LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional
Limeira–SP, 02 a 06 de setembro de 2019

REPRESENTAÇÃO DO FATOR HUMANO EM MODELOS DE SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS E SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Mona Liza Moura de Oliveira
Universidade Federal de Itajubá
Avenida BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá-MG
monaoli@yahoo.com.br

Tábata Fernandes Pereira-tabatafp@gmail.com
Rafael de Carvalho Miranda- Rafael.miranda@unifei.edu.br
José Arnaldo Barra Montevechi- montevechi@unifei.edu.br
Alexandre Ferreira de Pinho- pinho@unifei.edu.br
Wilson Trigueiro de Souza Júnior - wilson.trigueiro@ufsj.edu.br

Universidade Federal de Itajubá
Avenida BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá-MG

RESUMO

A simulação computacional é uma ferramenta vastamente utilizada como auxílio nas tomadas de decisão em diversos sistemas. Entretanto, diversos autores alertam para importância de representar corretamente nestes modelos o fator humano, uma vez que não fazê-lo pode ter impactos negativos nos resultados da simulação. O objetivo deste artigo foi realizar uma revisão sistemática de literatura, a fim de melhor compreender como trabalhos que utilizam simulação a eventos discretos e simulação baseada em agentes estão representando o elemento humano em seus modelos. Como resultado desta revisão foi possível levantar dados quantitativos, como áreas de aplicação, softwares utilizados e origem dos artigos e dados qualitativos como a análise mais detalhada dos artigos que permitiu avaliar como e se os autores retrataram o elemento humano em seus trabalhos.

PALAVRAS CHAVE. Simulação a eventos discretos, Simulação Baseada em Agentes, Fator humano.

Tópicos [Simulação]

ABSTRACT

Computer simulation is a widely used tool to aid decision making in several systems. However, several authors warn of the importance of correctly representing the human factor, since failure to do so may have negative impacts on simulation results. The purpose of this article was to conduct a systematic review of literature in order to better understand how works that use discrete event simulation and based agent simulation are representing the human element in their models. As a result of this review it was possible to collect quantitative data, such as areas of application, software used and origin of articles and qualitative data, such as a more detailed analysis of the articles that allowed us to evaluate how and if the authors portrayed the human element in their work.

KEYWORDS. Discrete Event Simulation. Agent Based Simulation. Human Factor.

Paper topics [Simulation]

https://proceedings.science/p/107015?lang=pt-br

1. Introdução:

A simulação computacional é uma ferramenta amplamente utilizada para auxiliar no projeto de sistemas de manufatura[Ferro et al., 2017], entretanto, grande parte dos praticantes desta ferramenta ignora um elemento importante da indústria: a força de trabalho [Baines et al., 2003]. A representação superficial dos elementos humanos que trabalham nos sistemas produtivos é uma limitação grave, pois o desempenho destas pessoas é fundamental para a competitividade de muitas empresas de manufatura [Mason et al., 2005].

Segundo [Joo et al., 2013] existe uma recente necessidade de observar, analisar e prever comportamentos humanos, por meio do uso de tecnologias de simulação computacional. Estes modelos de simulação devem ser desenvolvidos para representar os comportamentos mais complexos do ser humano [Zhao et al., 2012]. Para [Wellbrink e Buss, 2004], é extremamente importante incorporar o desempenho humano em modelos de simulação, principalmente em situações onde este desempenho está sujeito à degradação ao longo do tempo, como por exemplo, tarefas de vigilância. Já [Anjomshoae et al., 2014] afirmam que o fator humano e o fator ergonômico, aliados à simulação, podem contribuir para assegurar qualidade e segurança em processos.

Entretanto, de acordo com [Hughes e Jiang, 2010], apesar de diversos estudos reconhecerem a importância do desempenho humano, muitos se concentram inapropriadamente no desempenho técnico, ao invés de se concentrar no desempenho dos componentes humanos do sistema. Representar o elemento como simples recurso é um problema particularmente grave na modelagem de um sistema com uma elevada porcentagem de trabalho manual, tal como uma linha de montagem [Baines et al., 2004]. Quando a variação do desempenho humano é modelada incorretamente, os resultados da simulação podem ser distorcidos, fornecendo apenas uma previsão grosseira de como as pessoas nos sistemas de manufatura provavelmente se desempenham [Mason et al., 2005].

[Lee et al., 2005] afirmam que o nível de detalhe que cada elemento humano deve ser modelado, depende da finalidade do modelo de simulação, onde uma simulação muito detalhada tem um custo maior e pode somente complicar o processo de avaliação e uma simulação muito superficial fornece informações insuficientes ou enganosas. Para [Hughes e Jiang, 2010], a dificuldade de modelar a complexidade e variabilidade do comportamento humano resulta em uma menor compreensão dos fatores que afetam o desempenho.

De acordo com [Joo et al., 2013], a pesquisa sobre modelagem e simulação de comportamentos humanos em sistemas complexos tem sido lenta devido aos desafios associados com a natureza não-determinística e dinâmica do ser humano. Segundo [Kernan e Sheahan, 2013], a maioria dos artigos com propostas de melhorias de representação do trabalhador na simulação refere-se a melhorias na modelagem da variação de desempenho humano. No entanto, segundo estes autores, estas melhorias propostas requerem informações adicionais que podem ser difíceis de adquirir, como por exemplo, estresse e esforço excessivo. Em geral, modelos detalhados do desempenho humano são difíceis e demorados de construir e requerem conhecimento especializado sobre as capacidades cognitivas e comportamento humano [Lee et al., 2005].

Dentro deste contexto da importância de se representar o fator humano e na dificuldade em fazê-lo, surge uma importante questão: como os projetos de simulação, sejam eles modelados em simulação a eventos discretos ou simulação baseada em agentes, têm representado o elemento humano em seus modelos computacionais? A fim de responder esta pergunta, o presente artigo busca realizar uma revisão sistemática de literatura sobre o tema em questão em uma das principais bases de artigos, a *Web of Knowledge*.

O presente artigo estrutura-se da seguinte forma: após breve introdução no Capítulo 1, tem-se no Capítulo 2 o referencial teórico sobre o tema, enquanto que no capítulo 3 tem-se o desenvolvimento da revisão sistemática de literatura, seguido pela conclusão no capítulo 4.

2. Referencial Teórico

2.1 Representação do fator humano por meio da Simulação a Eventos Discretos (SED)

Segundo [Zhao et al., 2012], modelos de SED desempenham um papel importante na melhoria da eficiência das células de produção. No entanto, segundo os mesmos autores, a maior parte de projetos de simulação considera o ser humano como recurso de produção comum, ignorando a influência do comportamento organizacional no processo de produção. Para [Baines et al., 2003], os trabalhadores na SED são geralmente representados como simples recursos, muitas vezes até com valores determinísticos de desempenho, ignorando assim o efeito potencialmente significativo que a variação de desempenho humano pode ter em um sistema.

De acordo com [Baines et al., 2004], o elemento humano de um sistema de fabricação é mal representado, uma vez que as pessoas são tratadas como um elemento pseudo-tecnológico e espera-se que se comportem da mesma forma que uma máquina. [Baines et al., 2003] acreditam que os resultados previstos em modelos de SED são diferentes dos resultados que ocorrem na prática, devido à incapacidade desta simulação em representar o desempenho de trabalhadores com precisão. Os mesmos autores ainda afirmam que esta lacuna entre o desempenho previsto e o desempenho real do sistema de produção, cria problemas para os desenvolvedores de sistemas, sendo de extrema importância então ampliar a capacidade da SED em simular o comportamento dos trabalhadores.

A simulação de operadores humanos tem sido muitas vezes mínima, até mesmo em sistemas onde o comportamento humano tenha um enorme impacto sobre o desempenho geral e segurança do sistema [Lee et al., 2005]. Portanto, segundo estes autores, as capacidades e limitações humanas precisam ser levadas em consideração no início do processo de concepção do sistema, antes que escolhas irrevogáveis sejam feitas. Para ampliar as capacidades de modelagem, principalmente na SED, é importante avaliar o impacto que os fatores humanos podem ter sobre o desempenho do sistema de produção [Baines e Kay, 2002].

2.2 Representação do fator humano por meio da Simulação Baseada em Agentes

Segundo [Kasaie e Kelton, 2015], a SBA é uma ferramenta poderosa e flexível para modelar sistemas complexos compostos por vários componentes que interagem, como os sistemas que envolvem o comportamento humano. [Siebers e Onggo, 2014] complementam que a SBA tem o potencial para se tornar o paradigma predominante para modelar o comportamento humano.

[Lazarova-Molnar, 2013] afirma que a SBA é mais flexível e mais adequada para a simulação de ambientes que envolvem pessoas e seus comportamentos. Os agentes podem ser usados para capturar a precisão, velocidade e variabilidade do desempenho humano, que são fundamentais para a análise de segurança e desempenho do sistema [Lee et al., 2005].

[Siebers et al., 2010] destacam que a SBA ajuda a entender melhor os sistemas do mundo real em que a representação ou modelagem de pessoas é importante e os indivíduos tenham comportamentos autônomos, ou seja, possuem ações que não são roteirizadas, mas respondem ao ambiente simulado. A modelagem baseada em agente é considerada a melhor maneira de simular a interação em tempo real de pessoas com seu ambiente [Dubiel e Tsimhoni, 2005].

A SBA possibilita a modelagem e simulação do desempenho humano e sua variabilidade comportamental, que é fundamental para a análise de segurança e desempenho do sistema [Lee et al., 2005]. Os autores ainda destacam que modelos computacionais baseados em agente têm o potencial para fornecer uma maneira segura e efetiva em termos de custos de testar a concepção e implementação de novas tecnologias, prever possíveis erros humanos, bem como de antecipar desafios de transição e seu impacto na implementação de novos procedimentos de tarefas.

3. Revisão Sistemática de Literatura

Para [Biolchini et al., 2007], a revisão sistemática é uma metodologia de pesquisa desenvolvida para reunir e avaliar as evidências disponíveis, referentes a um tema específico. Segundo [Staples e Niazi, 2007], a revisão sistemática emerge da necessidade de resumir

minunciosamente toda informação existente sobre um fenômeno, buscando responder uma questão específica de pesquisa, e é adequada para toda evidência empírica onde se encaixem critérios de elegibilidade predefinidos.

[Kitchenham, 2004] relata que antes de desenvolver uma revisão sistemática da literatura, os pesquisadores devem primeiro buscar quaisquer revisões sistemáticas existentes relacionadas com o fenômeno para evitar a necessidade de uma nova revisão sistemática, ou pelo menos, encontrar revisões semelhantes para ajudar no desenvolvimento de um protocolo da nova estrutura da revisão sistemática. No caso deste estudo, escolheu-se uma estrutura de revisão sistemática proposta por [Biolchini et al., 2007]. Na Figura 1, têm-se os passos a serem realizados na revisão sistemática.

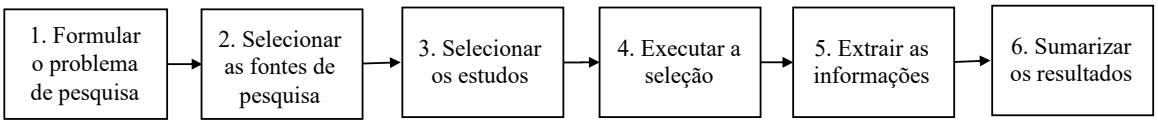


Figura 1- Estrutura da Revisão Sistemática de Literatura
Fonte: Adaptado de [Biolchini et al., 2007]

3.1 Desenvolvimento da Revisão Sistemática de Literatura

O objetivo desta revisão sistemática da literatura é entender, por meio de uma busca estruturada de artigos, como o fator humano vem sendo representado em trabalhos que utilizaram a SED e/ou a SBA para desenvolver seus projetos de simulação. Seguindo o fluxograma da Figura 1, teve-se como resultado em cada etapa:

3.1.2 Formulação do problema da Pesquisa

- **Problema:** Diversos autores defendem a ideia de que o fator humano não vem sendo bem representado em projetos de simulação, podendo assim afetar os resultados dos modelos computacionais e, por consequência, as análises sobre os mesmos.
- **Questão:** Para tentar compreender como o fator humano está sendo representado em projetos de simulação, têm-se as seguintes perguntas:
    1. Como o fator humano está sendo representado em projetos de SED?
    2. Como o fator humano está sendo representado em projetos de SBA?
- **Palavras chaves e sinônimos**: Para que se possam identificar trabalhos que introduzem o elemento humano em projetos de simulação, foram escolhidas as seguintes palavras chaves:
    - "*Agent Based Simulation*" [para identificar artigos que utilizaram a SBA].
    - "*Discrete Event Simulation*": [para identificar artigos que utilizaram a SED].
    - "*Human Factor*", "*Human Performance*" e "*Human Element*" para identificar artigos que buscaram representar o fator humanos nos projetos de simulação.

3.1.3 Seleção das fontes de pesquisa

Para o presente estudo, a fonte utilizada para a busca de artigos foi a base de dados *Web of Science*. Esta base de dados foi escolhida devido ao fato que, de acordo com [Franceschini et al., 2014], a *Web of Science* [WoS] é uma das principais bases de dados internacional multidisciplinar.

3.1.4 Seleção dos estudos

Para esta etapa foi preciso definir quais artigos serão incluídos ou excluídos, os tipos de artigos que seriam selecionados e ainda como seria realizada esta seleção.

Com relação aos tipos de artigo a serem selecionados, optou-se por artigos provenientes de revistas e congressos. Portanto, artigos que não tiveram como origem revista ou congresso forão excluídos. Outra opção de exclusão é a de artigos que não possuem acesso livre, impedindo assim sua análise. O procedimento da seleção de estudos a ser executada segue os seguintes passos:

1. Acessar a base de dados *Web of Science*;
2. Selecionar a opção de busca que permita que somente artigos de congressos e revistas sejam pesquisados;
3. Buscar por artigos relacionados especificamente a projetos de SED. Portanto, deve-se pesquisar na base de dados artigos que contenham o termo "*Discrete Event Simulation"*. É importante colocar o termo entre aspas para garantir que somente artigos relacionados ao termo completo sejam selecionados. Deve-se ainda pesquisar por este termo nos tópicos do artigo, ou seja, no corpo do artigo, a fim de se ampliar a busca dos possíveis artigos relacionados a este assunto.
4. Dentre os artigos selecionados no passo anterior, deve-se então procurar por artigos relacionados ao fator humano. Para isso, deve-se pesquisar pelas palavras chaves "*Human Factor*", ou "*Human Element*" ou "*Human Performance*" para que artigos que tratem sobre estes termos sejam selecionados.

O mesmo procedimento de seleção de estudos também será utilizado para buscar responder à pergunta sobre a representação do fator humano na SBA. A diferença é que no terceiro passo, o termo utilizado na busca será "*Agent Based Simulation*", também entre aspas. O primeiro, segundo e último passo serão executados da mesma forma.

3.1.5 Execução da seleção

Conforme dito anteriormente, a busca por artigos foi feita na base de dados da *Web of Science* e o procedimento descrito na etapa anterior foi utilizado. Para a busca relacionada a projetos de SED, tiveram-se no primeiro passo 5314 artigos selecionados e a busca por artigos relacionados ao fator humano dentre estes selecionados resultou em 19 trabalhos. Destes, apenas 3 não estavam disponíveis para leitura e foram excluídos, resultando assim em 16 artigos finais. Já na busca relacionada à SBA, primeiramente foram encontrados 2084 artigos e dentre estes os que continham termos relacionados ao fator humano eram 12. Os artigos não disponíveis para leitura dentre estes eram apenas 2, resultando em 10 artigos finais.

Uma vez selecionados os artigos, foi possível fazer a leitura dos trabalhos para que se pudesse extrair o máximo de informações importantes possível. Foram extraídas informações como resumo, metodologia utilizada, resultados obtidos, problemas enfrentados, softwares utilizados e ainda informações sobre os autores. Foi possível ainda entender nestes artigos como o fator humano foi abordado nos projetos de SED e SBA.

3.1.6 Sumarização dos resultados

Os resultados obtidos graças à realização da revisão sistemática da literatura podem ser divididos em duas etapas. A primeira está relacionada a uma análise quantitativa dos resultados, como por exemplo, o total de publicações, softwares utilizados, entre outros, que serão compilados e apresentados por meio de tabelas e gráficos. Já a segunda etapa está relacionada a uma análise qualitativa dos resultados, na qual, por meio da leitura dos artigos selecionados foi possível entender como os autores representaram o fator humano em projetos de simulação.

3.2 Análise Quantitativa

Serão apresentados os resultados compilados dos artigos selecionados da revisão sistemática realizada. Para cada item avaliado serão apresentados gráficos e tabelas dos dois tipos de abordagem de simulação.

a) Áreas de aplicação

Dentre os artigos avaliados, pode-se verificar quais as áreas de aplicação dos projetos de simulação. Na Figura 2, têm-se os gráficos das áreas de aplicação, tanto dos artigos relacionados à SED, a esquerda, quanto à SBA, a direita. É possível verificar que a área com maior porcentagem de artigos de SED que contém o termo fator humano é a área industrial, enquanto que na SBA é o tráfego aéreo.

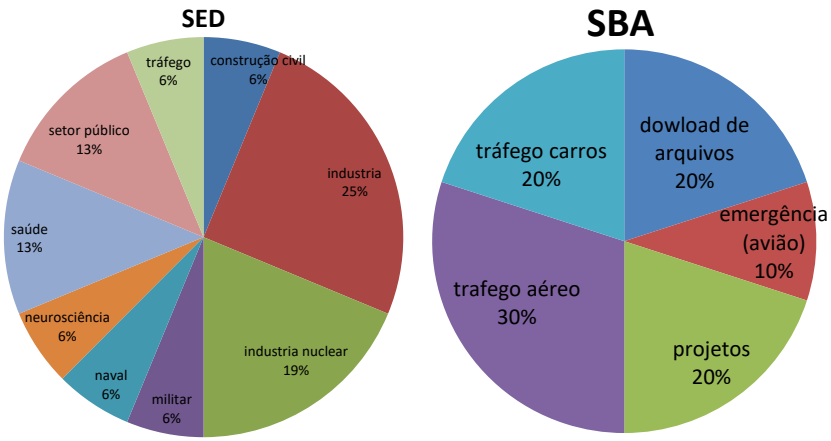


Figura 2 - Áreas de aplicação dos artigos de SED e SBA

b) Softwares utilizados

Na Figura 3, têm-se os gráficos dos softwares utilizados nos projetos de SED (esquerda) e de SBA (direita) dos artigos selecionados. Pode-se verificar pelo gráfico que a maior porcentagem de utilização nos projetos de SED é o Micro Saint, e na SBA a grande maioria dos artigos não especifica o software utilizado, entretanto outros artigos não nomearam o software, mas especificaram a linguagem utilizada, no caso a linguagem Java.

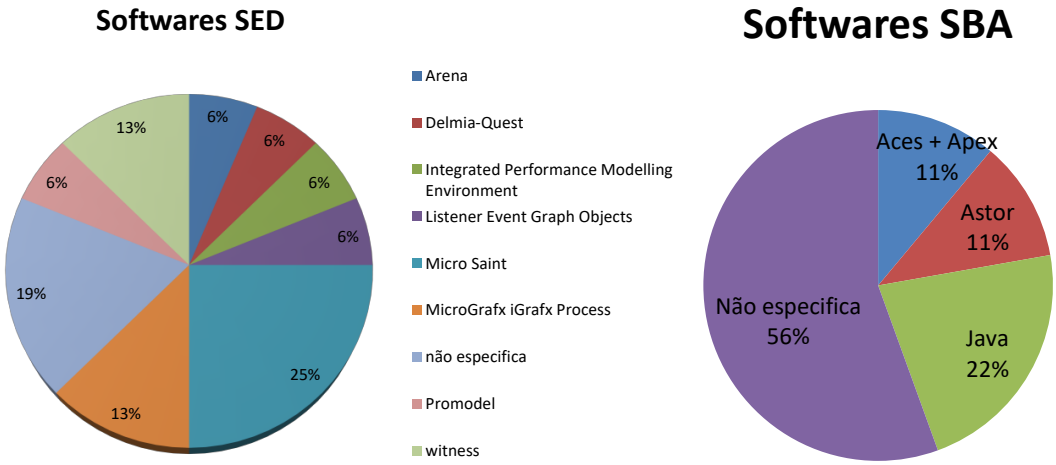


Figura 3 - Softwares utilizados nos artigos de projetos de SED e SBA

c) Origem de publicação dos artigos

Na seleção de artigos, optou-se por somente artigos de revistas (*Journal*) ou congressos. Na Figura 4, pode-se verificar a origem de publicação dos artigos. É possível verificar que metade dos artigos de SED é originária de congresso e a outra metade de revistas. Já para os artigos de SBA, a grande maioria (90%) tem origem em congressos da área.

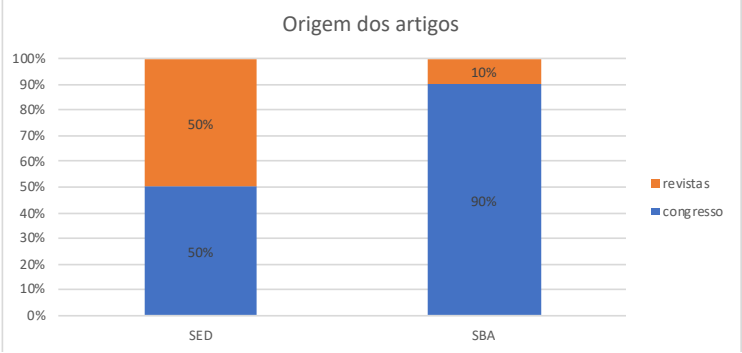


Figura 4 – Origem dos artigos analisados

3.3 Análise Qualitativa

Na análise qualitativa dos resultados da revisão sistemática de literatura, foi possível verificar por meio da leitura dos artigos selecionados, qual o objetivo do artigo lido, como o projeto de simulação foi desenvolvido para alcançar este fim e ainda, como o fator humano foi representado neste projeto de simulação.

3.3.1 Análise dos artigos de SED

Conforme descrito na revisão sistemática, buscou-se por artigos em uma base de dados conhecida para melhor entender como a SED e a SBA estão representando o fator humano na simulação. Diversos autores têm defendido a necessidade de representação deste fator para tornar os resultados dos modelos computacionais mais próximos possíveis da realidade, a fim de tornar eficientes análises e previsões resultantes de projetos de simulação.

Apesar dos critérios de busca apresentados, os artigos não necessariamente buscaram representar o elemento humano na simulação. O termo relacionado ao fator humano presente no artigo pode ter sido usado para outro fim, ou ter sido simplesmente citado apenas. O trabalho desenvolvido por [Anjomshoae et al., 2014], por exemplo, é uma revisão de literatura que destaca a importância de representar o fator humano na área da saúde, mas não apresentaram aplicações, nem soluções relacionadas ao assunto.

[Pecek e Kovacic, 2011] apresentam um estudo de caso de um projeto de simulação de atendimento de pacientes em asilos, entretanto só utilizam o termo fator humano no resumo para dizer que o projeto de simulação está sendo aplicada em uma área onde o fator humano é importante, mas não faz nenhuma menção de representação do elemento humano no artigo. Já [Hughes e Jiang, 2010] desenvolveram um estudo do desempenho de operadores que controlaram escavadeiras. Por meio da coleta de dados de tempos das atividades, foi possível calcular a carga de trabalho de cada operador. Como resultado, puderam verificar que a experiência do operador, bem como tipo de escavadeira, influencia no tempo de execução da tarefa.

[Pennathur et al., 2010] utilizaram a SED para criar um simulador do sistema de rastreamento de pacientes em um hospital. As pessoas puderam ser treinadas neste simulador para lidar com situações adversas como telefone tocando e erros de digitação em um ambiente controlado no laboratório. A preocupação neste caso não é representar o elemento humano nos modelos de simulação e sim treinar as pessoas para que a falha no desempenho destas pessoas não prejudique o sistema.

Já [Kovacic e Pecek, 2007] desenvolveram um modelo de simulação de um setor administrativo público de um centro de assistência social. Os autores não descrevem em detalhes a representação do elemento humano, mas utilizam distribuições uniformes para os tempos das atividades das pessoas envolvidas e concluem que a performance humana é algo difícil de se analisar. [Liu et al., 2010] desenvolvem uma metodologia para avaliar a confiabilidade dos sistemas de corredores em navios. Como é difícil obter dados para esta situação analisada, os autores simulam cenários com dados hipotéticos para verificar se pelo menos um corredor estará disponível para passagem e a probabilidade de que a população irá completar a tarefa de sair do navio dentro do tempo.

[Keller 2002] analisa a carga de trabalho, *workload*, de uma pessoa que atende o celular enquanto dirige. Para isso ele utiliza os conceitos da teoria de múltiplos recursos identificando o valor tabelado na literatura dos componentes visual, auditório, cognitivo e psicomotor para cada atividade realizada durante a direção do veículo. Como resultado do modelo tem-se gráficos do valor do *workload* do motorista ao longo do percurso. Enquanto que [Fowles-Winkler, 2003] demonstra em seu artigo os recursos de um software de SED baseado em Linux IPME usado no ambiente militar. No software é possível inserir para cada atividade o peso das características cognitivas, visual, auditória e psicomotora dos recursos, resultando no *workload* dos recursos humanos em termos destas características. Apesar de mencionar que é possível inserir funções e variáveis para o elemento humano, não descreve nenhuma.

[Kozine, 2006] utilizou um estudo de caso em uma indústria nuclear para simular a probabilidade de falhas na execução das tarefas de um operador, considerando sua habilidade e a demanda das tarefas. A habilidade está relacionada à distribuição de tempos e a falha ocorre quando o tempo de execução é maior que o tempo disponível e, portanto, o modelo calcula a probabilidade deste evento acontecer. Já [Yow e Engh, 1997] utilizaram a SED para modelar confiabilidade humana no controle de uma usina nuclear. Eles simulam a probabilidade de a pessoa errar ao receber alarmes no computador sobre o funcionamento da usina. Para isso eles inserem no modelo computacional uma sequência de tarefas e cada tarefa tem uma probabilidade de erro, sendo este valor obtido da literatura específica da área. Ainda neste setor, [Laughery et al., 1996] desenvolvem modelos computacionais para avaliar o trabalho de pessoas que controlam abertura ou fechamento de válvulas em uma usina nuclear, mais especificamente verificar a disponibilidade dos operadores, ou seja, quando estes atrasam a abertura ou fechamento porque estão realizando outras atividades.

[Mason et al., 2005] alertam que o elemento humano é representado de forma superficial na simulação e buscam sanar esta lacuna usando funções de densidade e probabilidade para representar as variações de tempo das atividades dos operadores e por meio de um estudo real de tempos de um posto de trabalho. Neste, os autores apresentaram a distribuição de Pearson como a melhor distribuição para o sistema em estudo. [Baines et al., 2003], na tentativa de melhor representar o fator humano, buscam encontrar a distribuição de tempos a ser utilizada por meio de medições de tempo de uma linha de produção. Eles concluem que as distribuições são diferentes para cada operador, não sendo algo simples de ser obtido.

[Baines e Kay, 2002] desenvolveram um estudo piloto para descreverem um passo a passo de como inserir em modelos computacionais a relação entre fator humano, ambiente e desempenho. Apesar de levantar questões importantes como a que fatores ambientais (barulho, ventilação, temperatura, luminosidade e limpeza) e fatores pessoais (estereótipos) afetam o desempenho humano e por consequência a produtividade, os autores não descrevem como estes fatores devem ser inseridos na simulação para representar de forma mais realista o comportamento humano. Os próprios autores admitem fragilidades neste primeiro piloto sugerindo para futuros trabalhos testar a abordagem proposta, refinar os métodos de coleta de dados dos operadores, descrever melhor cada indivíduo, considerar efeitos das interações sociais e desenvolver um método para verificar que os modelos estão sendo interpretados corretamente.

[Baines et al., 2005] buscam através de um estudo de caso verificar se a variação humana é a causa da diferença entre os resultados real a simulado. Para isso, criaram dois modelos com fatores que afetam o desempenho, sendo um considerando o fator idade e o outro considerando o ritmo circadiano. Mesmo tendo realizado o estudo considerando uma linha de produção real, os autores optam por fazer diversas simplificações como considerar variáveis como idade e hora que acorda igual para todos os operadores, a fim de evitar maiores complexidades no modelo. Apesar dos autores terem demonstrado a possibilidade de inserir modelos de desempenho humano na simulação, os resultados apresentaram variação. Não foi feita nenhuma validação do modelo computacional e os resultados apresentaram uma variação menor do que o esperado em ambos os casos, necessitando, segundo os autores, uma investigação detalhada.

Pode-se perceber, portanto, que alguns dos artigos apresentados não estão relacionados diretamente a projetos de simulação que buscaram representar o fator humano. Entretanto, os outros trabalhos apresentaram esta preocupação, onde é possível verificar que a representação do fator humano na simulação se dá pela introdução da variação do desempenho humano nos modelos. Desempenho este afetado pela alteração dos elementos cognitivos, pelo cálculo da probabilidade de erros no caso dos trabalhos relacionados a usina nuclear ou então, na grande maioria dos casos, por meio da cronometragem de dados de tempo, a fim de achar uma distribuição de probabilidades que melhor represente a variação do tempo das atividades.

Cabe dizer que [Baines et al., 2005] levantaram esta questão sobre a importância de representar o elemento humano na simulação e ainda chamaram a atenção para dois fatores que

afetam o desempenho humano e, portanto, precisavam ser inseridos no modelo de simulação: a idade e o ritmo circadiano. Entretanto, conforme já apresentado, os autores utilizaram a SED para representar o fator humano e acabaram encontrando dificuldades como a complexidade do modelo, sendo obrigados então a fazer diversas simplificações na modelagem computacional, apresentando resultados inconclusivos.

3.3.2 Análise dos artigos SBA

O objetivo desta etapa é avaliar os artigos de projetos de SBA para verificar como o termo relacionado ao fator humano foi utilizado nestes trabalhos. Conforme citado anteriormente, os artigos podem conter algum dos termos selecionados na revisão sistemática, mas não estar relacionado diretamente à representação do elemento humano no projeto de simulação.

[Martínez-Miranda e Pavón, 2009] buscaram analisar o fator confiança das pessoas que trabalham em projetos e para isso simularam o comportamento das pessoas (agentes) em times de projeto. Eles imputaram características nos agentes como: personalidade (amável, expressivo, analítico, direcionador), estado emocional (interesse, desejo, desgosto e ansiedade), características sociais (introvertido, extrovertido, gosta de trabalhar em time ou sozinho), capacidades cognitivas (nível de experiência e nível de criatividade) e utilizaram da lógica fuzzy para verificar a variação do nível de confiança dos agentes devido a cada uma destas características. Já [Lazarova-Molnar, 2013] desenvolveu uma estrutura (framework) conceitual para melhorar a alocação de tarefas aos times de projetos utilizando SBA. As tarefas, os times e os gerentes são representados por agentes cujos comportamentos são compostos por ações que podem causar mudança no ambiente ou nos outros agentes e por mecanismos para selecionar as ações apropriadas com base nas percepções e no estado do agente.

[Lee et al., 2005] desenvolveram um modelo de comportamento do elemento humano considerando os módulos: arquitetura do recurso humano (capacidade cognitiva, perceptiva e motora dos componentes) arquitetura de seleção de ações (quais tarefas devem ser realizadas e qual recurso deve ser alocado) e biblioteca de procedimentos (conhecimento e conjunto de tarefas a serem realizadas). Este modelo foi inserido em outro modelo de transporte aéreo que simula outros agentes como fluxos do tráfego aéreo, terminal e aeroporto, mas não simula o fator humano como os controladores aéreos. Apesar de mostrar telas da interface construída, não detalha equações utilizadas para representar os agentes.

Os mesmos autores [Lee et al., 2005] apresentam uma continuação do trabalho citado anteriormente, desenvolvendo um modelo onde o agente representa os controladores aéreos e o seu comportamento humano, descrito como a interação dos sistemas cognitivo, perceptivo e motor. Já [Goknur et al., 2004] desenvolveram um modelo simulando o comportamento de pilotos ao receberem alertas de um display em um *cockpit* de avião. Para simular o comportamento humano eles incorporam um módulo gerenciador de tarefas que prioriza as tarefas de acordo com o nível de alerta.

Ainda com relação a área de transporte aéreo, mas com um foco diferente, [Court et al., 2004] utilizaram a SBA para modelar comportamento das pessoas para saírem do avião em uma situação de emergência. O comportamento dos agentes “pessoas” é direcionado pelas funções que executam e por características psicológicas diferentes. No caso das funções, o agente pode avançar (mover), bloquear (posição inacessível), entrar em pânico (que reduz a capacidade do agente de receber mensagens como avançar). Já como exemplo de características psicológicas tem-se conhecimento sobre as saídas, onde uma aeromoça conhece melhor o caminho que os passageiros, ou ainda se os agentes são casais ou mãe e filho, pois serão simulados juntos.

[Boella e Remondino, 2009] utilizaram a SBA para simular o ambiente de download de arquivos e verificar como a influência de contatos sociais que comunicam a reputação de usuários pode afetar no sistema. Os agentes são de dois tipos: pessoas confiáveis que fazem upload de arquivos reais ou maliciosas que fazem upload de arquivos falsos. Os autores publicaram os resultados da pesquisa em outro artigo também selecionado na revisão sistemática, o [Remondino e Boella, 2010].

[Gregoriades, 2007] buscou por meio da SBA quantificar a probabilidade de acidentes em uma rodovia. Para modelar o comportamento dos agentes motoristas, ele utilizou uma tabela da literatura com diversos fatores que influenciam o motorista e a probabilidade de que cada um destes fatores cause um acidente de trânsito. Os resultados deste trabalho também foram apresentados no artigo [Gregoriades et al., 2010], artigo este também selecionado na pesquisa da revisão sistemática.

Pode-se perceber por meio da análise dos trabalhos selecionados que todos os trabalhos estão relacionados com a representação do comportamento em diversas situações, e estes comportamentos são resultados de características pessoais, cognitivas, ações, e até mesmo de situações emergenciais como alertas de *display* e evacuações. Entretanto, nenhum trabalho apresenta em detalhes como estes agentes foram construídos. Cabe observar ainda que nenhum destes trabalhos está relacionado ao setor industrial, buscando compreender o desempenho humano no ambiente de manufatura.

4. Conclusão

Foi realizada uma revisão sistemática de literatura, a fim de verificar como o fator humano tem sido representado em modelos computacionais de projetos de simulação a eventos discretos e simulação baseada em agentes. Por meio dos resultados obtidos desta revisão foi possível levantar dados quantitativos, como área de aplicação, softwares utilizados e origem de publicação de artigos presentes na base de dados *Web of Knowledge* que utilizaram a SED ou a SBA e que de alguma forma retrataram o elemento humano em seus projetos. Pode-se realizar ainda uma análise qualitativa dos trabalhos para melhor entender a questão do fator humano nos referidos dois tipos de simulação.

Pode-se verificar que em projetos de SED, a maior porcentagem de artigos que contém o termo fator humano é da área industrial, o software mais utilizado é o Micro Saint e metade dos artigos é originária de congresso e a outra metade de revistas. Enquanto que para projetos SBA que contém o termo fator humano, a maior parte dos artigos está relacionada a área de tráfego aéreo, a maioria dos artigos não especifica o software utilizado, apesar de muitos apontarem a linguagem de programação utilizada, a linguagem Java. Observou-se ainda, que a grande maioria dos artigos tem origem em congressos da área, o que pode estar relacionado ao fato deste tipo de simulação ser relativamente recente.

Pode-se concluir que, no caso de trabalhos que utilizaram a SED, a representação do fator humano na simulação se dá pela introdução da variação do desempenho humano nos modelos, sendo este impactado pela alteração dos elementos cognitivos, pelo cálculo da probabilidade de erros ou ainda, como na grande maioria dos casos, por meio da cronometragem de dados de tempo, a fim de encontrar uma distribuição de probabilidades que represente a variação do tempo das atividades. Já no caso de trabalhos que utilizaram a SBA, pode-se perceber que todos os trabalhos estão relacionados com a representação do comportamento humano, sendo este resultado de características pessoais, cognitivas, ações, e até mesmo de situações emergenciais. Cabe ressaltar que nenhum trabalho analisado apresenta de forma detalhada como estes agentes foram construídos.

Como sugestão de trabalhos futuros, sugere-se a inclusão de termos na revisão sistemática de literatura que busquem por artigos que utilizem outros tipos de simulação que buscam representar o fator humano, como no caso da simulação dinâmica ou simulação híbrida.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos órgãos de fomento FAPEMIG, CAPES e CNPq .

Referências

Anjomshoae, A.; Hassan A.; Rani, M.R.A. [2014]. A Review of Ergonomics and Simulation Modeling in Healthcare Delivery System. In: *Advanced Materials Research. Trans Tech Publications,* p. 604-608.

Baines, T. S.; Asch, R.; Hadfield, L.; Mason, J. P; Fletcher, S.; Kay, J. M. Towards [2005]. A Theoretical Framework For Human Performance Modeling Within Manufacturing Systems Design. *Simulation Modelling Practice And Theory*, 13: 486–504.

Baines, T.; Hadfield, L.; Mason, S.; Ladbrook, J. [2003]. Using Empirical Evidence Of Variations In Worker Performance To Extend The Capabilities Of Discrete Event Simulations In Manufacturing. In: *Proceedings Of The Winter Simulation Conference*, Vol. 2, Pp. 1210-1216.

Baines, T. S.; Kay, J. M. [2002]. Human Performance Modelling As An Aid In The Process Of Manufacturing System Design: A Pilot Study. *International Journal Of Production Research*, V. 40, N. 10, P. 2321-2334.

Baines, T. S.; Mason, S.; Siebers, P. O.; Ladbrook, J. [2004]. Humans: The Missing Link In Manufacturing Simulation? *Simulation Modelling Practice And Theory*, 12: 515–526.

Biolchini, J. C. A.; Mian, P. G.; Natali, A. C. C.; Conte, T. U.; Travassos, G. H. [2007]. Scientific Research Ontology To Support Systematic Review In Software Engineering. *Advanced Engineering Informatics*, V.21, N.2, P.133-151.

Boella, G.; Remondino, M. [2009]. Collaboration And Human Factor As Drivers For Reputation System Effectiveness. In: *International Conference On Web Information Systems And Technologies.* Springer Berlin Heidelberg, P. 3-16.

Court, M.; Pittman, J.; Alexopoulos, C.; Goldsman, D.; Kim, S. H.; Loper, M.; Haddock, J. [2004]. A Framework For Simulating Human Cognitive Behavior And Movement When Predicting Impacts Of Catastrophic Events. In *Proceedings Of The 2004 Winter Simulation Conference.*

Dubiel, B.; Tsimhoni, O. [2005]. Integrating Agent Based Modeling Into A Discrete Event Simulation. In: *Proceedings Of The Winter Simulation Conference,* 2005. IEEE,P. 9.

Ferro, R., Ordóñez, R.E.C., Anholon, R. [2017]. Analysis of the integration between operations management manufacturing tools with discrete event simulation, Prod. Eng. Res. Devel, 11:467–476.

Fowles-Winkler, A. M. [2003]. Modelling With The Integrated Performance Modelling Environment (Ipme). In: *European Simulation Symposium*, Delft, The Netherlands. P. 26-29.

Franceschini, F.; Maisano, D.; Mastrogiacomo, L. [2014]. Scientific Journal Publishers And Omitted Citations In Bibliometric Databases: Any Relationship?. *Journal Of Informetrics*, V. 8, N. 3, P. 751-765.

Goknur, S.; Bolton, M.; Bass, E. J. [2004]. Adding A Motor Control Component To The Operator Function Model Expert System To Investigate Air Traffic Management Concepts Using Simulation. In: *Systems, Man And Cybernetics, 2004 IEEE International Conferenc*e On, P. 886-892.

Gregoriades, A. [2007]. Towards A User-Centred Road Safety Management Method Based On Road Traffic Simulation. In*: 2007 Winter Simulation Conference*. IEEE, P. 1905-1914.

Gregoriades, A.; Sutcliffe, A.; Papageorgiou, G.; Louvieris, P. [2010]. Human-Centered Safety Analysis Of Prospective Road Designs, *Transactions On Systems, Man And Cybernetics, Part A: Systems And Humans*, 40(2), 236-250.

Hughes, Khaliah; Jiang, Xiaochun. [2010].Using Discrete Event Simulation To Model Excavator Operator Performance. *Human Factors And Ergonomics In Manufacturing & Service Industries,* V. 20, N. 5, P. 408-423.

Joo, J.; Kim, N.; Wysk, R.A.; Rothrock, L.; Son,Y.; Oh, Y.; Lee,S. [2013]. Agent-Based Simulation Of Affordance-Based Human Behaviors In Emergency Evacuation. *Simulation Modelling Practice And Theory* V.32, P.99–115.

Kasaie, P.; Kelton, W. D. [2015]. Guidelines For Design And Analysis In Agent-Based Simulation Studies. In: *Proceedings Of The 2015 Winter Simulation Conference*. IEEE Press, P. 183-193.

Keller, J. [2002]. Human Performance Modeling For Discrete-Event Simulation: Workload. In: *Proceedings Of The Winter Simulation Conference*, P. 157-162.

https://proceedings.science/p/107015?lang=pt-br

Kernan, B.; Sheahan, C. [2013]. An Investigation Into Heuristics For Alternative Worker Selection In Discrete Event Simulation. *Journal Of Simulation*, V. 7, N. 1, P. 61-67.
Kitchenham, B. [2004]. *Procedures For Performing Systematic Reviews*. 2004. Dissertação (Mestrado), Keele University, Keele, F.126.
Kovacic, A.; Pecek, B. [2007]. Use Of Simulation In A Public Administration Process. *Simulation*, V. 83, N. 12, P. 851-861.
Kozine, I. [2006]. Simulation Of Human Performance In A Discrete Event Environment. *Safety And Reliability For Managing Risk. Proceedings.* Vol. 1.
Laughery, R.; Plott, B. M.; Engh, T. H.; Scott-Nash, S. [1996] . Discrete Event Simulation As A Tool To Determine Necessary Nuclear Power Plant Operating Crew Size. In *Proceedings Of The 28th Conference On Winter Simulation*, P. 1272-1279.
Lazarova-Molnar, S. [2013]. Agent-Based Modeling And Simulation Framework For Enhanced Project Schedules. In: *20th International Congress On Modelling And Simulation*, P. 887-893.
Lee, S. M.; Ravinder, U.; Johnston, J. C. [2005]. Developing An Agent Model Of Human Performance In Air Traffic Control Operations Using Apex Cognitive Architecture. In: *Proceedings Of The Winter Simulation Conference, 2005*, P. 9.
Liu, C.; Qiu, C. H.; Xie, Z. Q. [2010]. A Methodology To Estimate The Reliability Of Passageway System In Naval Ship Design. In: *Key Engineering Materials Trans Tech Publications*, Vol. 419, Pp. 721-724.
Martínez-Miranda, J.; Pavón, J. [2009]. Modelling Trust Into An Agent-Based Simulation Tool To Support The Formation And Configuration Of Work Teams. In: *7th International Conference On Practical Applications Of Agents And Multi-Agent Systems (Paams 2009*), P. 80-89.
Mason, S.; Baines, T.; Kay, M.; Ladbrook, J. [2005]. Improving The Design Process For Factories: Modeling Human Performance Variation. *Journal Of Manufacturing Systems*, V. 24, N. 1, P. 47.
Pecek, B., Kovacic, A. [2011]. Business Process Management: Use Of Simulation In The Public Sector. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 24(1): 95-106.
Pennathur, P. R.; Cao,D.; Sui,Z.; Lin,L.; Bisantz,A.M.; Fairbanks,R.J.; Guarrera,T.K.; Brown,J.L.; Perry ,S.J.; Wears ,R.L. [2010] . Development Of A Simulation Environment To Study Emergency Department Information Technology. *Simulation In Healthcare: Journal Of The Society For Simulation In Healthcare*, V. 5, N. 2, P. 103.
Remondino, M.; Boella, G. [2010] . How Users' Participation Affects Reputation Management Systems: The Case Of P2p Networks. *Simulation Modelling Practice And Theory*, V. 18, N. 10, P. 1493-1505.
Siebers, P.O.; Macal, C.M.; Garnett, J.; Buston, D.; Pidd, M. [2010]. Discrete-Event Simulation Is Dead, Long Live Agent-Based Simulation!. *Journal Of Simulation*, V. 4, N. 3, P. 204-210.
Siebers, P.; Onggo, S. [2014]. Graphical Representation Of Agent-Based Models, Operational Research And Management Science Using Uml. *In: Proceedings Of The 7th Operation Research Society Simulation Workshop. Operational Research Society*, Pp. 143-153.
Staples, M.; Niazi, M. [2007]. Experiences Using Systematic Review Guidelines. *Journal Of Systems And Software,* V. 80, N. 9, P. 1425-1437.
Wellbrink, J.C.G; Buss, A. H. [2004]. Vigilance Performance Modeled As A Complex Adaptive System With Listener Event Graph Objects (Legos). In: *Proceedings Of The 36th Conference On Winter Simulation*. Winter Simulation Conference, P. 755-759.
Yow, A. B.; Engh, T. H. [1997]. Discrete Event Simulation Of Operator Interaction With An Alarm System. In: Human Factors And Power Plants, 1997. Global Perspectives Of Human Factors In Power Generation, *Proceedings Of The IEEE Sixth Conference On.* IEEE, P. 724-729.
Zhao, C.; Zhang, X.; Qiu, J. [2012]. Modelling And Simulation On Collaborative Work In Cellular Manufacturing. In: *Computer Supported Cooperative Work In Design (Cscwd), 2012 IEEE 16th International Conference On*. IEEE,P. 730-733.

https://proceedings.science/p/107015?lang=pt-br