

Simulação Baseada em Agentes em Gestão de Operações: Uma Revisão Bibliográfica Sistemática

William Rodrigues dos Santos (UFSCar) wsantos@dep.ufscar.br

Luiz Antonio Tonin (UFSCar) tonin@dep.ufscar.br

João Eduardo Azevedo Ramos da Silva (UFSCar) jesilva@ufscar.br

Nilton Luiz Menegon (UFSCar) menegon@dep.ufscar.br

Miguel Antonio Bueno da Costa (UFSCar) mbcosta@ufscar.br

Resumo:

Os modelos de Simulação Baseados em Agentes (SBA) são apresentados pelos pesquisadores da área de Pesquisa Operacional como uma abordagem emergente de modelagem, orientada para a individualização das entidades, representadas como Agentes. Nessa abordagem, os agentes são autônomos, com capacidade de tomar decisões devido às informações percebidas no ambiente. Porém, a SBA não é plenamente aceita ou entendida pela comunidade científica da área de Gestão de Operações pela falta de clareza metodológica de definição e utilização da abordagem de simulação. Esta pesquisa busca identificar e analisar as principais características dos agentes, os métodos e técnicas de modelagem na área de gestão de operações, especificamente para o contexto da manufatura, logística e cadeia de suprimentos. Para alcançar este objetivo foi estruturada e conduzida uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) sobre a Simulação Baseada em Agentes. Os resultados sugerem que esta falta de clareza pode ser em função da existência de duas perspectivas na abordagem de simulação que envolve agentes e pela ausência de métodos e técnicas específicas para modelagem e simulação baseada em agentes. Este contexto, fortalece argumentos de que a SBA é apenas um complemento da Simulação de Eventos Discretos (SED).

Palavras chave: Simulação Baseada em Agentes, Simulação de Eventos Discretos, Revisão Bibliográfica Sistemática, Gestão de Operações.

Agent-Based Simulation in Operations Management: A Systematic Bibliographic Review

Agent-Based Simulation (SBA) models are presented by researchers in the field of Operational Research as an emerging modeling approach oriented towards the individualization of entities, represented as Agents. In this simulation approach, the agents are autonomous and able to make decisions due to the information perceived in the environment. However, the SBA is not fully accepted or understood by the scientific community in the area of Operations Management due to the lack of methodological clarity of definition and use of this simulation approach. This research seeks to identify and analyze the main characteristics of the agents, the methods and techniques of modelling in the field of operations management, specifically for the context of manufacturing, logistics and supply chain. To achieve this objective a Systematic Bibliographic Review (RBS) on Agent-Based Simulation was structured and conducted. The results suggest that this lack of clarity may be due to the existence of two perspectives in the simulation approach involving agents and the absence of specific methods and techniques for modeling and simulation based on agents. This context strengthens arguments that SBA is only a complement to Discrete Event Simulation (SED).

Keywords: Agent-Based Simulation, Discrete Event Simulation, Operations Management, Systematic Bibliographic Review

1. Introdução

No campo teórico e prático da Engenharia de Produção a necessidade de se trabalhar com modelos é para compreender o funcionamento dos sistemas produtivos. Existe uma dualidade na representação do conceito de modelo (de produção) a qual remete ao próprio significado da palavra modelo, ou seja, designando uma representação articulada do real ou uma referência positiva a ser atingida (ZILBOVICIUS, 1999). Os modelos de simulação remetem ao primeiro uso -, ou seja, uma representação articulada do real, a qual considera a dinâmica temporal e/ou a dinâmica de eventos. Considera ainda a probabilidade como elemento representativo da variabilidade do sistema de produção, sendo efetivamente importante para a compreensão e concepção de sistemas de produção, além de dar suporte nos processos decisórios.

Os modelos de simulação são geralmente construídos como modelos computacionais, visando representar a realidade do sistema de produção, através de variáveis globais quantitativas (peças/produtos produzidos, tamanho de fila, ociosidade e disponibilidade), validadas por meio de testes estatísticos. Os elementos da tecnologia não considerados no modelo devem ser adaptados para que o modelo possa representar devidamente o sistema, dentro das capacidades de modelagem e computacional disponíveis para o projeto. Por outro lado, a inclusão de maiores detalhes das práticas existentes (dos modos de ação), demanda conhecimento do sistema de produção real e suas particularidades. Isto implica a necessidade de o modelo incorporar novas tecnologias, que aumentam a complexidade do modelo e demandam novas técnicas para modelagem e simulação (TORRES, 2007).

Os modelos de Simulação Baseados em Agentes (SBA) são apresentados pelos pesquisadores da área de Pesquisa Operacional (PO) como uma abordagem emergente de modelagem orientada para a individualização das entidades, representadas como Agentes (BALDWIN; SAUSER; CLOUTIER, 2015; HOAD; WATTS, 2012; MACAL; NORTH, 2010; SIEBERS et al., 2010). Nesta abordagem, os agentes são autônomos, com capacidade de tomar decisões devido às informações percebidas no ambiente.

A abordagem de simulação com agentes ainda não está profundamente fundamentada na área de Gestão de Operações. Segundo Macal (2016) há um crescimento nas publicações neste tema, porém, o pesquisador também constata que SBA não é aceita ou entendida pela comunidade científica, quando comparada com outros tipos de simulação. Na visão do autor, não há clareza em relação i) às características essenciais de modelo SBA; ii) aos métodos e técnicas para construção dos modelos e iii) o relacionamento da SBA com outros tipos e técnicas de simulação.

Para o autor, esta confusão é causada pela diversidade de áreas de pesquisa que utilizam SBA. Além desta diversidade de comunidades, não há consenso sobre o que é Simulação Baseada em Agentes. Parte da comunidade posiciona a SBA como técnica de modelagem distinta das já existentes (Simulação de Eventos Discretos (SED), Monte Carlo, Dinâmica de Sistemas e Simulação Contínua), necessitando de desenvolvimento curricular e ferramentas próprias dedicadas para SBA. Porém, outra parte da comunidade científica argumenta que a SBA é um subconjunto da SED ou uma outra abordagem para atingir os mesmos resultados que poderiam ser obtidos com Sistemas Dinâmicos.

Neste contexto, o objetivo deste artigo é identificar e analisar as principais características dos agentes e os métodos e técnicas de modelagem na área de gestão de operações, especificamente para o contexto da manufatura, logística e/ou cadeia de suprimentos. Para alcançar este objetivo foi estruturada e conduzida uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) sobre a Simulação Baseada em Agentes.

2. Metodologia: revisão bibliográfica sistemática

A Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) é apresentada, por Conforto, Amaral e Silva (2011), como um procedimento científico para coletar, conhecer, compreender, analisar, sintetizar e avaliar um conjunto de artigos científicos com o propósito de criar um embasamento teórico-científico sobre um determinado tópico ou assunto pesquisado, sendo importante para definir as divisas ou fronteiras da pesquisa que se deseja desenvolver, considerando uma perspectiva científica. Dentre as justificativas para a aplicação da RBS, ressalta-se que através dela é possível identificar lacunas na teoria e ainda considerar pesquisas recentes como embasamento para o aprimoramento da pesquisa em desenvolvimento e outras futuras.

É importante ressaltar, que, diferentemente da bibliometria, cujos métodos de busca e análise são mais amplos e complexos (extrapolando-se a exploração das publicações através de técnicas estatísticas e modelagem matemática), o objetivo da RBS é situar a produção acadêmica e verificar a existência de lacunas e tendências e a partir destas, identificar oportunidades de contribuição científica a partir da pesquisa elaborada.

Conforto, Amaral e Silva (2011) apresentam um roteiro para a RBS, chamando de *Roadmap*. Este roteiro foi desenvolvido para pesquisas que envolvam Engenharia de Produção e Operações. A Figura 1 ilustra as etapas para a aplicação deste método.

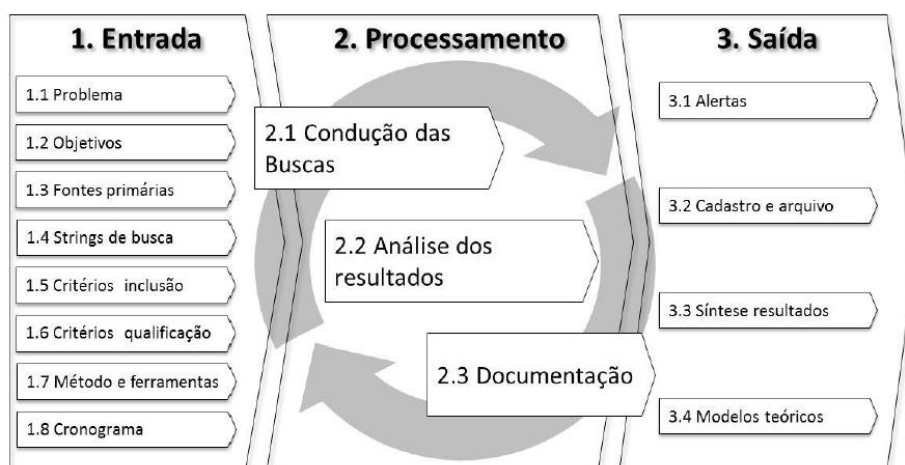


Figura 1 - Modelo para condução da revisão bibliográfica sistemática – RBS Roadmap

Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011).

Na etapa inicial (entrada) deve-se formular o problema e os objetivos da RBS. Em seguida deve-se identificar as fontes primárias para a pesquisa (por exemplo: listando-se periódicos inicialmente ou mesmo definindo-se uma base de dados), define-se as *strings* de busca e os critérios de inclusão e qualificação. Na segunda fase do *Roadmap*, devem ser realizadas as buscas, aplicando, os critérios de inclusão e qualificação definidos anteriormente, análise dos resultados e documentação.

Na fase final do roteiro, é elaborada uma síntese com os resultados obtidos, podendo ser: um relatório de pesquisa que descreva os achados da RBS, os principais autores, principais conclusões, lacunas do tema pesquisado, ou até mesmo, modelos teóricos embasados na RBS.

2.1. Problema de pesquisa e objetivos

Para identificar sistematicamente as características metodológicas da Simulação Baseada em Agentes no contexto da manufatura, logística e cadeia de suprimentos As questões orientadoras

da RBS foram:

- a) Quais as principais características da SBA no contexto da gestão de operações?
- b) Quais os métodos e técnicas para construção do modelo em SBA?

2.2. Fontes primárias

As fontes primárias são os artigos publicados em periódicos e congressos nacionais e internacionais, considerados relevantes para assunto pesquisado. Para esta pesquisa, foram definidas as bases de dados *ScienceDirect* e *Scopus*. Estas bases foram escolhidas por reunirem os principais periódicos na área de manufatura, como *International Journal of Production Research* e também na área de simulação, como *Journal of Simulation*, *Simulation Modelling Practice and Theory*, entre outros.

2.3. Strings de busca

Uma *string* de busca é uma combinação de termos relevantes para pesquisa (palavras-chave) que serão utilizadas para realizar a busca pelos artigos nas bases de dados. A construção de uma *string* envolve combinar as palavras-chave, utilizando operadores lógicos (AND, OR, NOT, entre outros).

Nesta pesquisa as *strings* foram construídas com três elementos principais. O primeiro conjunto de palavras-chave que buscou artigos relacionados com simulação de agentes. O segundo relacionado com metodologia, e o terceiro no contexto da manufatura, logística e cadeia de suprimentos. Os campos dos artigos estabelecidos para realizar a pesquisa foram: “título”, “resumo” e as “palavras-chave”. Na Figura 2 é apresentada a *string* de busca utilizada nas duas bases consideradas nesta RBS.

((Simulation) AND ("Agent simulation model" OR "Agent based model*" OR "Intelligent simulation" OR "Agent based framework" OR "Agent methodol*" OR "agent architecture") AND ("Manufacturing" OR "shop-floor" OR "flow line" OR "scheduling" OR "Operational Research" OR "Management Science" OR "Operational Management" OR "Supply Chain" OR Logistic OR "layout" OR "facilities design"))

Figura 2 – *String* de busca utilizada na RBS

2.4. Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão são filtros que definem se o artigo encontrado, após a aplicação da *string* de busca, será considerado para escrita da RBS. Estes critérios foram definidos em filtros das características da publicação e filtro de conteúdo do artigo. Foram definidos os seguintes critérios para inclusão:

- **Critério de inclusão 1:** artigos publicados em periódicos de língua inglesa;
- **Critério de inclusão 2:** artigos publicados a partir de 2006;
- **Critério de inclusão 3:** apresentar métodos, técnicas e ferramentas para modelagem e simulação baseado em agentes aplicados no contexto da manufatura, logística ou cadeia de suprimentos;
- **Critério de inclusão 4:** apresentar discussão sobre pressupostos conceituais para SBA

Foi definido um único critério de exclusão, sendo desconsiderados os artigos que não apresentaram detalhamento de um modelo ou discussão conceitual na temática de agentes, pois alguns artigos citam apenas brevemente esta temática.

2.5. Critérios de qualificação

Os critérios de qualificação são utilizados para auxiliar na identificação da importância dos artigos para a pesquisa (CONFORTO, AMARAL e SILVA, 2011). Desta forma, é importante classificar os artigos sobre diversas perspectivas de análise. Os artigos foram qualificados nas categorias:

- a) Contexto da aplicação
- b) Características dos agentes
- c) Classificação do modelo de simulação
- d) Técnicas de modelagem
- e) *Softwares*/linguagens de programação utilizadas

2.6. Métodos e ferramentas

Para condução desta RBS foi utilizado o *software* StArt, desenvolvido pelo LaPES (Laboratório de Pesquisa em Engenharia de *Software*) do Departamento de Computação (DC) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). As etapas de condução do método são descritas a seguir.

Primeiramente foi elaborado o protocolo de pesquisa, contendo o objetivo da revisão, as bases de dados selecionadas, as palavras-chave, os critérios de inclusão/exclusão e os critérios de qualificação. Na sequência foi realizada a pesquisa nas bases selecionadas. A pesquisa inicial retornou um total de 772 artigos. Os critérios de inclusão 1 e 2 foram aplicados diretamente nas bases, filtrando 330 artigos.

Os metadados dos artigos classificados, foram importados para o *software* StArt. Dos 330 artigos foram identificados 50 artigos duplicados nas duas bases de dados. Após a aplicação dos critérios de inclusão 3, 4 e do critério de exclusão, foram extraídas 42 referências para análise. Os metadados destes artigos foram exportados para planilha eletrônica para *download* e leitura na íntegra. Neste processo não foi possível acesso a 4 destes artigos. Desta forma, o total de artigos disponível foi 38, sendo que 10 são teóricos conceituais, conforme o critério 4 de inclusão. Um resumo da quantidade de artigos selecionados durante o processo de pesquisa é apresentado na Figura 3.

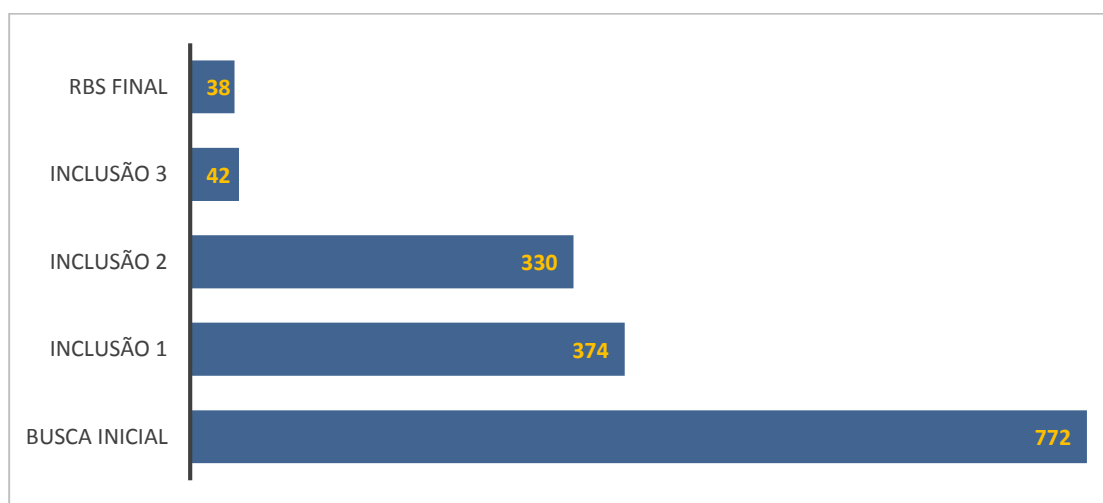


Figura 3 – Síntese da pesquisa de artigos da Revisão Bibliográfica Sistemática

Com a leitura dos 38 artigos foram aplicados os critérios de qualificação e elaborada a síntese da RBS.

3. Resultados da Revisão Bibliográfica Sistemática

3.1. Perspectiva conceitual da abordagem de agentes

Os resultados da RBS mostram que existem duas perspectivas principais para a abordagem de agentes: os Sistemas Multi-Agentes (do inglês *Multi-Agent System – MAS*) e a Simulação Baseada em Agentes (*Agent-Based Modelling and Simulation – ABMS*). O MAS é mais antigo que ABMS e está alinhado com a robótica e a Inteligência Artificial (IA) distribuída, visando identificar as regras de comportamento individual que os agentes devem operar para alcançar um objetivo comum, voltado para a otimização do sistema modelado. Esta abordagem é típica do *design* de engenharia voltada para projeto de sistemas normativos, onde o objetivo é desenvolver a melhor solução possível para um sistema.

Já os modelos ABMS possuem características descritivas do sistema modelado. Esta abordagem visa descrever da melhor forma possível como os agentes se comportam e interagem em um sistema. Para Macal (2016) esta diferenciação de abordagens de agentes ainda não é clara para os pesquisadores da área. Porém, o autor argumenta que ambas as abordagens de simulação compartilham do mesmo problema técnico de entender a ligação entre o nível micro (comportamentos locais e adaptativos) com o nível macro (comportamentos no nível do sistema).

Para exemplificar estas duas perspectivas, pode-se citar dois estudos desenvolvidos na mesma área e contexto de aplicação, porém com objetivos diferentes. Renna (2010) modelou um Sistema Flexível de Manufatura (FMS) pela perspectiva da MAS. Este modelo era composto por três linhas de produção e três tipos de peças. Neste modelo, as máquinas possuem a inteligência de alterar o nível de produção (quantidade) de cada peça ou trocar o tipo de peça, devido a ocorrência de problemas na linha, como quebra de máquinas e tempo de *setup*. As entidades agentes trocam informações e tomam decisões visando maximizar a produção e reduzir o tempo de atravessamento.

Por outro lado, Cicirelli, Furfaro e Nigro (2011) também realizaram a modelagem de um FMS, mas pela perspectiva da ABMS. Neste modelo, máquinas e um robô foram modelados como agentes que podem assumir diferentes comportamentos durante a simulação. As entidades agentes eram capazes de tomar decisões conforme suas informações locais. Com este estudo, os autores conseguiram obter o impacto das diferentes combinações dos agentes na utilização dos recursos.

Na primeira pesquisa, busca-se a melhor combinação de recursos e decisões dos agentes para o sistema global, enquanto que na segunda, busca-se descrever o comportamento dos agentes e seu impacto no sistema global.

Na figura 4 é apresentado um resumo de todos os artigos qualificados para ambas perspectivas da simulação com agentes no contexto da manufatura, logística e cadeia de suprimentos. A partir desta diferenciação de perspectivas de simulação com agentes, os resultados discutidos referem-se aos artigos que possuem abordagem da Simulação Baseada em Agentes (ABMS).

É importante destacar que nos resultados da RBS foram qualificados dois artigos aplicados no setor de serviços (SIEBERS; AICKELIN, 2011 e SIEBERS et al., 2011). Estes artigos foram considerados por apresentarem detalhamento das técnicas de construção do modelo de simulação.

Conceito de Agente	Classificação do modelo	Contexto de aplicação do modelo	Técnica de modelagem	Software/Linguagem de programação	Autores
ABMS	Híbrido: DES-Multi Agente	Logística	Fluxograma	Java	Yu et al (2012)
			Fluxograma e UML	Repast	North e Macal (2009)
			UML	AnyLogic	Helo (2016)
		Manufatura	Fluxograma e UML	AnyLogic	Sun et al (2016)
			UML	Java	Savino, Mazza e Neubert (2013)
			UML		Cicirelli, Furfaro e Nigro (2011)
	Multi Agente	Serviços	UML		Komma, Jain e Metha (2007)
			UML	AnyLogic	Siebers e Aickelin (2011)
		Logística	Fluxograma	Java	Ponte et al (2016)
			UML	Não especificado	Nilsson e Darley (2006)
MAS	Híbrido: DES-Multi Agente	Manufatura	UML		Lättilä (2011)
			Descrição textual	AnyLogic	Garro e Russo (2010)
			Fluxograma	Repast	Grobarcikova e Sosedova (2016)
			UML	Veja Logistics	Anand et al (2016)
			Diagrama de atividades	Não especificado	Nall e Negahban (2014)
	Híbrido: Multi Agente-Heurística	Manufatura	UML	Repast	Ruiz et al (2014)
			Descrição textual	Java	Renna (2010)
			Fluxograma		Renna (2011)
	Multi Agente	Logística	UML	ARENA	Renna (2010)
			Fluxograma		Renna (2012)
			Fluxograma		Renna (2014)
			Mapa de atividades		Chu et al (2014)

Figura 4 – Síntese da pesquisa de artigos da Revisão Bibliográfica Sistemática

3.2. Características dos agentes

Os resultados da RBS (MACAL; NORTH, 2010; SIEBERS et al., 2010; BRAILSFORD, 2014; MACAL, 2016) mostram que as principais características dos agentes em um modelo SBA são:

- **Individualidade:** cada agente possui características heterogêneas que possibilita diferenciá-lo em uma população;
- **Autonomia baseada no comportamento interno:** os agentes são capazes de perceber informações no ambiente e tomar uma decisão apropriada em resposta ao estímulo;
- **Interação com outros agentes:** as interações estão relacionadas com a capacidade dos agentes se comunicarem e cooperarem durante a simulação
- **Capacidade de adaptação e aprendizado:** os agentes podem alterar seus comportamentos durante a simulação, à medida que aprendem, encontram situações novas ou quando as populações ajustam sua composição para incluir proporções maiores de agentes que se adaptaram com sucesso.

Para Brailsford (2014), tanto os modelos SED, como os modelos SBA compartilham da mesma lógica de funcionamento do modelo. Ambos possuem entidades com atributos ou características que determinam seu comportamento dentro do sistema. Porém, Siebers et al. (2010) argumentam que as entidades em um modelo SBA são ativas, com possibilidade de tomar decisões individualmente. Para os autores, a SBA inverte a lógica de construção dos modelos de simulação: de uma lógica “*top down*”, voltada para ao nível do sistema, para uma lógica “*bottom up*”, baseada nas interações locais das entidades.

3.3. Classificação dos modelos de simulação

Os resultados da RBS mostram que 9 dos 17 artigos classificados como ABMS utilizaram modelo denominado como híbrido. Um modelo é considerado híbrido quando representa um sistema utilizando dois tipos de simulação de forma integrada (DOMINGOS; POLITANO; PEREIRA, 2015). Nestas pesquisas, a abordagem de Eventos Discretos foi utilizada para representar os eventos que ocorrem ao nível do sistema (por exemplo: chegada e saída de peças), enquanto que a abordagem Baseada em Agentes para representar a interação entre entidades que tomam decisões no sistema (por exemplo: negociação de ordens de produção).

3.4. Métodos de modelagem

Os resultados da RBS mostram que a grande maioria dos artigos com modelos baseados em agentes utilizaram a linguagem *Unified Modeling Language* (UML) para modelagem conceitual dos agentes (em 12 dos 17 artigos). O uso do fluxograma de processo, tradicionalmente utilizado em diversas aplicações na Engenharia de Produção, foi utilizado em 4 artigos. Em três artigos, os autores combinaram o fluxograma de processo com linguagem UML para construir o modelo híbrido. O fluxograma foi utilizado para modelar os fluxos logísticos, e a linguagem UML para modelar o comportamento e interações dos agentes.

Para Bersini (2012), a UML é a linguagem mais simplificada para modelar as atividades dos agentes no ambiente (por exemplo: interações entre objetos, os locais físicos onde eles se situam, os recursos que eles consomem, entre outras). Na Figura 5 são apresentados quatro tipos de diagramas UML que podem ser utilizados para modelar agentes. Porém, o autor destaca que a UML é uma linguagem de programação e não uma metodologia. Isto significa que não é estabelecida uma ordem para utilização dos diagramas, nem quais devem ser utilizados e os conteúdos necessários: “o resultado é fruto da prática correta adquirida através da experiência” (BERSINI; 2012, p. 3).

Nome do diagrama	Função
Diagrama de classe	Descrever os tipos de agentes no sistema e os tipos relacionamentos estáticos com outros agentes
Diagrama de caso de uso	Utilizado para comunicação entre agentes-chave do sistema
Diagrama de sequência	Descreve como grupos de agentes colaboram um com outro (mandando mensagens) em um cenário específico (diagrama de caso de uso)
Diagrama de máquina de estado (ou Diagrama de estado)	Expressam o comportamento do agente através de estados, desencadeados por eventos e as relações que possam ocorrer.

Figura 5 - Diagramas UML para modelagem de agentes

Fonte: Adaptado de Bersini (2012)

Na visão de Bersini (2012), a linguagem UML se tornará linguagem padrão para projetos de simulação baseados em agentes, pois ela permite implementação em qualquer plataforma.

3.5. Ferramentas computacionais aplicada a SBA

Para a implantação computacional dos modelos conceituais foi observado que 6 artigos não utilizaram um software específico para simulação, mas a linguagem de programação orientada a objetos Java. Deste total, 4 utilizaram um *framework* próprio para desenvolvimento de aplicações com agentes chamado Java Agent Development (JADE).

Outros 5 artigos utilizaram *software* recente no mercado (desde 2000) que possibilita a modelagem em três diferentes abordagens de simulação: SD, SED e SBA, além de permitir construção de modelos híbridos. Neste *software*, os comportamentos dos agentes são modelados como transições de estado, conforme a ocorrência de eventos no ambiente.

O Respast é um *software open source*, em linguagem JAVA, para construção de modelos de SBA, que foi utilizado em 3 estudos. Este *software* permite a criação de agentes que interagem em um ambiente no formato de um grid ou baseado em um Sistema de Coordenadas Geográficas. Nos outros 3 artigos classificados como SBA, os autores não especificaram sobre o *software* utilizado.

3.6. Síntese dos resultados

A SBA é um tipo de simulação em que o processo de modelagem é baseado na construção do comportamento individual das entidades agentes e suas interações com outros agentes e o ambiente. As características principais de um modelo SBA são: individualidade dos agentes, autonomia, capacidade de interação com outros agentes, adaptação e aprendizado. Além disso, a síntese da RBS evidenciou pelo menos quatro aspectos de conflito metodológico de definição e utilização da SBA:

- Confusão no uso de termos;
- Classificação dos modelos de simulação;
- Técnicas de modelagem;
- Ferramentas computacionais aplicadas na SBA.

O primeiro aspecto de conflito é a confusão no uso dos termos para definir o tipo de simulação com agentes. Os resultados da RBS mostram que a Simulação Baseada em Agentes é confundida com a simulação de Sistemas de Multi-Agentes pelo fato de ambas utilizarem o conceito de agentes para construir seus modelos. No entanto, a perspectiva dos objetivos do modelo é diferente. Na MAS busca-se a melhor combinação de recursos e decisões dos agentes para o sistema global, enquanto que na ABMS, busca-se descrever o comportamento dos agentes

e seu impacto no sistema global. Esta diferenciação de orientação dos objetivos estabelece diferentes características para o processo de modelagem e construção do modelo.

O segundo aspecto de conflito é em relação a classificação dos modelos SBA. Não há um consenso quanto a sua estrutura e forma de avanço do tempo de simulação. Os modelos de SBA classificados como multi-agentes são modelos que apresentam diversos agentes interagindo em um ambiente, conforme seu estado interno modelado com equações matemáticas. Nestes estudos, a orientação do tempo de simulação é contínua, como na simulação de Sistemas Dinâmicos. Já os modelos classificados como híbridos SED-Multi Agente são modelos que também possuem agentes interagindo em um ambiente, porém seu comportamento e interações são orientados de forma discreta no tempo, conforme a ocorrência de eventos. Estas duas formas de construir modelos SBA devem ser aceitas, desde que permaneçam os princípios de orientação dos objetivos para descrição do comportamento dos agentes e modelagem de interação entre entidades.

O terceiro aspecto de conflito é quanto as técnicas de modelagem utilizadas para construção dos modelos SBA. Para modelagem SED, Pereira e Chwif (2012) citam diversas técnicas de modelagem como Diagrama de Ciclo de Atividade (ACD), IDEF0 (*Integration Definition for Function. Modeling*), Sipoc (*Suppliers Inputs Process Outputs Customer*) ou o fluxograma do processo. A maioria dos artigos classificados na RBS utilizaram a linguagem UML para modelar as interações e comportamento dos agentes no sistema. Esta linguagem é utilizada na Engenharia da Computação para modelagem de *softwares* orientados a objetos, que geralmente não é de domínio da Engenharia de Produção. Porém, como destacado por Bersini (2012), a UML possui potencial para modelagem SBA, devido sua flexibilidade de uso em diferentes plataformas.

Por fim, quanto as ferramentas computacionais, o conflito existe devido à falta de *softwares* específicos para SBA de alto nível e facilidade de modelagem, como os *softwares* comerciais para SED. Os estudos de SBA utilizam linguagens de programação diretamente, sem o uso de *softwares* específicos para simulação, ou ainda, utilizam *softwares* comerciais de SED, utilizando-se de recursos de programação. No caso específico do AnyLogic, o funcionamento do modelo computacional, com transição de estados de uma entidade agente, desencadeada por eventos, é semelhante ao funcionamento do modelo computacional dos modelos SED.

Este contexto acaba contribuindo para falta de aceitação da SBA na comunidade científica em relação as definições do que é a SBA em contraposição com SED, fortalecendo argumentos que a SBA é um complemento para SED.

4. Conclusão

Este artigo apresentou os resultados de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) sobre o tema da Simulação Baseada em Agentes na área de Gestão de Operações, especificamente aplicações no contexto da manufatura, logística e cadeia de suprimentos.

Os resultados mostram que as dificuldades em desenvolver a SBA são fundamentadas em duas características diferentes. A primeira, pela confusão conceitual do que é a simulação baseada em agentes. Esta confusão surge da própria natureza de formação do pesquisador em enxergar as duas perspectivas de simulação com agentes. A segunda, pela ausência de métodos e técnicas específicas para esta abordagem de simulação, e que seja de conhecimento e domínio do profissional de simulação.

A principal limitação desta pesquisa é em relação a fontes de pesquisa, sendo que somente artigos de *Journals* foram considerados nas buscas. Para pesquisas futuras, sugere-se inclusão de artigos de congressos, principalmente da *Winter Simulation Conference* e *Spring Simulation*

Multiconference, que são especializados na temática de simulação. Outra limitação detectada foi o acesso a todos os artigos, sendo que quatro deles ficaram de fora das análises por falta de acesso.

A SBA é um tema de crescente interesse para os pesquisadores da área de modelagem e simulação de sistemas de produção. O conjunto de resultados apresentados contribuem para a compreensão desta abordagem de simulação e auxiliam os pesquisadores e profissionais de empresas em novos estudos e aplicações da SBA no contexto da Gestão de Operações.

Referências

- ANAND, N.; MEIJER, D.; VAN DUIN, J. H. R.; TAVASSZY, L. MEIJER, S. *Validation of an agent based model using a participatory simulation gaming approach: The case of city logistics*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, v. 71, p. 489–499, 2016.
- BALDWIN, W. C.; SAUSER, B.; CLOUTIER, R. *Simulation Approaches for System of Systems: Events-based versus Agent Based Modeling*. Procedia Computer Science, v. 44, p. 363–372, 2015.
- BERSINI, H. *UML for ABM*. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, v. 15, n.2, 2012.
- BRAILSFORD, S. *Discrete-event simulation is alive and kicking!* Journal of Simulation, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2013.
- CICIRELLI, F.; FURFARO, A.; NIGRO, L. *Modelling and simulation of complex manufacturing systems using statechart-based actors*. Simulation Modelling Practice and Theory, v. 19, n. 2, p. 685–703, 2011.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C. SILVA, S. L. *Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos*. Anais... VIII Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos, Setembro, Porto Alegre, RS, 2011.
- CHU, Y. et al. *Integrated planning and scheduling under production uncertainties: Bi-level model formulation and hybrid solution method*. Computers and Chemical Engineering, v. 72, p. 255–272, 2015.
- CHU, Y.; YOU, F.; WASSICK, J. M. *Hybrid method integrating agent-based modeling and heuristic tree search for scheduling of complex batch processes*. Computers and Chemical Engineering, v. 60, p. 277–296, 2014.
- GARRO, A.; RUSSO, W. *EasyABMS: A domain-expert oriented methodology for agent-based modeling and simulation*. Simulation Modelling Practice and Theory, v. 18, n. 10, p. 1453–1467, 2010.
- GROBARCIKOVA, A.; SOSEDOVA, J. *Design of Agent-Based Model for Barge Container Transport*. Transport Problems, v. 11, n. 4, p. 95–101, 2016.
- HELO, J. R. P. *Developing service supply chains by using agent based simulation*. Industrial Management & Data Systems, v. 116, n. 2, 2016.
- HOAD, K.; WATTS, C. *Are we there yet? Simulation modellers on what needs to be done to involve agent-based simulation in practical decision making*. Journal of Simulation, v. 6, n. 1, p. 67–70, 2012.
- JULES, G.; SAADAT, M. *Agent Cooperation Mechanism for Decentralized Manufacturing Scheduling*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, v. PP, n. 99, p. 1–12, 2016.
- KOMMA, V. R.; JAIN, P. K.; MEHTA, N. K. *Agent-based simulation of a shop floor controller using hybrid communication protocols*. International Journal of Simulation Modelling, v. 6, n. 4, p. 206–217, 2007.
- LÄTTILÄ, L. *Modelling seaports with Agent-Based Modelling and System Dynamics*. International Journal of Logistics Systems and Management, v. 10, n. 1, p. 90, 2011.
- MACAL, C. M. *Everything you need to know about agent-based modelling and simulation*. Journal of Simulation, v. 10, n. 2, p. 144–156, 2016.
- NEGAHBAN, A.; YILMAZ, L.; NALL, T. *Managing production level in new product diffusion: an agent-based simulation approach*. International Journal of Production Research, v. 52, n. 17, p. 4950–4966, 2014.
- NEJAD, H. T. N.; SUGIMURA, N.; IWAMURA, K. *Agent-based dynamic integrated process planning and scheduling in flexible manufacturing systems*. International Journal of Production Research, v. 49, n. 5, p. 1373–1389, 2011.

- NILSSON, F.; DARLEY, V.** *On complex adaptive systems and agent- based modelling for improving decision- making in manufacturing and logistics settings.* International Journal of Operations & Production Management, v. 26, n. 12, p. 1351–1373, 2006.
- NORTH, M. J.; MACAL, C. M.** *Agent-based modelling and systems dynamics model reproduction.* International Journal of Simulation and Process Modelling, v. 5, n. 3, p. 256, 2009.
- PONTE, B.; SIERRA, E.; FUENTE, D.; LOZANO, J.** *Exploring the interaction of inventory policies across the supply chain: An agent-based approach.* Computers and Operations Research, v. 78, p. 335–348, 2017.
- RENNA, P.** *Job shop scheduling by pheromone approach in a dynamic environment.* International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 23, n. 5, p. 412–424, 2010.
- RENNA, P.** *Capacity reconfiguration management in reconfigurable manufacturing systems.* International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 46, n. 1–4, p. 395–404, 2010.
- RENNA, P.** *Multi-agent based scheduling in manufacturing cells in a dynamic environment.* International Journal of Production Research, v. 49, n. 5, p. 1285–1301, 2011.
- RENNA, P.** *Controllable processing time policies for job shop manufacturing system.* International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 67, n. 9–12, p. 2127–2136, 2013.
- RENNA, P.** *Coordination strategies to support distributed production planning in production networks.* European J. of Industrial Engineering, v. 9, n. 3, p. 366, 2015.
- RENNA, P.** *Deteriorating job scheduling problem in a job-shop manufacturing system by multi-agent system.* International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 28, n. 9, p. 936–945, 2015.
- ROLÓN, M.; MARTÍNEZ, E.** *Agent-based modeling and simulation of an autonomic manufacturing execution system.* Computers in Industry, v. 63, n. 1, p. 53–78, 2012.
- ROUZAFZON, J.; HELO, P.** *Developing service supply chains by using agent based simulation.* Industrial Management & Data Systems, v. 116, n. 2, p. 255–270, 2016.
- RUIZ, N.; GURET, A.; BOTTI, V.; FERIA, V.** *An intelligent simulation environment for manufacturing systems.* Computers and Industrial Engineering, v. 76, n. 1, p. 148–168, 2014.
- SAVINO, M. M.; MAZZA, A.; NEUBERT, G.** *Agent-based flow-shop modelling in dynamic environment.* Production Planning & Control, v. 25, n. 2, p. 110–122, 2014.
- SIEBERS, P. O.; MACAL, C.M.; GARNETT, J.; PIDD, M.** *Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation!* Journal of Simulation, v. 4, n. 3, p. 204–210, 2010.
- SIEBERS, P. O.; AICKELIN, U.; CELIA, H.; CLEGG, C. W.** *Towards the development of a simulator for investigating the impact of people Management practices on retail performance;* International Journal of Simulation and Process Modelling, v. 5, n. 3, p. 215–232, 2011.
- SIEBERS, P. O.; AICKELIN, U.** *A first approach on modellign staff proactiveness in retais simulation models.* Journal of Artificial Societies and Social Simulation, v. 14, n.2, 2011.
- SUN, J-Y.; FU, W-P.; WANG, W.; YAO, D.** *Modelling and Simulation of the Supply Chain of Automobile Industry.* International Journal of Simulation, Systems, Science & Technology, v. 17, n. 26 p. 1–11, 2016.
- TORRES, I.** *Um formalismo relacional para o desenvolvimento de arranjo físico industrial.* 2007 f. 207. Tese (Doutorando em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, 2007.
- YU, T. T.; SCANLAN, J. P.; CROWDER, R. M.; WILLS, G. B.** *Approaches to Modeling the Gas-Turbine Maintenance Process.* Journal of Computing and Information Science in Engineering, v. 12, n. 1, p. 11007, 2012.
- ZILBOVICIUS, M.** *Modelos para a produção, produção de modelos: gênese, lógica e difusão do modelo japonês de organização da produção.* São Paulo: FAPESP: Annablume, 1999. 298 p.