve, primeiramente, definir a equipe de facilitador e modelagem e identificar as partes interessadas do problema e responsabilizar alguém para ser o ”líder”do projeto, que irá facilitar a comunicação entre as partes interessadas e a equipe de modelagem e facilitadores. Antes da primeira reunião a equipe de facilitadores deve preparar um material para apresentar a metodologia Facilitated Simulation para as partes interessadas e definir as datas dos *workshops*. No primeiro *workshop* é realizado a apresentação da metodologia e são utilizadas técnicas para definir o objeto de estudo e o problema a ser abordado. É de responsabilidade da equipe de facilitadores e modelagem manter as partes interessadas engajada no projeto e informada em todo o seu processo. No *workshop* 2 é discutido o objetivo do modelo de simulação, criação de um modelo conceitual e a designação de um responsável pela coleta de dados.

Após isso, o time de modelagem, junto com o ”líder”de projetos, realiza o modelo computacional e realiza validações e criações de cenários hipotéticos para serem discutidos no próximo *workshop*. No *workshop* 3, as partes interessadas são convidadas a validar o modelo gerado, e debater com a equipe de modelagem o espaço de solução desejável e viável, junto deve implementar-se cenários adicionais sugeridos. No último *workshop* é realizado um plano de implementação. Aplicando esse método espera que a solução seja implementada, pois devido a participação das partes interessadas o impacto da alteração é percebido mais.

Como em todos os outros casos de simulação, a escolha adequada do *software* correto tem impacto direto no resultado e na experiência da aplicação do Facilitated Simulation. Portanto, a escolha deve-se tomar cuidado na seleção de um *software*, pois ele impacta diretamente a partir do final do *workshop* 2. Isso ocorre, pois depois do modelo conceitual, o time de modelagem deve utilizar de um *software* para fazer o modelo computacional que representa as características do sistema real e com isso gerar cenários hipotético, a fim de achar uma solução viável e desejável. Ao selecionar um *software* errado o estudo pode acarreta em custos maiores, perda de agilidade e flexibilidade e até mesmo gerar complexidade de entendimento para os não especialistas, tornando assim a aplicação do método Facilitated SED inviável.

A fim de escolher um *software* que possa ser utilizado a todos, esse estudo propõem a utilização de um *software open source*. Para a aplicação do Facilitated SED é desejável que o *software* possua os requisitos como entidades, atividades, filas, transportadores, estoques e dados e distribuições [Oliveira et al., 2023]; [Robinson et al., 2014]. As distribuições devem conter no mínimo as distribuições exponencial, uniforme e retangular [Banks, 1998]. Portanto, foi selecionado o *software open source* JaamSim, por possuir um sistema simples de *drag and drop*, e por possuir uma comunidade muito ativa e com vários meios de aprendizados (fóruns, guias e exemplos) [Lang et al., 2021]. Além disso é um *software* leve, em torno de 8 MB e pode ser utilizado em diversos sistemas operacionais (Windows, iOS e Linux), o que o torna de fácil acesso e rápida

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

utilização, possuindo também uma ótima interface para simulação 3D [Dagkakis e Heavey, 2015].

Para o objeto de estudo, foi selecionado o artigo de [Marquezine et al., 2020], que utiliza do SED para propor uma melhoria em uma Unidade Básica de Saúde (UBS) situada em cidade em Minas Gerais para tentar resolver o problema de saturação das filas. Esse trabalho foi selecionado, pois foi aplicado na área da saúde, assim como a maioria dos estudos realizados da revisão da literatura, e também utilizou-se do *software* comercial Arena®. Além disso, nesse artigo foram encontrados os dados mínimos para geração de um modelo de SED, como as distribuições de probabilidades utilizadas, quantidade de recursos disponíveis e o autor aborda muito bem as características do processo estudado.

A partir do objeto de estudo selecionado foi gerado um modelo conceitual usando o método IDEF-SIM (Integrated Definition Methods – Simulation) proposto no trabalho de [Montevechi et al., 2010]. A Tabela 2 ilustra os símbolos e elementos utilizados nesse método para modelagem conceitual.

Elementos	Simbologia	Técnica de Origem
Entidade		IDEF3 (Modo de descrição e transição)
Funções		IDEF0
Fluxo da Entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativas	& Regra E X Regra OU O Regra E/OU	IDEF3
Movimentação		Flowchart
Informação/explicação		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		-
Fim do sistema modelado		-
Conexão para outra figura		-

Tabela 2: Simbologia IDEF-SIM
Fonte: Adaptado de [Montevechi et al., 2010]

O método de modelagem conceitual IDEF-SIM foi selecionado para ser aplicado no presente artigo por ser o que melhor apresentou as características necessárias para a representação das especificidades de um sistema de uma UBS, que permitia a relação dos processos, recursos e regras/lógicas de movimentação dentro do processo modelado, além de ser simples e flexível o suficiente para absorver as alterações na medida em que surgem.

4. Resultados e discussões

Com o intuito de realizar um estudo que segue os passos do Facilitated Simulation foi gerado um modelo conceitual que pode ser visualizado pela Figura 1 a partir da descrição do processo do artigo selecionado como objeto de estudo.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

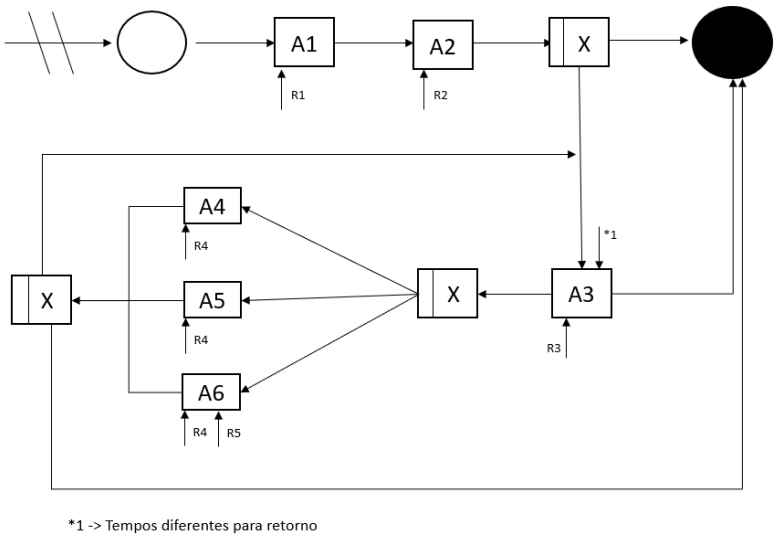


Figura 1: Modelo conceitual do objeto de estudo
Fonte: Autores

Após a realização do modelo conceitual foi criado o modelo computacional utilizando o *software open source* JaamSim que pode ser visualizado na Figura 2. A UBS conta com os recursos de 2 médicos, 1 enfermeiro, 1 técnico em enfermagem, 2 recepcionistas e 10 macas para realizar toda as operações contempladas nesse estudo. Foi observado que nessa UBS todos os processos seguiam uma distribuição triangular de probabilidade, exceto a chegada de paciente que possui um intervalo médio de 6 minutos por chegada. Na coleta de dados observou-se que, em média, são atendidas em torno de 20 pessoas, no modelo gerado via JaamSim após a finalização da modelagem, em média, eram atendidos 24 pacientes. No modelo gerado no objeto de estudo com o *software* Arena®, consegui-se chegar a uma média de 21 pacientes.

Ao chegar o paciente passa pela recepção onde uma das recepcionistas realiza o preenchimento da ficha, após isso o paciente espera até ser chamado para realizar o processo de triagem realizado pelos enfermeiros, onde 17% dos pacientes continuam no processo e os demais são liberados. Após a triagem, o paciente espera ser chamado para um médico realizar seu atendimento, vale ressaltar que no processo de atendimento do médico o tempo do processo varia de o paciente é de retorno, ou seja, que ja havia passado antes por esse processo, para um paciente novo, sendo que pela coleta de dados realizadas 20% dos pacientes que passam pelo atendimento são de retorno e os outros 80% são novos. No término do atendimento médico 90% dos pacientes saem do processo e os outros 10% vão realizar algum dos tratamentos realizados pelos técnicos de enfermagem, sendo eles o tratamento intramuscular, de inalação ou intravenoso que necessita de uma maca para o paciente realizar. Finalizando esse tratamento 47% são liberados e os outros voltam ao atendimento médico para nova checagem. O modelo gerado pelo JaamSim chegou a mesmo resultado que o modelo gerado no estudo realizado [Marquezine et al., 2020] no Arena®, onde os maiores tempos de esperas são nas filas dos processos de triagem e nos tratamentos, tendo isso em vista os cenários hipotéticos foram gerados com o intuito de diminuir esse tempo de espera.

Portanto, ao desenvolver o modelo conceitual e do modelo conceitual gerar o modelo computacional, contemplando assim o resultado do *workshop* 2 e preparação para o *workshop* 3, o próximo passo foi a geração de cenários hipotéticos com o intuito de gerar respostas sobre o espaço

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

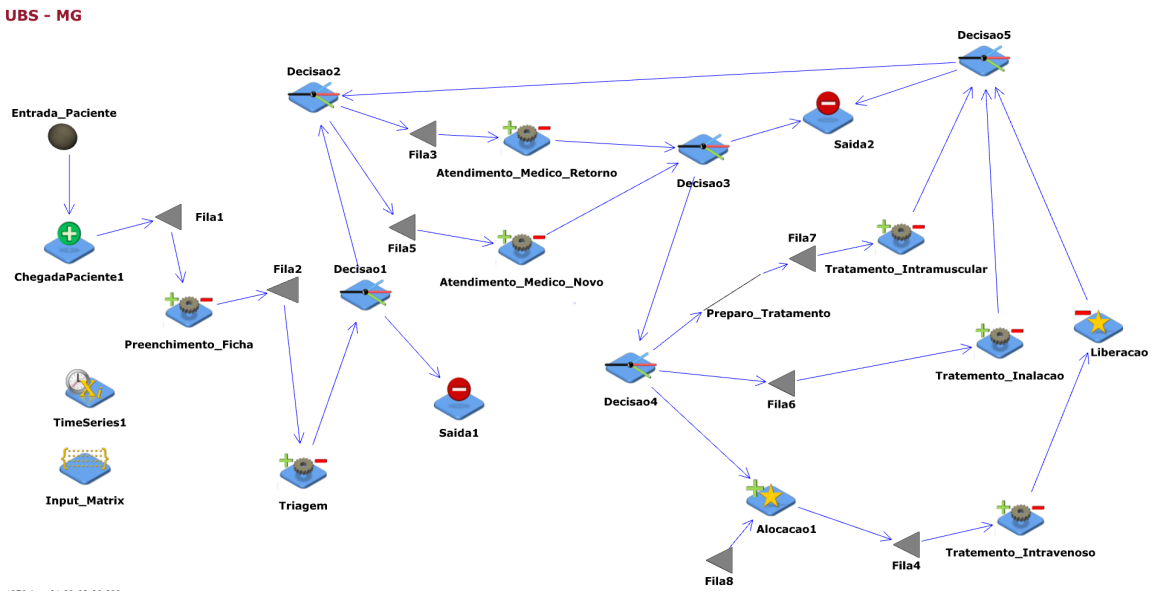


Figura 2: Modelo Computacional - JaamSim
Fonte: Autores

de solução. Para isso o *software open source* JaamSim possui uma ferramenta chamada ”Input Matrix”, onde viabiliza o time de modelagem a criar uma matriz de cenários para a simulação desses mesmos automaticamente. Isso torna o processo mais rápido e flexível, tendo em vista que não é necessário simular um cenário de cada vez tornando assim o desenvolvimento do *workshop* 3 mais dinâmico. Além disso, tem-se a opção de conseguir rodar simulações em diferentes *cores* do processador, o que viabiliza a simulação de mais cenários de uma forma ainda mais rápida. Com isso o JaamSim contempla as principais características do Facilitated Simulation na hora da simulação, que são a rapidez e a flexibilidade na hora de sua implementação.

O *software open source* JaamSim por possuir elementos básicos como entidades, atividades, filas, transportadores, estoques e as distribuições de probabilidade mais usadas conseguiu representar de maneira bem fidedigna as características abordadas no estudo da UBS em Minas Gerais. O processo para a geração do modelo computacional, foi rápido e de fácil aprendizado. Para a utilização de ferramentas mais complexas, como o uso do ”Input Matrix”foi utilizado os fóruns e a visualização de exemplos para aprendizado. O tempo de duração para a simulação de 6 cenários diferentes com 365 repetições em cada cenário foi de aproximadamente 3,18 segundo, utilizando apenas 4 *cores*. O computador utilizado para realizar a modelagem computacional e geração dos cenários das simulações possui processador AMD Ryzen 5 3500X e 16GB DDR4 de memória RAM. Ao final das simulações é gerado um arquivo em formato ”.dat”com os resultados em função das formulações matemáticas realizadas e colocada no ”input editor”da simulação pelo time de modelagem. Os resultados abrangem diversas características como tempo médio e total em fila, capacidade utilizada dos processos, tempo ocioso de recursos, dentro outras características que podem ser abordadas nas formulações matemáticas.

5. Conclusões

A partir desse estudo, nota-se que a seleção de um *software* para aplicação da metologia Facilitated Simulation impacta diretamente na experiência em sua implementação computacional, tendo em vista que o *software* é uma ferramenta essencial para realização e o desenvolvimento a

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

partir do *workshop* 2, sendo responsável pela geração do modelo computacional e por fornecer a visualização (2D ou 3D) do comportamento de cenários hipotéticos. Portanto, nesse trabalho o *software open source* JaamSim é proposto para a realização do Facilitated Simulation em SED por ser uma alternativa mais econômica, pois não é necessário a realização de pagamentos para sua utilização de forma comercial, e por ser um *software* com uma grande comunidade de usuários ativos e possuir várias possibilidades, como fóruns, manuais e exemplos, para aprendizado, sem custos adicionais.

No presente artigo, o estudo realizado no *software* Arena por Marquezine et al. [2020] foi modelado no *software* JaamSim. Além de conseguir representar bem o sistema real que foi apresentado no estudo realizado por Marquezine et al. [2020], os resultados gerado pelo *software* JaamSim foi bastante semelhante ao realizado pelo *software* Arena, tendo chegado assim nos mesmos pontos possíveis de melhoria. O fato de o *software* JaamSim ter a possibilidade de realizar várias simulações de maneira bem rápida é extremamente relevante, principalmente para o Facilitated Simulation, já que esse método tem como principais diretrizes a rapidez e flexibilidade, além do fato de a geração de cenários hipotéticos e a visualização/resultados dos mesmos serem os pontos principais do *workshop* 3.

Portanto, o ineditismo desse trabalho se justifica ao se complementar a metodologia Facilitated Simulation por propor a adoção de um poderoso *software open source* para aplicação da metodologia estudada no que se refere aos *workshops* que necessitam a utilização de um *software* de modelagem e simulação.

Como trabalhos futuros, é proposta a utilização do *software* JaamSim durante um projeto da área da saúde, juntamente com o método Facilitated Simulation, em forma de pesquisa-ação e/ou estudo de caso, de forma a testar os pontos discutidos em um projeto aplicado e relatar os desafios do mesmo, para teste e comprovação dos resultados do presente artigo. Outro tipo de proposta é a adaptação do método e *software* pesquisado em estudos de caso que envolvam não somente problemas/projetos da área da saúde, mas também a produção de bens e/ou serviços de outras áreas da sociedade, validando ou propondo uma nova metodologia. Sobre os requisitos necessários para a realização de SED, como entidades, filas, distribuições de probabilidade, atividades e estoque o JaamSim mostrou-se adequado e possuindo características complementares para o desenvolvimento de modelos mais complexos e com características mais específicas.

Os estudos do presente artigo fazem parte dos esforços para a criação de uma plataforma *open source* para integração de métodos de otimização a serem aplicados em problemas de modelagem e simulação à eventos discretos utilizando do *software* JaamSim como base. Este projeto recebe o nome de "Open Source Iterative Resolution for Event Simulation" (OSIRES), mais informações podem ser obtidas no site: `https://ufsj.edu.br/cimos/projetos_de_pesquisa.php`

6. Agradecimentos

Este estudo foi financiado em parte pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - Brasil (FAPEMIG) - Código de Financiamento APQ-00384-21.

Referências

Banks, J. (1998). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. John Wiley & Sons.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

Barlas, P. e Heavey, C. (2016). Automation of input data to discrete event simulation for manufacturing: A review. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*, 07: 1630001.

Collins, A. J., Pour, F. S. A., e Jordan, C. A. (2021). Past challenges and the future of discrete event simulation. *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, 0(0):15485129211067175.

Dagkakis, G. e Heavey, C. (2015). A review of open source discrete event simulation software for operations research. *Journal of Simulation*, 10.

Fumagalli, L., Polenghi, A., Negri, E., e Roda, I. (2019). Framework for simulation software selection. *Journal of Simulation*, 13(4):286–303. URL https://doi.org/10.1080/17477778.2019.1598782.

Gupta, A., KAWALJEET, S., e Verma, R. (2010). A critical study and comparison of manufacturing simulation softwares using analytic hierarchy process. *Journal of Engineering Science and Technology*, 5:108–129.

Hameed, B. Z., Tanidir, Y., Naik, N., Teoh, J. Y.-C., Shah, M., Wroclawski, M. L., Kunjibettu, A. B., Castellani, D., Ibrahim, S., da Silva, R. D., Rai, B., de la Rosette, J., TP, R., Gauhar, V., e Somani, B. (2021). Will "hybrid" meetings replace face-to-face meetings post covid-19 era? perceptions and views from the urological community. *Urology*, 156:52–57. ISSN 0090-4295. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009042952100159X.

Hlupic, V. e Mann, A. (1995). Simselect: a system for simulation software selection. In *Winter Simulation Conference Proceedings, 1995.*, p. 720–727.

Jadrić, M., Ćukušić, M., e Bralić, A. (2014). Comparison of discrete event simulation tools in an academic environment. *Croatian Operational Research Review*, 5(2):203–219.

Kotiadis, K. e Tako, A. (2018). Facilitated post-model coding in discrete event simulation (des): A case study in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 266(3):1120–1133. ISSN 0377-2217. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221717309608.

Kotiadis, K., Tako, A. A., e Vasilakis, C. (2014). A participative and facilitative conceptual modelling framework for discrete event simulation studies in healthcare. *Journal of the Operational Research Society*, 65:197–213.

Lang, S., Reggelin, T., Müller, M., e Nahhas, A. (2021). Open-source discrete-event simulation software for applications in production and logistics: An alternative to commercial tools? *Procedia Computer Science*, 180:978–987. ISSN 1877-0509. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921004038. Proceedings of the 2nd International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2020).

Marquezine, A., Bem, N., Nazaré, T., e Oliveira, P. (2020). A case study through queue simulations of a basic health center. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 68:22–27.

Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., e Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (smes). *Journal of Manufacturing Systems*, 49:194–214. ISSN 0278-6125. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612518301341.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

Montevechi, J. A. B., Leal, F., Pinho, A. F. d., Costa, R. F., Oliveira, M. L. M. d., e Silva, A. L. F. (2010). Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted idef: An application in a brazilian tech company. In *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, p. 1624–1635.

Oliveira, M. S. d., Santos, C. H. d., Gabriel, G. T., Leal, F., e Montevechi, J. A. B. (2023). Famosim: a facilitated discrete event simulation framework to support online studies. *Production*, 33:e20220073. ISSN 0103-6513. URL https://doi.org/10.1590/0103-6513.20220073.

Proudlove, N., Bisogno, S., Onggo, B., Calabrese, A., e Levialdi Ghiron, N. (2017). Towards fully-facilitated discrete event simulation modelling: Addressing the model coding stage. *European Journal of Operational Research*, 263(2):583–595. ISSN 0377-2217. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221717305209.

Robinson, S. (2005). Discrete-event simulation: From the pioneers to the present, what next? *Journal of The Operational Research Society - J OPER RES SOC*, 56:619–629.

Robinson, S., Radnor, Z. J., Burgess, N., e Worthington, C. (2012). Simlean: Utilising simulation in the implementation of lean in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 219 (1):188–197. ISSN 0377-2217. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221711011234.

Robinson, S., Worthington, C., Burgess, N., e Radnor, Z. J. (2014). Facilitated modelling with discrete-event simulation: Reality or myth? *European Journal of Operational Research*, 234 (1):231–240. ISSN 0377-2217. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221712009721.

Saez, M., Maturana, F. P., Barton, K., e Tilbury, D. M. (2018). Real-time manufacturing machine and system performance monitoring using internet of things. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 15(4):1735–1748.

Tako, A., Robinson, S., Gogi, A., Radnor, Z., e Davenport, C. (2020). Using facilitated simulation to evaluate integrated community-based health and social care services.

Tako, A. A. e Kotiadis, K. (2015). Partisim: A multi-methodology framework to support facilitated simulation modelling in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 244 (2):555–564. ISSN 0377-2217. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715000661.

Tako, A. A. e Kotiadis, K. (2018). Participative simulation (partisim): A facilitated simulation approach for stakeholder engagement. In *2018 Winter Simulation Conference (WSC)*, p. 192–206.

Tako, A. A. e Kotiadis, K. (2021). A tutorial on participative discrete event simulation in the virtual workshop environment. In *2021 Winter Simulation Conference (WSC)*, p. 1–12.

Teerasoponpong, S. e Sopadang, A. (2021). A simulation-optimization approach for adaptive manufacturing capacity planning in small and medium-sized enterprises. *Expert Systems with Applications*, 168:114451. ISSN 0957-4174. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417420311052.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923

Zhang, X. (2018). Application of discrete event simulation in health care: A systematic review. *BMC Health Services Research*, 18.

DOI: 10.59254/sbpo-2023-174923
http://live-proceedings.pantheonsite.io/p/174923