

# Qual Eu Escolho? Rumo a um *Checklist* para Apoiar Recém-Chegados na Escolha de um Formalismo de Simulação

Luiza M. F. Cintra<sup>1</sup>, Valdemar V. Graciano Neto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)

cintraluiza@discente.ufg.br, valdemarneto@ufg.br

**Abstract.** *Modeling and Simulation is often applied in critical domains and for business planning and decision support. However, when software engineers are willing to use M&S in their projects, they often face the question of which formalism to use. This article presents preliminary results from the establishment of a checklist to assist beginners in M&S in choosing the most appropriate paradigm to solve their problems among three main formalisms: DEVS, System Dynamics and Agent-Oriented Simulation. A pilot study was carried out and an expert was consulted. Results suggest that the checklist can guide choice in a consistent manner with previous studies.*

**Resumo.** *Modelagem e Simulação é frequentemente aplicada em domínios críticos e para planejamento e apoio à decisão de negócios. No entanto, quando engenheiros(as) de software se dispõem a usar M&S em seus projetos, muitas vezes eles(as) enfrentam a dúvida de qual formalismo utilizar. Este artigo apresenta resultados preliminares do estabelecimento de um checklist para auxiliar iniciantes em M&S na escolha do paradigma mais adequado para resolver seus problemas entre três formalismos principais: DEVS, Dinâmica de Sistemas e Simulação Orientada a Agentes. Um estudo piloto foi realizado e um especialista foi consultado. Resultados sugerem que o checklist pode direcionar a escolha de forma consistente com estudos anteriores.*

## 1. Introdução

Modelagem e Simulação (M&S) é uma área dedicada ao uso de modelos executáveis, geralmente com apoio de animação, para exercitar cenários e prever propriedades de sistemas de interesse [Singh and Singh 2009]. Em Engenharia de Software, é possível encontrar usos de M&S em (i) domínios críticos, em que é inviável utilizar um sistema real para prever condições adversas ou propriedades específicas, seja porque é muito caro ou porque erros podem trazer prejuízos e perdas aos seus usuários ou ao ambiente ao seu redor, (ii) para prever estrutura e comportamento em tempo de projeto [Singh and Singh 2009], ou (iii) para planejamento, gerenciamento e apoio a decisões de negócio, simulando produtos ou processos, estimando riscos e outras métricas, e tomando decisões com base nas previsões [de França and Graciano Neto 2021].

Um estudo recente realizado com engenheiros de software mostrou que formalismos de simulação não são aderentes à prática diária destes profissionais [Lebttag et al. 2022]. De um conjunto de 58 participantes, mais da metade (precisamente 30 participantes) não teve qualquer contato anterior com M&S, ainda que vários destes profissionais tenham vislumbrado vantagens e oportunidades para a aplicação de M&S

na engenharia de software, como para avaliação e documentação de arquitetura. Nesta esteira, quando profissionais da engenharia de software desejam adentrar à área de M&S, uma das primeiras dúvidas que surge é *qual formalismo utilizar diante das características do problema que será resolvido?*

A principal contribuição deste artigo é prover um checklist para auxiliar o(a) novo(a) em M&S a escolher um paradigma que seja mais aderente às características do problema que ele/ela deseja resolver com base em três formalismos conhecidos da área [de França and Travassos 2013]: DEVS, Dinâmica de Sistemas e Simulação Orientada a Agentes. Um estudo piloto foi realizado com base em cenários e um especialista foi consultado sobre o checklist. Resultados preliminares sugerem que, ao utilizar o checklist para avaliar cenários descritos em outros estudos anteriores, a escolha direcionada pelo checklist foi a mesma daquela de cada estudo avaliado. O artigo está organizado desta forma: A Seção 2 apresenta a fundamentação teórica e trabalhos correlatos. A Seção 3 apresenta o método de pesquisa adotado. A Seção 4 apresenta o checklist. A Seção 5 mostra a avaliação e seus resultados. A Seção 6 conclui o artigo.

## 2. Fundamentação Teórica

M&S é aplicada em diversas áreas, tais como Física, Biologia e Ciências Sociais [Chemlal and Ören 2012]. A simulação possibilita o estudo de sistemas complexos sem que seja preciso intervir diretamente no sistema real para compreendê-lo, permitindo investigar propriedades do sistema real, e prever impactos, evitar acidentes, antever prejuízos e comportamentos anômalos., por exemplo quando há a necessidade de se avaliar a inclusão de uma nova M&S permite análises probabilísticas e estatísticas e diversos paradigmas de M&S podem ser utilizados para solução de problemas, tais como (i) Eventos Discretos, (ii) Dinâmica de Sistemas [Forrester 1961] e (iii) Agentes [de França and Travassos 2013], que são, segundo o mapeamento sistemático de França e Travassos (2013), alguns dos mais utilizados em Engenharia de Software.

Simulação baseada em **Eventos Discretos** (do inglês, *Discrete-Event Systems Specification*, DEVS) possui como premissa que o estado geral do sistema sofre alterações com base em um conjunto de eventos discretos. É um formalismo pioneiro, criado na década de 1970, e possui base formal [Zeigler et al. 2016]. DEVS é estruturado de modo hierárquico, em modelos atômicos (que representam partes indivisíveis de um sistema) e modelos acoplados, que são compostos por outros modelos atômicos e acoplados, seguindo o padrão de projeto *Composite*. A **Dinâmica de Sistemas**, por sua vez, data de meados do século XX, numa época contemporânea ao surgimento da Teoria Geral dos Sistemas. As características mais significativas de um modelo dentro de Dinâmica de Sistemas englobam [Kirkwood 1994]: (i) *Laço de Retroalimentação*, em que um sistema é descrito por um conjunto de variáveis cujos comportamentos interferem nos comportamentos de outras variáveis que, por sua vez, vão afetar a variável inicial, formando-se um ciclo; (ii) *Níveis e Taxas*, em que o nível é um estoque quantificável fechado (exemplo: número de empregados, número de estudantes, número de departamentos); e a taxa é uma variável que vai provocar o fluxo (aumento ou diminuição) dos níveis; e (iii) *Metas*, que corresponde ao nível que o sistema objetiva alcançar. A **Simulação Baseada em Agentes** (SBA), por sua vez, foca primordialmente, em representar os entes do sistema e a interação entre eles e com o ambiente. Na SBA, *agentes* são entidades autônomas com poder de decisão e resposta aleatória, como bactérias, vírus, humanos, animais, plantas,

carros, organizações. Todos eles contemplam tempo de vida, percepção da realidade, taxa de reprodução/multiplicação, deslocamento, e outros atributos.

### 3. Trabalhos Correlatos

Realizou-se uma pesquisa exploratória *ad hoc* no Google Scholar em Abril 2024. M&S já foi utilizada no campo da IoT [Beltrão et al. 2020] e no setor Elétrico [Graciano Neto et al. 2011]. Na Engenharia de Software, os formalismos de M&S auxiliam nos setores estratégicos e de contratação público e privado [de França and Reis 2008], além de amparar diferentes análises do ecossistema de cidades inteligentes [Santos et al. 2023, Graciano Neto and Kassab 2023]. Os estudos revisados direcionam um formalismo para a análise e solução de problemas de áreas específicas enquanto o presente estudo propõe trazer uma visão geral de cada formalismo e reunir um conjunto de características que auxiliem profissionais recém-chegados no estudo de Simulação a escolher a opção mais coerente para o problema a ser solucionado. Outra linha de trabalho correlato é aquela que propõe checklists. O trabalho de [Neitzke et al. 2023] propôs um checklist para garantir que a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) seja devidamente contemplada no processo de Engenharia de Software. Entretanto, não se tem ciência de outros trabalhos que se utilizem de checklist para auxiliar na escolha de formalismos de simulação.

### 4. Método de Pesquisa

As atividades necessárias para a criação do checklist foram divididas em: (i) Estudo exploratório, em que os autores realizaram levantamento do estado da arte através de pesquisa exploratória e leitura de estudos sobre os três formalismos principais; (ii) Apropriação e Prática com Ferramentas de cada formalismo (DEVS, Agentes e Dinâmica de Sistemas), em que os autores executaram tutoriais e desenvolveram *toy examples* para se apropriar de cada um dos formalismos e compreender suas particularidades, características e campos mais comuns de aplicação. Para DEVS, utilizou-se o software MS4Me<sup>1</sup>; para Agentes, utilizou-se NetLogo<sup>2</sup>, e para Dinâmica de Sistemas, utilizou-se o VenSim<sup>3</sup>; (iii) uma sessão de brainstorming inspirada em práticas de grupo focal [Imamura et al. 2021], em que os autores levantaram as principais características dos problemas que costumam ser resolvidos com cada um dos formalismos trabalhados, (iv) elaboração do checklist, estruturado em um conjunto de nove critérios a serem levados em consideração para recomendar utilizar um dos três formalismos para um projeto que demanda o uso de M&S, (v) estudo piloto, em que realizou-se uma aplicação prática do checklist em quatro cenários comumente descritos na literatura especializada, (vi) avaliação com especialistas, e (vii) comunicação dos resultados. A etapa (vi) ainda está em andamento, e este artigo é parte da etapa (vii), que também terá desdobramentos por tratar-se de um estudo em andamento. A próxima seção descreve o produto da etapa (iv) do método de pesquisa, bem como a condução e resultados das etapas (v, estudo piloto) e resultados preliminares da etapa (vi).

---

<sup>1</sup><https://ms4systems.com/home>

<sup>2</sup><https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

<sup>3</sup><https://vensim.com>

**Table 1. Checklist de Simulação.**

<b>Aderência ao Problema</b>	<b>Características</b>
( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta	C1. A contrapartida simulada da entidade do mundo real sendo representada deve ter alta fidelidade em detalhes.
( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta	C2. O sistema sendo representado possui componente humano, o que aumenta o grau de incerteza e randomicidade.
( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta	C3. As interações representadas na simulação provocam mudanças substanciais nas entidades e o comportamento das entidades interferem no meio sendo representado.
( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta	C4. As decisões e comportamentos das entidades podem ser discretizados, sendo não contínuo.
( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta	C5. A estrutura das entidades sendo representadas é indissolúvel (atômica).
( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta	C6. A estrutura das entidades sendo representadas pode ser composta de outras partes, inclusive com alterações estruturais ao longo do tempo.
( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta	C7. As entidades do mundo real sendo representadas na simulação são heterogêneas.
( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta	C8. Os dados envolvem primordialmente sequência de eventos.
( ) Baixa ( ) Média ( ) Alta	C9. Os elementos do sistema em estudo possuem, entre si, uma relação da causalidade que levam intrinsecamente a uma retroalimentação do sistema.

## **5. Um Checklist para Recomendação de Paradigma de Simulação com Base nas Características do Problema**

O propósito deste checklist é auxiliar estudantes e profissionais que necessitem e/ou pretendam usar M&S em seus projetos a escolherem o paradigma que seja mais condizente com as características do problema que pretende resolver.

**Estrutura e Uso do Checklist.** A Tabela 1 apresenta o checklist criado. Este artefato está estruturado em nove diferentes características de problemas. O checklist reflete, direta ou indiretamente (de forma velada), características típicas de problemas resolvidos por sistemas intensivos em software com maior ou menor aderência aos tipos de paradigmas de M&S mencionados anteriormente (Agentes, Eventos Discretos e Dinâmica de Sistemas). O usuário analisa as características de C1 a C9 e verifica se aquela característica tem adesão baixa, média ou alta ao problema em mãos. O checklist foi estruturado para que o usuário selecione um conjunto de cinco características que considere que sejam mais aderentes ao problema que ele/ela vai resolver. O que se espera é que haja intersecção entre o conjunto selecionado e os subconjuntos que caracterizam cada paradigma, o que permitiria recomendar, como resultado, um deles para o usuário do checklist.

**Os paradigmas e suas características respectivas são: Agentes (C1, C3, C4, C7), DEVS (C2, C4, C5, C6, C8) e Dinâmica de Sistemas (C2, C5, C6, C9).** Caso haja empate técnico que não permitiria selecionar um dos paradigmas (situação que chamamos de 'limbo'), os seguintes fatores de desempate ou ponderação foram definidos: (i) A simulação deve reproduzir a realidade com mais detalhes gráficos? (ii) O tempo é, de fato, o fator mais preponderante para se avaliar na simulação? (iii) Qual ferramenta dispõe de

maior facilidade de uso? Para isso, deve-se fazer uma análise sucinta de quais pontos selecionados do Checklist possuem maior peso e relevância para o problema em questão, bem como ponderar em cima das ferramentas disponíveis e escolher a que possuir maior afinidade de uso. A próxima seção apresenta resultados do estudo piloto.

## 6. Estudo Piloto

Para avaliar o artefato concebido, optou-se por duas abordagens: na primeira, adotar cenários de simulação descritos na literatura e mostrar como o checklist ajudaria a sugerir o paradigma mais condizente. Um cenário foi adotado para cada paradigma; na segunda abordagem, uma pesquisa de opinião baseada em formulário com especialistas buscou avaliar o artefato. Devido à restrição de espaço, apenas um cenário será mostrado integralmente e os demais apenas sobre a sua descrição e resultado. A versão completa das análises está disponível em link externo.

**5.1. Avaliação por Cenários.** A avaliação por cenários já foi utilizada em um trabalho anterior deste mesmo fórum [de Almeida Molina et al. 2023]. Nesta primeira avaliação, cenários típicos encontrados em trabalhos anteriores foram considerados. A premissa é que, partindo do cenário descrito no trabalho anterior, fosse possível chegar ao mesmo formalismo sugerido para aquele contexto, como segue.

**Cenário #1:** Extinção de uma população de rãs em um ecossistema [Garcia 2005].

**Descrição Breve:** Um biólogo necessita analisar os impactos causados pela extinção de uma população de rãs no pantanal.

**Formalismo utilizado no trabalho original:** Sistemas Baseados em Agentes.

**Aplicação do checklist:** Percorrendo o checklist, inicia-se com a descrição de que a simulação exige um elevado nível de detalhes, que é uma característica que se enquadra fortemente no problema (C1, Alto). O sistema representado inclui o componente humano como parte da cadeia, mas o seu comportamento não é o preponderante para análise (C2, Baixo). As interações representadas provocam mudanças substanciais no meio e o meio interfere, também, nas entidades representadas (C3, Alto). Os comportamentos representados nessa simulação podem ser discretizados (C4, Alto). As entidades do mundo real sendo representadas são indissolúveis, isto é, as rãs não são particionáveis em partes menores para análise e nem os outros elementos da cadeia alimentar (C5, Médio; C6, Baixo). As entidades sendo representadas são heterogêneas, visto que são as rãs e outros elementos da cadeia alimentar (C7, Alto). Os dados da simulação envolvem primordialmente uma sequência de eventos, mas o tempo pouco influencia na mudança de estado (C8, Baixo). Os elementos do sistema em questão definitivamente possuem uma relação de causalidade e as interações entre eles geram sim retroalimentações (C8, Alto).

**Resultado:** Simulação Baseada em Agentes (C1, C3, C4 e C7 altos).

**Cenário #2:** Disseminação de correntes (ou *threads*) em redes sociais que causam danos à saúde [Klein 1995].

**Descrição Breve:** Avaliar os impactos causados pela disseminação de correntes (ou *threads*) que causam danos à saúde e à integridade humana por meio de redes sociais.

**Formalismo utilizado no trabalho original:** Sistemas Baseados em Eventos Discretos

**Resultado:** Simulação Baseada em Eventos Discretos (C2, C4 e C8 Altos).

**Cenário #3:** Taxa de crescimento da população mundial [Werlang 2013].

**Descrição Breve:** Um determinado geógrafo quer avaliar a taxa de crescimento da população mundial para os próximos 30 anos.

**Formalismo utilizado no trabalho original:** Dinâmica de Sistemas

**Resultado:** Dinâmica de Sistemas (C4, C5, C7, C8, C9 altos).

**5.2. Avaliação com Especialista.** A etapa de avaliação com especialistas ainda está em andamento. Trata-se de uma pesquisa de opinião (*survey* [Wagner et al. 2020, Wohlin et al. 2012]) em que o respondente assiste a um vídeo explicativo em inglês sobre o checklist (disponível externamente<sup>4</sup>) e em seguida responde a um formulário, avaliando o checklist quanto a alguns atributos como a completude e usabilidade. Devido às restrições de espaço, o protocolo e o formulário utilizado para a avaliação preliminar estão disponíveis externamente no mesmo link anteriormente informado, em inglês. A avaliação preliminar foi feita como um piloto do próprio *survey*. O especialista consultado não é coautor do artigo e possui mais de 10 anos de experiência com modelagem e simulação e engenharia de software. O especialista é professor de uma universidade do Canadá. O especialista avaliou a iniciativa como positiva, ressaltando alguns possíveis pontos a serem cobertos em futuras versões do trabalho, tais como julgar o suporte disponível de ferramentas, disponibilidade de documentação e livros, disponibilidade de padrões, tamanho da comunidade, economia de computação.

**Limitações.** A construção do checklist pode ter sido enviesada pelas experiências vividas com os formalismos e pelo suporte/apoio de características das ferramentas que não necessariamente refletem algo nativo do formalismo usado. Ademais, existe um certo grau de subjetividade no julgamento do nível de atendimento a cada critério do checklist, o que pode mudar os resultados de acordo com quem utiliza o checklist. O checklist foi pautado na experiência dos autores e limitado a três formalismos específicos, que estão entre os mais utilizados na engenharia de software [de França and Travassos 2013], o que surge como uma fragilidade. Para tentar mitigá-lo, submetemos o checklist à avaliação de um especialista da M&S com mais de 10 anos de experiência. Ele reconheceu a utilidade da lista de verificação, mas também alertou para a necessidade de solidificar a sua afirmação científica. Este é um primeiro ensaio que deve ser complementado com as práticas e métodos bem fundamentados da engenharia de software experimental.

## 7. Considerações Finais

Este artigo apresentou resultados preliminares do estabelecimento de um checklist para auxiliar pessoas da engenharia de software a decidirem entre três formalismos principais para resolver seus problemas. Uma avaliação preliminar foi realizada e os resultados são promissores. Trabalhos futuros incluem aplicar o checklist em cenários reais, finalizar o *survey* com especialistas e também conduzir um experimento expondo os participantes a um mesmo cenário e pedindo para usar o checklist para verificar o nível de concordância atingido entre os participantes.

## References

Beltrão, A. C., de França, B. B. N., and Travassos, G. H. (2020). Performance evaluation of kubernetes as deployment platform for iot devices. In *CIBSE*.

---

<sup>4</sup><https://ww2.inf.ufg.br/~valdemarneto/projects/checklist.html>

- Chemlal, S. and Ören, T. (2012). Annex 1: M&s organizations/associations. *Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation*, pages 841–850.
- de Almeida Molina, S., Costa, M. G. N., Nazário, A. G., Paiva, D. M. B., and Cagnin, M. I. (2023). Cenários abstratos de tratamento de exceções na interoperabilidade de processos-de-processos de negócios. In *V MSSiS*, pages 11–20. SBC.
- de França, B. B. N. and Graciano Neto, V. V. (2021). Opportunities for simulation in software engineering. In *III MSSiS*, pages 50–54. SBC.
- de França, B. B. N. and Reis, R. Q. (2008). Um simulador estocástico de processo de software baseado em conhecimento. In *VII SBQS*, pages 247–262. SBC.
- de França, B. B. N. and Travassos, G. H. (2013). Are we prepared for simulation based studies in software engineering yet? *CLEI Electron. J.*, 16(1).
- Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. Students' edition. M.I.T. Press.
- Garcia, C. (2005). *Modelagem e Simulação de Processos Industriais e de Sistemas Eletromecânicos Vol. 1*. Edusp.
- Graciano Neto, V. V. and Kassab, M. (2023). *What Every Engineer Should Know About Smart Cities*. CRC Press.
- Graciano Neto, V. V., Teles, R. M., Ivamoto, M., Mello, L. H. S., and de Carvalho, C. L. (2011). Um sistema de apoio à decisão baseado em agentes para tratamento de ocorrências no setor elétrico. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 17(2):139–153.
- Imamura, M., Ferreira, F., Fernandes, J., and Santos, R. (2021). System-of-systems reliability: An exploratory study in a brazilian public organization. In *XVII SBSI*, Uberlândia. SBC.
- Kirkwood, J. R. (1994). *Calculus projects for Mathematica*.
- Klein, J. (1995). *SIMNT: uma ferramenta para a simulação de sistemas de comunicação*. PhD thesis, [sn].
- Lebtag, B. G. A., Teixeira, P. G., dos Santos, R. P., Viana, D., and Neto, V. V. G. (2022). Strategies to evolve exm notations extracted from a survey with software engineering professionals perspective. *J. Softw. Eng. Res. Dev.*, 10:2:1–2:24.
- Neitzke, C., Mendes, J., Rivero, L., Teixeira, M., and Viana, D. (2023). Enhancing lgpdp compliance: Evaluating a checklist for lgpdp quality attributes within a government office. In *XXII SBQS*, pages 218–227.
- Santos, J., Peixoto, M., Batista, B., Kuehne, B., and Leite, D. (2023). Fog environment proposal to reduce energy consumption on public roads in smart cities. In *XIX SBSI*, pages 245–251.
- Singh, V. and Singh, V. (2009). *System Modeling and Simulation*. New Age International (P) Limited.
- Wagner, S., Méndez, D., Felderer, M., Graziotin, D., and Kalinowski, M. (2020). Challenges in survey research. In Felderer, M. and Travassos, G. H., editors, *Contemporary Empirical Methods in Software Engineering*, pages 93–125. Springer.
- Werlang, P. (2013). *Simulação da curva de crescimento do mycobacterium tuberculosis utilizando sistemas multiagentes*. PhD thesis, Master thesis, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, FURG .
- Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlsson, M. C., Regnell, B., Wesslén, A., Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlsson, M. C., et al. (2012). Empirical strategies. *Experimentation in Software Engineering*, pages 9–36.
- Zeigler, B., Sarjoughian, H. S., Duboz, R., and Soulie, J.-C. (2016). *Guide to Modeling and Simulation of Systems of Systems*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1st edition.