

A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO TÉCNICA DE PESQUISA NA ADMINISTRAÇÃO

THE COMPUTER SIMULATION TECHNIQUE IN RESEARCH ADMINISTRATION

LA SIMULACIÓN COMPUTACIONAL COMO TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN EN LA ADMINISTRACIÓN

Luciano Frontino de Medeiros¹

¹Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento – Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Doutor em Inteligência Artificial – Universidade Politécnica de Madrid. Professor do Programa de Mestrado em Educação e Novas Tecnologias do Centro Universitário Internacional UNINTER, luciano.me@uninter.com

Alvino Moser²

²Doutor em Ética pela Université Catholique de Louvain, Bélgica. Professor do PPGENT - Centro Universitário Internacional – UNINTER, alvino.m@uninter.com

Neri dos Santos³

³Doutor em Ergonomie de l'Ingenierie pelo Conservatoire National des Arts et Metiers, França. Professor do PPGENT - Centro Universitário Internacional – UNINTER, neri.@uninter.com

RESUMO

Este artigo descreve uma abordagem interdisciplinar sobre a técnica da simulação computacional assinalando a importância para a pesquisa em diversas áreas do conhecimento e, de forma particular na área da Administração. Discute sobre a ideia de simulação como uma ferramenta originária do processo da evolução natural dos seres vivos e a possibilidade de simulação de modelos não reais. Apresenta uma metodologia para a modelagem e simulação, e discorre sobre suas vantagens e desvantagens. Detalha uma taxonomia para simulação adicionando contribuições e descrevendo as possibilidades de aplicações. Exemplos de simulação na área da Administração e Produção são apresentados. Técnicas diversas oriundas da Inteligência Artificial são mencionadas como apoio à concepção de simulações inteligentes.

Palavras-chave: Simulação computacional. Modelagem. Planejamento. Inteligência Artificial. Ensino por simulação.

ABSTRACT

This paper describes an interdisciplinary approach about the computing simulation technique, indicating the relevance for research in several knowledge areas, in special the management area. Entails a discussion about the simulation idea, as a tool originated from natural evolution of living beings, and the potential of non-real

models simulation. Its presents a methodology for modeling and simulation, explaining its advantages and disadvantages. Specifies a taxonomy for simulation adding contributions and describing practical applications. Examples considering application forms of simulation in the management and manufacturing areas are shown. Artificial Intelligence are referred to as support for the design of intelligent simulations

Keywords:Computing simulation. Modeling. Planning. Artificial Intelligence. Teaching by simulation.

RESUMEN

Este artículo describe un enfoque interdisciplinario sobre la técnica de simulación por ordenador que indica la importancia para la investigación en varias áreas del conocimiento y, particularmente en el área de la Administración. Discute la idea de la simulación como herramienta en el proceso de evolución natural de los seres vivos y la posibilidad de simulación no reales. Presenta una metodología de modelado y simulación, y analiza sus ventajas y desventajas. Detalla una taxonomía para la simulación añadiendo contribuciones y describiendo las posibilidades de las aplicaciones. Se presentan ejemplos de simulación en el área de la Administración y Producción. Técnicas diversas oriundas de la Inteligencia Artificial son mencionadas como apoyo la concepción de simulaciones inteligentes.

Palabras-clave: Simulación computacional. Modelado. Planificación. Inteligencia Artificial. Enseñanza por simulación.

INTRODUÇÃO

A técnica de simulação é geralmente estudada dentro da área de conhecimento da Pesquisa Operacional, em conjunto com a programação linear, a programação inteira, otimização não linear e programação dinâmica. A Pesquisa Operacional é entendida como uma metodologia com o objetivo de estruturar processos que aparentemente não estão estruturados a partir da construção de modelos. Utiliza também um conjunto de técnicas quantitativas com a intenção de resolver os aspectos matemáticos dos modelos. Assim, a Pesquisa Operacional busca contribuir com a aplicação das diversas técnicas quantitativas nas áreas de administração, produção, planejamento e organização. As aplicações estendem-se desde o balanceamento de linhas de produção, estudo do fluxo ótimo de pacientes em hospitais e chegando até o estudo das estruturas sociais e de processos psicológicos (EHRlich, 1988, p.13-14).

A simulação é contextualizada, portanto, como uma técnica ou ferramenta, dentro do escopo da Pesquisa Operacional que opera a partir da concepção de modelos abstraídos dos

seus sistemas de origem e busca analisar os resultados, constituindo-se numa valiosa fonte de geração de conhecimento a respeito de um problema sendo abordado. O conceito de simulação está intimamente ligado à noção de modelo. Um modelo de um dado sistema irá conter as variáveis necessárias para a compreensão do seu comportamento, entendendo-se a relação de compromisso que deve existir entre a descrição e desempenho. Descrições muito detalhadas de um sistema podem tornar as análises muito complexas e aumentar tempo e custo, ao passo que descrições muito simples podem resultar em análises incorretas ou incompletas do sistema-objeto de estudo.

Qualquer discussão sobre simulação remeterá os interlocutores à colaboração homem-computador, a qual tem ampliado consideravelmente as tecnologias intelectuais de maneira inédita na humanidade (GABRIEL, 2013, p.10). A técnica de simulação pressupõe uma espécie de simbiose entre as possibilidades do intelecto humano e o poder computacional. Conforme Shankar (2013), a resolução de problemas difíceis não é uma questão de se encontrar o algoritmo certo, mas sim de considerar o relacionamento simbiótico entre a computação e a criatividade humana. Tal capacidade de computação possibilita a um ser humano a apropriação de elementos parciais da realidade de problema específicos, representando na forma de um conjunto de variáveis não apenas a sua estrutura estática, mas também a própria dinâmica das múltiplas interações entre variáveis e, portanto, descrevendo parcialmente o funcionamento subjacente desta realidade. Parcialmente, porque nenhum modelo pode ter a pretensão de representar de forma completa e consistente a realidade. De acordo com Immanuel Kant, não se pode obter o conhecimento das coisas-em-si, apenas pode-se conhecer aquilo das coisas que se manifestam para nós (TARNAS, 2002, p.370).

Este trabalho busca demonstrar a importância do estudo da simulação computacional como uma área relevante de pesquisa, descrevendo relações com outras áreas do conhecimento e mostrando o potencial de aplicabilidade para a área de Administração. A simulação não é algo que nasceu com a era da Informática, mas está presente na própria evolução natural, e a compreensão destas características é feita oportunamente a partir da abordagem teórica dos sistemas intencionais de Daniel Dennett (1997; 2006). É

discutido também o uso da simulação computacional mesmo para sistemas que existam apenas como experimentos de pensamento. O artigo apresenta ainda: as vantagens e desvantagens, uma metodologia para modelagem e simulação, além de uma taxonomia estendida com sugestões e com as áreas de aplicação da simulação computacional com exemplos. Ao termo, é feita uma aproximação do tema com algumas técnicas da Inteligência Artificial e da Psicologia Cognitiva, mostrando as possibilidades de uso de simulações inteligentes equipadas com aprendizado de máquina, encerrando-se com as considerações finais.

CONCEITO DE SIMULAÇÃO

A simulação é um construto de grande utilidade e essencial para o desenvolvimento científico e tecnológico nos dias atuais. Ao longo do tempo, adquiriu importância como área de estudo a partir das possibilidades proporcionadas pelo desenvolvimento da computação. O quadro 1 apresenta alguns conceitos de simulação conforme seus autores, mostrando elementos comuns para a sua compreensão. Pode-se notar que não há, inclusive, uma clareza na divisão conceitual entre “simulação” e “simulação computacional”.

Quadro 1 – Conceitos de Simulação Computacional.

Autor	Conceito
Schriber (1971)	Implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo.
Shannon (1975)	Um modelo computacional é um programa de computador cujas variáveis apresentam o mesmo comportamento dinâmico e estocástico que o sistema real representa.
Ehrlich (1976)	Método empregado para estudar o desempenho de um sistema por meio da formulação de um modelo matemático, que possui as mesmas, ou pelo menos semelhantes, características do sistema original.
Simon (1981)	Técnica para aquisição de compreensão e predição do comportamento de sistemas, antecedendo o computador digital, podendo assumir a forma de um experimento de pensamento que na verdade nunca foi implementado dinamicamente.

A simulação computacional como técnica de pesquisa na administração

Pegden (1991)	Simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação.
Hollocks (1992)	Técnica de pesquisa operacional que envolve a criação de um programa computacional para representar alguma parte do mundo real, de tal forma que os experimentos no modelo são como a antevisão do que acontecerá na realidade.
Pidd (1998)	Simulação computacional consiste no uso de um modelo como base para exploração e experimentação da realidade.

Fonte: Adaptado de FREITAS FILHO(2008), CARVALHO (2006) e do autor.

Law e Kelton (1991), afirmam que um sistema é definido como um conjunto de entidades que interagem a fim de atingir um objetivo, não importa que sejam pessoas ou máquinas. Um sistema pode então ser analisado de duas formas: a experimentação, com o próprio sistema real e, a experimentação com modelos do sistema. A experimentação com modelos envolve uma simplificação da realidade, na qual se busca identificar e extrair os elementos da realidade relevantes para a decisão a ser tomada. Este tipo de experimentação apresenta custo baixo, maior nível de segurança e rapidez quando comparada com a experimentação da realidade (LAW e KELTON, 1991).

Herbert Simon (1981), considerou questões importantes a respeito do uso da simulação como fonte de novos conhecimentos: o que uma simulação qualquer deverá dizer sobre algo do qual não se sabe ainda? Em resposta a isto, Simon apresenta duas proposições, uma delas refere-se ao fato da simulação não ser melhor do que as premissas que estão embutidas em si; e a outra relativa aos computadores que fazem o que foram programados para fazer.

O ponto óbvio é que, ainda quando tenhamos as premissas corretas, pode ser muito difícil descobrir o que elas podem implicar. Todo raciocínio correto é um grande sistema de tautologias, e apenas Deus pode fazer uso direto deste fato. Ao resto de nós cabe meticulosamente e falivelmente desvendar as consequências de nossas premissas (SIMON, 1981).

Simon afirma ainda a importância de se fazer simulações com relação ao conhecimento das partes de um sistema e ao desconhecimento das interações entre eles.

A abordagem de simulação traz numerosas aplicações para a engenharia. É típico de muitos tipos de problemas que a parte interna do sistema consiste de componentes cujas leis fundamentais de comportamento – mecânicas, elétricas ou químicas – são bem conhecidas. A dificuldade do design reside em prever como a montagem de tais componentes irá se comportar (SIMON, 1981).

Portanto, qual o objetivo central de se fazer simulação? Freitas Filho (2008) afirma que:

A simulação permite ao analista realizar estudos sobre os correspondentes sistemas modelados para responder questões do tipo “O que aconteceria se?”. O principal apelo ao uso dessa ferramenta, é que tais questões podem ser respondidas sem que os sistemas sob investigação sofram qualquer perturbação, uma vez que os estudos são realizados no computador (FREITAS FILHO, 2008, p.23).

A partir do exposto, é interessante assinalar que a simulação computacional pode ser realizada mesmo para sistemas que ainda não existem, permitindo antecipar problemas que, somente após a realização física dos mesmos, teriam a possibilidade de serem encontrados. Portanto, a simulação como método de pesquisa exige uma abordagem, quanto à origem do conhecimento, tanto racional quanto empírica. Racional por envolver o esforço intelectual na modelagem conceitual dos problemas (com base no objeto concreto ou produtos de experimentos de pensamento); e empírica por permitir um processo de depuração dos problemas abordados baseado num método de tentativa e erro.

Quais os limites de um modelo ou até que ponto uma simulação pode fornecer compreensão sobre tal modelo? Na busca destes limites, é oportuno lembrar que qualquer sistema que seja passível de modelagem está sujeito ao paradoxo de Gödel¹. Originário da lógica matemática, o paradoxo embasa as asserções de Simon vistas anteriormente, afirmando que qualquer sistema ou é completo, ou é consistente, nunca sendo os dois simultaneamente (GOLDSTEIN, 2008, p.142). Caso o sistema seja considerado completo, sempre haverá uma proposição que tornará o sistema inconsistente. Por outro lado, caso o

¹O primeiro teorema de Gödel afirma que, para qualquer sistema formal aritmético, existirão proposições verdadeiras que não podem ser demonstradas dentro das fronteiras do sistema. O segundo teorema de Gödel afirma que a consistência de um sistema formal que contenha aritmética não pode ser formalmente provada dentro de tal sistema (GOLDSTEIN, 200, p.155).

sistema seja considerado consistente (e por consequência, incompleto), sempre haverá a possibilidade de acrescentar novas proposições ao sistema. Modelos realísticos dos sistemas sempre serão considerados incompletos ou inconsistentes em determinado grau.

SIMULAÇÃO COMO TÉCNICA ORIGINÁRIA DA EVOLUÇÃO NATURAL

As bases da simulação como um método ou técnica antecedem o próprio estudo da computação e, sua fundamentação pode ser encontrada a partir da teoria dos sistemas intencionais de Daniel Dennett. Ao longo das eras, a intencionalidade dos seres vivos foi se tornando mais e mais complexa a partir da perspectiva das criaturas mais simples. Dennett (1997), descreve o que foi por ele denominado de “torre de gerar e testar”, como um processo de simulação do ambiente externo que emergiu a partir da deriva dos processos de evolução. Dessa forma, os seres vivos seriam divididos em:

- **Criaturas Darwinianas:** com alusão à teoria da evolução de Darwin, pelo processo de seleção natural há a sobrevivência dos organismos mais aptos ao seu ambiente externo, a partir de uma grande quantidade de candidatos. As informações genéticas dos sobreviventes são propagadas aos seus descendentes (id., p.80).
- **Criaturas Skinnerianas:** estando de acordo com a teoria comportamentalista de Skinner, o organismo usa a tentativa e erro no fornecimento de respostas de forma cega, até que uma delas é selecionada por reforço, sendo por sua vez memorizada e recuperada com maior probabilidade para as próximas respostas a serem transmitidas a partir dos mesmos ou semelhantes estímulos. As chances de sobrevivência dependem do organismo fornecer a resposta correta em grande parte das situações (ibid., p.83).
- **Criaturas Popperianas:** conforme Popper, existe um ambiente interno no organismo que simula o ambiente externo, responsável pelo fornecimento das respostas após serem testadas neste mesmo ambiente interno. Com a presença deste meio interno seletivo, o organismo consegue sobreviver de maneira mais vantajosa, pois é capaz de visualizar de forma antecipada as respostas possíveis, atuando de maneira bem melhor

do que fornecer respostas por acaso, no caso das criaturas darwinianas, ou por respostas semelhantes a uma anteriormente dada, no caso das criaturas skinnerianas (ibid., p.84).

- **Criaturas Gregorianas:** conforme os estudos de Richard Gregory (1981), Dennett argumenta que os artefatos mais bem projetados pelo ser humano não são apenas resultados da inteligência, mas sim dotadores de inteligência, permitindo que se manifeste uma espécie de inteligência potencial externa. No alvorecer da raça humana, o uso de ferramentas é associado a um grande aumento da inteligência. Quanto mais bem projetada for a ferramenta (ou seja, quanto mais informação está embutida nela), maior será o potencial de inteligência que ela irá conferir ao seu usuário. Dentre as ferramentas mais importantes, há as ferramentas mentais, as palavras. As palavras e outras ferramentas mentais tem o poder de conferir a uma criatura gregoriana um meio interno que lhe permite construir geradores e testadores de movimento cada vez mais elaborados. (ibid., p.92).

Em paralelo à abordagem da teoria de Gregory feita por Dennett, pode-se alinhar de forma muito próxima à teoria de aprendizagem sociocultural de Vygotsky. Na construção de seu arcabouço teórico, Vygotsky rejeitou os enfoques que reduziam a aprendizagem a simples acumulação de estímulos e respostas. Considerava que o ser humano não se limita a responder aos estímulos, porém atua sobre eles, inclusive transformando-os. Isto acontece devido a mediação de instrumentos que se interpõem entre o estímulo e a resposta. Vygotsky completa assim com o ciclo de atividade: o ser humano não se limita a responder de maneira reflexa, mas atua sobre os estímulos, e a atividade é um processo de transformação do ambiente por meio do uso de ferramentas POZO (1998, p.194).

Dessa forma, o ser humano é, na classificação de Dennett, uma criatura gregoriana que possui um ambiente interno que atua como um simulador da realidade. O desenvolvimento de uma estrutura, tal como o cérebro, permitiu o surgimento de criaturas que pudessem reter em seu ambiente interno as diferentes situações que poderiam ser enfrentadas no ambiente externo e assim garantir uma chance cada vez maior de sobrevivência. Não apenas de forma

reativa, mas também proativa, no sentido de modificar o próprio ambiente externo e torná-lo mais propício ao surgimento de estruturas sociais mais estáveis.

Por esta exposição, a simulação computacional pode ser entendida como uma extensão do processo de simulação que o próprio cérebro faz da realidade externa. Posiciona-se como uma ferramenta, racional e empírica, altamente elaborada e à disposição do ser humano para expandir ainda mais as possibilidades de conhecimento da própria realidade concreta e também de realidades possíveis ou mesmo sobre situações hipotéticas ou imaginárias, fruto do pensamento humano.

SIMULAÇÃO DE MODELOS NÃO REAIS

Uma questão importante a ser analisada a partir dos conceitos é com relação ao objeto de abstração da simulação. Exceto Simon, todos os conceitos falam sobre simular algo que tem existência concreta, real. SIMON (op. cit.) explica que um experimento de pensamento pode também servir como objeto de abstração. É possível uma simulação ser feita sobre um modelo irreal que não tenha existência concreta e que seja fruto da imaginação, ficção ou de alguma mitologia?

Pode-se pensarem pelo menos duas categorias distintas. Uma relacionada à concepção de experimentos de pensamento com a finalidade de contradizer hipóteses. De acordo com a falseabilidade de Popper, não podemos provar se uma hipótese é correta por natureza, mas apenas encontrar, por tentativa e erro, fatos empíricos que possam contradizer esta hipótese (KOCHE, 1982). Portanto, uma simulação pode ser concebida pela imaginação do modelo de forma errônea deliberadamente e, por contradição ou por meio do *reductio ad absurdum*², pode-se aceitar ou rejeitar uma hipótese que foi proposta. Por exemplo, alguém pode querer provar a teoria da relatividade propondo o *gedankenexperiment*³ de Einstein (KAKU, 2005, p.33) simulando uma realidade na qual campos de uma onda eletromagnética ou de um raio de luz pudessem ser vistos de forma estacionária, fato que não acontece na realidade física.

² Redução ao absurdo, técnica de argumentação da lógica.

³ Experimento de pensamento.

A outra categoria se refere à elaboração de universos virtuais nos quais as leis físicas sejam diferentes do que se presencia na realidade concreta. Estes Universos podem contar com epistemologias e ontologias próprias, com leis de regulação bem diferentes das leis físicas da realidade concreta. Esta situação é bastante explorada, por exemplo, para a concepção de jogos digitais e processos de *gamefication*. Mesmo que os objetos de abstração não tenham existência concreta, podem ser simulados computacionalmente como objetos da imaginação humana. Por exemplo, jogos como o mundo dos cubos do Minecraft O'BRIEN (2014) ou as simulações de avatares no Second Life (BIGNELL e PARSON, 2010) podem ser enquadrados nesta categoria.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Law e Kelton (1991), apresentam as seguintes **vantagens** para a utilização da modelagem e simulação computacional em estudo de sistemas, permitindo:

- a) A abordagem de sistemas complexos com elementos estocásticos sem condições de tratamento por técnicas analíticas.
- b) Um controle melhor sobre as condições experimentais em relação à experimentação no sistema real;
- c) A experimentação de forma interativa
- d) A replicação precisa dos experimentos e o teste de diferentes cenários para o sistema;
- e) A simulação de longos períodos em um tempo menor;
- f) Maior economia do que testes envolvendo sistemas reais.

Como **desvantagens** para a utilização de simulação computacional em estudo de sistemas, Law e Kelton (1991) apontam:

- a) A simulação depende da validade do modelo desenvolvido. Caso o modelo concebido não represente de forma fidedigna o sistema ou se os dados de entrada não são confiáveis, não haverá respostas adequadas para a solução do problema;

b) A técnica da simulação não é propriamente uma técnica de otimização, sendo possível somente o teste de alternativas fornecidas pelo usuário.

c) Estudos de simulação podem ser demorados e consumir um alto nível de recursos.

TAXONOMIA DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Os modelos de simulação computacional podem ser classificados de acordo com uma série de critérios. Uma taxonomia é apresentada no quadro 2 conforme LAW & KELTON (1991), PIDD (1998), HARRELL (2002), BARRÔNIO (2000) e a compilação feita por CARVALHO (2006).

Quadro 2 – Taxonomia dos Modelos de Simulação

Critério	Classificação	Descrição	Exemplo
Representação da realidade	Modelo Icônico	Concebido ou elaborado visando treinamento, buscando representar situações reais.	Simuladores de voo
	Modelo Simbólico	As características do sistema real são representadas de forma simbólica ou matemática.	Controladores PID (Proporcional-Integral-Diferencial)
Recursos computacionais	Modelo Analógico	Aquele em que as variáveis bem como as relações entre os elementos presentes no sistema são representados por entidades físicas.	Túnel de vento
	Modelo Digital	Representação baseada no paradigma digital de representação da realidade, caracterizados por apresentar grande precisão e dinamismo.	Modelo digitalizado do corpo humano
	Modelo Híbrido	Combinações em diferentes graus dos modelos analógico e digital.	Simulação de catástrofes
Tratamento dos dados	Modelo Determinístico	Modelo gerado sem inserção de elementos probabilísticos no comportamento das variáveis.	Problema da designação

	Modelo Estocástico ou Probabilístico	Obtém seu potencial de aplicação a partir da modelagem de variáveis probabilísticas ou estocásticas para simular a aleatoriedade da realidade. Frequentemente utilizam abordagens baseadas na técnica de Monte Carlo.	Simulação de comportamento de filas
Comportamento em relação ao tempo	Modelo Estático	Retorna uma resposta a um determinado conjunto de variáveis apresentado ao sistema, sem considerar a continuidade do mesmo ou retroação dos resultados para novas respostas.	Regressão de oferta x demanda
	Modelo Dinâmico	Foco no desempenho do sistema ao longo do tempo e no comportamento em diferentes momentos.	Simulação de sistemas caóticos
Mudanças de Estado	Modelo Discreto	As mudanças no sistema ocorrem em momentos e intervalos bem definidos.	Simulação de manufatura
	Modelo Contínuo	Buscam representar comportamentos ininterruptos das mudanças de estado.	Comportamento de fluidos
Interesse sobre os resultados	Modelo Terminante	Se até a um momento específico ou depois de um período determinado.	Simulação de distribuição logística
	Modelo Não-terminante	O foco está em analisar o comportamento contínuo do sistema.	Simulação de clima
Uso	Modelo de uso unitário	Objetivam uma situação específica em que, após a tomada da decisão, o sistema pode ser descartado.	Modelagem de marketing de propaganda x consumo
	Modelo de uso continuado	O teste e validação de hipóteses é contínuo, representando o funcionamento do sistema real.	Simulação de ativos da bolsa de valores

Fonte: Adaptado de Carvalho (2006), Law & Kelton (1991), Pidd (1998), Harrell (2002), Barrônio (2000), com exemplos do autor.

Este artigo propõe ainda dois critérios adicionais para classificação: um quanto à característica de operação do modelo e outro com relação ao paradigma da solução que pode ser modelada.

Quanto à característica de operação, modelos seriais executam a atividade de forma a seriar as operações menores que compõem esta atividade em uma única linha de execução. Modelos paralelos permitem que as operações de uma atividade sejam executadas por mais de um agente, em mais de uma linha de execução. Esta possibilidade de várias linhas de execução é proporcionada pela existência de processadores com capacidades de paralelismo. Ou seja, um programa pode ser executado de forma que cada linha de execução se preocupe em executar uma parte do programa, sem esperar que um comando seja executado após o outro para se obter a execução total.

Quanto ao paradigma da solução, os modelos ortodoxos são aqueles nos quais as soluções são consideradas de acordo com o paradigma de resolução clássico ou vigente. Modelos heterodoxos tendem a utilizar soluções que não se atenam a um paradigma específico. Por exemplo, a resolução de equações diferenciais pelo método de diferenças finitas pode ser considerada um modelo ortodoxo. Já a resolução de equações utilizando algoritmos genéticos pode ser entendida como um modelo heterodoxo.

UMA METODOLOGIA PARA MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Freitas Filho (op. cit., p.29) apresenta uma metodologia para pesquisa de simulação com base em Banks et al.(1984), Law e Kelton (1991), Pegden (1990) e Kelton et al.(2007), contendo quatro grandes fases:

- 1) Fase de Planejamento
- 2) Fase de Modelagem

- 3) Fase de Experimentação
- 4) Fase de Decisão e Conclusão

1. PLANEJAMENTO

A fase de planejamento contém quatro passos:

- a) **Formulação e análise do problema:** algumas questões devem ser respondidas neste passo, como o porquê do problema ser estudado, as hipóteses e pressupostos, as respostas esperadas, os critérios de avaliação e as restrições e limites considerados para o modelo.
- b) **Planejamento do projeto:** detalhamento dos objetivos, descrição dos cenários a serem pesquisados e a alocação dos recursos em várias instâncias (pessoas, hardware, software) expressos na forma de um cronograma temporal das atividades.
- c) **Formulação do modelo conceitual:** elaboração de esquemas e gráficos que servem de base para o modelo, sendo dinâmico e de preferência trabalhado na forma de versões atualizadas.
- d) **Coleta de macroinformações e dados:** atividade de cunho empírico, consta da agregação de fatos, informações e dados estatísticos derivados das observações, das experiências pessoais ou de dados históricos.

2. MODELAGEM

A fase de modelagem consiste em:

- a) **Tradução do modelo:** refere-se à codificação do modelo em uma linguagem de simulação apropriada.
- b) **Verificação e validação:** necessário para a confirmação de que o modelo está operando de acordo com a intenção inicial do modelador, sem erros de conceito, sintaxe ou lógica de operação.

3. EXPERIMENTAÇÃO

A experimentação envolve:

- a) **Projeto experimental final:** consiste na elaboração de um conjunto de experimentos com a finalidade de produzir a informação desejada, sendo determinado como precisa ser realizada cada uma das execuções ou testes. O ideal é obter mais informação com menos experimentação.
- b) **Experimentação:** refere-se à execução das simulações propriamente ditas, culminando com a geração das saídas desejadas e a realização das análises de sensibilidade.
- c) **Interpretação e Análise Estatística:** consiste na reflexão em cima dos resultados alcançados, sendo utilizadas ferramentas estatísticas tais como inferências, testes de hipóteses e estimativas de regressão.

4. TOMADA DE DECISÃO E CONCLUSÃO

A última fase do processo, divide-se em:

- a) **Comparação de sistemas e identificação das melhores soluções:** empregar técnicas de simulação tem como objetivo verificar as diferenças existentes entre as várias alternativas de solução.
- b) **Documentação:** serve como guia para que outros possam replicar os experimentos realizados ou utilizar os resultados já alcançados. Futuras modificações podem ser facilitadas com a devida documentação das simulações já feitas anteriormente.
- c) **Implementação e apresentação dos resultados:** reflete a decisão tomada em função das alternativas testadas, verificação dos objetivos traçados no planejamento e possibilidades de melhorias no modelo e no processo de simulação.

APLICAÇÕES DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A versatilidade e a flexibilidade dos sistemas computacionais permitem que a técnica da simulação seja aplicada em praticamente todas as áreas que lidam com sistemas de maneira

geral. O quadro 3 ilustra alguns tipos de sistemas em que podem ser utilizados a simulação (FREITAS FILHO, id., p.24).

Quadro 3 – Áreas de aplicação de simulação computacional





Tipos de Sistema	Exemplos
Sistemas de Produção	Manufatura e montagem Movimentação de peças e matérias-primas Distribuição de mão-de-obra Áreas de estoque e armazenagem Layout
Sistemas de Transporte e Estocagem	Redes de distribuição e logística Armazéns e entrepostos Operações portuárias Transportes terrestres e aéreos
Sistemas Computacionais	Redes de computadores Web sites Servidores Arquitetura de computadores e processadores Sistemas operacionais Sistemas de gerenciamento de bancos de dados
Sistemas Administrativos	Empresas de seguro Operadoras de crédito Empresas Financeiras
Sistemas de Prestação de Serviços	Hospitais Bancos Call centers Restaurantes industriais e fast food Serviços de emergência Serviços de assistência jurídica




Fonte: Adaptado de Freitas Filho (2008, p.24-25).


O quadro 4 mostra um levantamento de 12 (doze) publicações que mostram estudos de caso e aplicações de simulações computacionais em diferentes áreas de atuação relacionadas à área de gestão e administração.

Quadro 4 – Levantamento de 12 publicações sobre simulação computacional relacionadas à área de Administração

Título	Autor(es)	Descrição	Link
Análise das Potencialidades e Vantagens do Uso da Simulação Computacional em Operações Logísticas Complexas, Como Ferramenta De Auxílio À Tomada De Decisões	Carvalho (2006)	Estudo de caso em uma organização industrial baiana, localizada no Polo Petroquímico de Camaçari, onde se aplicou a ferramenta segundo o método de desenvolvimento de projetos de simulação computacional proposto por Law & Kelton (1991).	http://www.adm.ufba.br/pt-br/publicacao/analise-potencialidades-vantagens-uso-simulacao-computacional-operacoes-logisticas 
A Aplicação da Teoria Das Restrições e da Simulação na Gestão da Capacidade de Atendimento em Hospital de Emergência	Sabbadini et al. (2006)	Aplicação dos princípios de gestão da capacidade de serviços, feita a análise do fluxo de tratamento a pacientes, utilizada a teoria das restrições na identificação de gargalos e desenvolvido um modelo de simulação a eventos discretos.	http://www.producaoonline.org.br/rpo/article/viewFile/636/671 
Simulação Computacional de Estratégias Competitivas no Comércio com Aplicação da Teoria dos Jogos	Milléo Filho (2003)	Uso do paradigma do jogo Hawk-Dove com aplicação de um modelo computacional exclusivamente desenvolvido para estudar o funcionamento de mercado.	http://revista.unibrasil.com.br/index.php/retdu/article/viewFile/156/170 
Aplicação da Simulação Computacional para Determinar a Capacidade Produtiva do Processo de Produção de Pães: um Estudo de Caso	Pergher et al. (2013)	Aplicação com o objetivo de determinar a capacidade produtiva de um processo de produção de pães, projetada para atender as exigências de um nicho de mercado consumidor.	http://www.seer.ufrgs.br/ProdutoProducao/article/download/30647/24545 
Um Estudo de Simulação Computacional para a	Azevedo et al. (2010)	Apresenta um modelo de simulação computacional que estende o modelo de	http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&

<p>Análise de Perfis de Aprendizagem Organizacional</p>		<p>aprendizagem mútua proposto por March com base no modelo SECI de Nonaka e Takeuchi.</p>	<p>pid=S0103-65132010000400012</p> 
<p>A Simulação Computacional na Identificação dos Princípios da Teoria das Restrições: O Caso de uma Empresa de Ferro-Ligas na Região do Quadrilátero Ferrífero</p>	<p>Guimarães et al. (2008)</p>	<p>Estudo de caso utilizando a simulação computacional em uma empresa de ferro ligas da região de Ouro Preto para identificar os princípios da Teoria das Restrições em um processo produtivo, objetivando aumentar a eficácia no processo produtivo ou apoiar a ecoeficiência.</p>	<p>http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_074_527_11899.pdf</p> 
<p>Construção de uma Estrutura de Governança para o Uso Continuo de Modelos de Simulação Computacional por Intermédio do Processo de Pensamento da Teoria das Restrições</p>	<p>Goldmeyer (2012)</p>	<p>Propõe uma forma de integrar e garantir o uso continuado de modelos de simulação por eventos discretos por meio de uma estrutura de governança.</p>	<p>http://biblioteca.asav.org.br/vinculos/000000/000000F2.pdf</p> 
<p>Análise de Processos por Meio da Simulação Computacional: Proposta de uma Estratégia de Ensino na Graduação em Administração</p>	<p>Torres Júnior et al (2012)</p>	<p>Demonstra uma estratégia de ensino cuja ênfase recai na compreensão e análise do processo que será simulado em contraste com abordagens existentes, que privilegiam o conhecimento das rotinas e especificidades dos softwares de simulação. A simulação computacional é feita por meio de planilhas eletrônicas, que utilizam o pacote SimQuick</p>	<p>http://old.angrad.org.br/_resources/_circuits/article/article_1376.pdf</p> 

<p>A Utilização de Jogos de Simulação Computacional no Ensino de Administração da Produção: Um Estudo Comparativo da Aplicação do PSP</p>	<p>Leis et al (2006)</p>	<p>Aplicação de um jogo de simulação computacional, o PSP (Programação e Sequenciamento da Produção), como método auxiliar no processo de ensino-aprendizagem de alguns conceitos relacionados à disciplina de Administração da Produção, principalmente aqueles ligados à programação e sequenciamento do sistema de produção.</p>	<p>http://www.anpad.org.br/diversos/trabalhos/EnANPAD/enanpad_2006/EPQ/2006_EPQA1674.pdf</p> 
<p>Proposta para Utilização da Simulação Computacional em Sistema de Gestão, Análise de Risco e Avaliação de Desempenho Ambientais</p>	<p>Souza (2010)</p>	<p>Utiliza de um programa de CAE (Computer Aided Engineering) para elaboração de um modelo matemático de um produto ou processo, realizando análises de integridade estrutural, confiabilidade, vulnerabilidade, causas e consequências, as quais podem fornecer dados para as análises qualitativa e quantitativa de risco ambiental.</p>	<p>http://dissertacoes.poli.ufrrj.br/dissertacoes/dissert_poli484.pdf</p> 
<p>Previsão de Demanda e Simulação Computacional nas Empresas de Gestão Conservadora: Estudo de Caso</p>	<p>Guimarães e Diallo (2010)</p>	<p>Aborda o uso da previsão de demanda e simulação computacional em uma unidade produtiva com administração de característica familiar e que não adota as modernas técnicas propostas por especialistas para a gestão da cadeia de suprimento.</p>	<p>http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2010/pdf/71926.pdf</p> 
<p>Redes Sociais, Valores e Competências: Simulação de Conexões</p>	<p>Kimura et al (2006)</p>	<p>Algoritmo para representar a dinâmica das interações que conduzem à formação de conexões entre indivíduos dentro de uma organização.</p>	<p>http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-75902006000300005&script=sci_arttext</p>

		Utiliza um critério matemático para a definição da opinião de um indivíduo sobre outro. O intuito é identificar como diferentes características, em especial o consenso sobre as competências de um indivíduo e o peso atribuído aos valores pessoais, influem na estrutura das redes sociais.	
--	--	--	---

Fonte: Elaborado pelos autores.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, PSICOLOGIA COGNITIVA E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Na tentativa de simular sistemas cada vez mais próximos das situações concretas, técnicas de Inteligência Artificial podem auxiliar no sentido de fazer com que o comportamento de um sistema se aproxime do comportamento dos objetos reais. Não apenas na área da computação, mas na psicologia cognitiva o conceito de simulação computadorizada também é reconhecido, sendo que o conexionismo, uma das novas teorias de aprendizagem estudadas agora na psicologia, tem suas raízes na forma como a aprendizagem que ocorre nas redes neurais biológicas foi abstraída para os modelos artificiais. De acordo com esta perspectiva, na simulação computadorizada a ênfase está nos processos ao invés de estar nos resultados, e o empreendimento da Inteligência Artificial pode então envolver simulações computadorizadas das atividades intelectuais humanas LEFRANÇOIS (2013, p.277).

A própria definição correntemente aceita de Inteligência Artificial comporta uma categoria relacionada à simulação de sistemas. De acordo com RUSSELL e NORVIG (2004, p.5), duas dimensões são necessárias para classificar as definições de Inteligência Artificial: uma relacionada aos processos de pensamento e outra relacionada ao comportamento.

Nos processos de pensamento, pode-se identificar agentes que “pensam” como seres humanos, ou que “pensam” de acordo com algum critério de racionalidade. Com relação ao

comportamento, pode-se identificar entes que “pensam” ou que “agem”. As duas dimensões produzem quatro quadrantes possíveis para categorizar as definições de IA:

- 1) Sistemas que pensam como seres humanos
- 2) Sistemas que pensam racionalmente
- 3) Sistemas que agem como seres humanos
- 4) Sistemas que agem racionalmente

Em face disto, pode-se concluir que na própria definição de IA, proposta por Russell e Norvig, está embutida a ideia de simulação, seja pela forma de pensar, seja pela forma de agir, como um ser humano ou de acordo com algum critério de racionalidade ou modelo lógico de raciocínio. Algumas áreas de estudo da IA produziram uma série de técnicas, derivadas de modelos concretos ou abstratos, que podem ser interpretadas conforme processos de simulação, de acordo com o quadro 5.

Ainda da perspectiva da psicologia cognitiva, nas simulações por computador, os pesquisadores desenvolvem os programas para que imitem uma determinada função ou processo humano. O desempenho de tarefas cognitivas específicas, como a manipulação de objetos no espaço tridimensional, ou o desempenho de determinados processos cognitivos, como o reconhecimento de padrões. Em certas pesquisas há a intenção de criar modelos envolvendo toda a arquitetura cognitiva relativa ao ser humano, tais como o SOAR⁴ de NEWELL(1989) e o CAP-R⁵ de ANDERSON (2001). Tais modelos permitem identificar aspectos para se entender a realidade de como funciona a mente humana (STERNBERG, 2014).

⁴ Arquitetura cognitiva utilizando uma série de componentes para processamento de aspectos que não poderiam ser encontrados num modelo puramente mecânico (LEFRANÇOIS, 2013, p.286).

⁵ Sigla para “Controle Adaptável do Pensamento Racional”, modelo que sintetiza as características do processamento serial de informações e das características dos modelos de redes semânticas (STERNBERG, 2014, p.286-287).

Quadro 5 – Áreas de estudo da Inteligência Artificial à luz dos processos de simulação

Técnica	Descrição
Sistemas Especialistas	Abordagem de resolução de problemas baseado na representação do conhecimento do domínio do problema por meio de regras de produção SE-ENTÃO ⁶ – BITTENCOURT (1998).
Redes Neurais Artificiais	Simulação parcial das interações nas redes neurais biológicas, lidando com a aprendizagem por amostragem de comportamentos complexos. Não é necessário conhecer previamente as leis de causa e efeito entre variáveis, podendo ser aprendidas do conjunto das amostras disponíveis HAYKIN (2001); MEDEIROS (2006).
Lógica Difusa	Técnica que permite a modelagem de situações próximas da forma como o ser humano aborda os problemas, sendo uma relação de compromisso entre o comportamento analógico e o digital CAMPOS e SAITO(2004).
Algoritmos Genéticos	Lidam com a geração de soluções para problema específicos baseando-se nos conceitos da evolução natural, sem necessidade de conhecimento do domínio do problema LINDEN (2006).
Sistemas Imunológicos Artificiais	Uso da aleatoriedade semelhante a técnicas de Monte Carlo, porém baseadas no paradigma biológico da geração de antígenos do sistema imunológico MEDEIROS et al. (2008).
Programação Genética	Forma de design abstraída da evolução natural, bastante utilizado na geração de soluções na elaboração de sistemas complexos, por exemplo, design de microprocessadores KOZA (1992).
Engenharia Ontológica	Metodologias para representação e manipulação do conhecimento por meio de símbolos de forma consentida GOMEZ-PEREZ et al.(2004).
Inteligência de Enxame	Lida com características emergentes do comportamento de grupo de indivíduos que apresentem estrutura e comportamentos simples DE CASTRO (2006).

Fonte: Elaborado pelo autor.

⁶ As regras do tipo SE-ENTÃO em um sistema condicionam a execução de uma ação a partir de premissas que sejam testadas como verdadeiras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica evidente ao final deste trabalho a importância das simulações computacionais para a pesquisa e geração de conhecimento. A atividade de modelagem de sistemas é um conceito chave para a compreensão da dinâmica relativa aos seus elementos constituintes, manifestada por meio dos processos de simulação. A simulação é particularmente importante quando se lida com sistemas complexos, ou que possuem uma grande quantidade de interações entre suas partes, ou ainda que lidam com grandes quantidades de dados.

As simulações computacionais permitem aprofundar o conhecimento sobre sistemas, auxiliando no entendimento de diversos elementos de um sistema que interagem ao mesmo tempo, com base em modelos matemáticos e estatísticos, e permitem um alto nível de interação entre pesquisadores e objetos de pesquisa. As simulações alcançam o status de um método que alia o aspecto racional: relativo à concepção do modelo e das formas possíveis de interação entre os elementos deste modelo; e ao aspecto empírico que permite a descoberta de formas particulares de interações a partir de várias épocas de simulação e do processo de depuração envolvendo tentativa e erro.

Entretanto, o uso de simulações computacionais exige atenção e discernimento, em particular quanto às asserções expostas por Simon:

- i) Uma simulação não pode ir além das suas próprias premissas, ou seja, ainda que as premissas do sistema estejam corretas, a descoberta de novos conhecimentos é uma tarefa desafiadora;
- ii) Um computador sempre executará aquilo para o qual foi programado. O aspecto heurístico, a parte nobre do processo de modelagem e simulação permeada de raciocínio abduutivo, ainda é primazia do ser humano. Mas em qualquer situação, valem os limites impostos pelo paradoxo de Gödel.

Cabe também ressaltar a consideração ao *trade-off* que um processo de modelagem e simulação precisa manter, contrapondo o nível de detalhamento e o nível de desempenho. Caso o nível de detalhamento do sistema modelado seja muito grande, o tempo e o custo

crecem em proporção, além da dificuldade imposta pela grande quantidade de variáveis a serem simuladas. Se a preocupação é com o desempenho, a modelagem não pode prescindir de variáveis importantes para a compreensão desejada do problema abordado.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. R.; BUDI, R.; REDER, L. M. A Theory of Sentence Memory as Part of a General Theory of Memory. **Journal of Memory, Language**, v.45, p.277-367, 2001.

AZEVEDO, D.; VACCARO, G. L. R.; LIMA, R. C. S.; SILVA, D. O. Um estudo de simulação computacional para a análise de perfis de aprendizagem organizacional. **Production [online]**. 2010, v.20, n.4. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132010000400012&lng=em&nrm=iso. Acesso em 25/07/2014.

BANKS, J. et al. **Introduction to SIMAN V and CINEMA V**. John Wiley and Sons, 1995.

BARRÔNIO, S. **Desenvolvimento de modelos de simulação computacional para análise e melhorias de sistemas produtivos**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

BIGNELL, S.; PARSON, V. **Best Practices in Virtual Worlds Teaching**. Higher Education Academy Psychology Network, 2010. Disponível em <http://previewpsych.org/BPD2.o.pdf>. Acesso em 25/07/2014.

BITTENCOURT, G. **Inteligência Artificial – Ferramentas e Teorias**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998.

CAMPOS, M. M.; SAITO, K. **Sistemas Inteligentes em Controle e Automação de Processos**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2004.

CARVALHO, L. S. **Análise das potencialidades e vantagens do uso da simulação computacional em operações logísticas complexas, como ferramenta de auxílio tomada de decisões: estudo de caso em uma organização industrial**. Dissertação de Mestrado, Salvador, Universidade Federal da Bahia, Escola de Administração, 2006. Disponível em <http://www.adm.ufba.br/pt-br/publicacao/analise-potencialidades-vantagens-uso-simulacao-computacional-operacoes-logisticas>. Acesso em 25/07/2014.

DE CASTRO, L. N. **Fundamentals of Natural Computing: Basic Concepts, Algorithms, and Applications**. Chapman & Hall/CRC Computer and Information Science Series, 2006.

DENNETT, D. C. **Brainstorms: escritos filosóficos sobre a mente e a psicologia**. São Paulo: Ed. UNESP, 2006.

DENNETT, D. C. **Tipos de Mentes: rumo a uma compreensão da consciência**. Rio de Janeiro: Rocco, 1997.

EHLRICH, P. J. **Pesquisa Operacional: Curso introdutório**, 6ª ed. Rio de Janeiro: Atlas, 1988.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em ARENA**, 2ª ed. Florianópolis: Visualbooks, 2008.

GABRIEL, M. **Educ@r: A revolução digital na educação**. São Paulo: Saraiva, 2013.

GOLDMEYER, D. B. **Construção de uma Estrutura de Governança para o Uso Continuado de Modelos de Simulação Computacional por Intermédio do Processo de Pensamento da Teoria das Restrições**. Dissertação de Mestrado. São Leopoldo-RS, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2012. Disponível em <http://biblioteca.asav.org.br/vinculos/000000/000000F2.pdf>. Acesso em 12/08/2014.

GOLDSTEIN, R. **Incompletude: A prova e o paradoxo de Gödel**. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

GÓMEZ-PÉREZ, A.; FERNANDEZ-LÓPEZ, M.; CORCHO, O. **Ontological Engineering**. Springer-Verlag London, 2004.

GREGORY, R. **Mind in Science: A history of explanations in psychology and physics**. London, Weidenfeld & Nicolson, 1981.

GUIMARÃES, A. M. C.; DIALLO, M. Previsão de Demanda e Simulação Computacional nas Empresas de Gestão Conservadora: Estudo de Caso. **XLII SBPO**, 30/08 a 03/09, Bento Gonçalves, RS, 2010. Disponível em <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2010/pdf/71926.pdf>. Acesso em 12/08/2014.

GUIMARÃES, I. F. G.; PEREIRA, D. M.; MURTA, J. L. B.; SILVA, R. T. L. A Simulação Computacional na Identificação dos Princípios da Teoria das Restrições: O Caso de uma Empresa de Ferro-Ligas na Região do Quadrilátero Ferrífero. XXVIII ENEGEP, Rio de Janeiro, 13 a 16-out de 2008. Disponível em http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_074_527_11899.pdf. Acesso em 12/08/2014.

HARRELL, C.; MOTT, J.; BATEMAN, R.; BOWDEN, R.; GOGG, T. **Simulação: Otimizando Sistemas**. São Paulo. Instituto IMAM, 2002.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: Princípios e prática**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

KAKU, M. **O Cosmo de Einstein: Como a visão de Albert Einstein transformou nossa compreensão de espaço e tempo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

HOTTOIS, Gilbert. **De la Renaissance à la Post modernité,. Une histoire de philosophie contemporaine.** Paris, Bruxelles: De Boeck Université, 1997.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. **Simulation with ARENA**, 4th edition. New York: McGraw-Hill, 2007.

KIMURA, H.; TEIXEIRA, M. L. M.; GODOY, A. S. Redes Sociais, Valores e Competências: Simulação de Conexões. **Rev. adm. empres.** v.46, n.3, São Paulo jul/set. 2006. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-75902006000300005&script=sci_arttext. Acesso em 12/08/2014.

KOCHE, J. C. **Fundamentos de Metodologia Científica**, 7a edição ampliada. Caxias do Sul: Vozes, 1982.

KOZA, J. R. **Genetic Programming: On the programming of computers by means of natural selection.** Boston, Massachusetts Institute of Technology, 1992.

LAW, A. M. & KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis.** McGraw-Hill Books, NY, Second Edition, 1991.

LEFRANÇOIS, G. R. **Teorias da Aprendizagem:** Tradução da 5ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos: Uma importante ferramenta da inteligência computacional.** Rio de Janeiro: Editora Brasport, 2006.

MEDEIROS, L. F. . **Redes Neurais em Delphi.** 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2006. v. 1. 210p

MEDEIROS, L. F. ; RAUTENBERG, S. ; BASTOS, R. C. ; TODESCO, J. L. . A Strategy for Minimizing the Processing Time of the AINET Algorithm in the Construction of Radial Basis Function Networks. In: Cihan H. Dagli; David L. Enke; K. Mark Bryden; Halil Ceylan; Mitsuo Gen.. (Org.). **Intelligent Engineering Systems through Artificial Neural Networks: Computational Intelligence in Architecting Engineering System.** 1ed. New York: ASME, 2008, v. 18, p. 479-484.

MILLÉO FILHO, G. **Simulação Computacional de Estratégias Competitivas no Comércio com Aplicação da Teoria dos Jogos.** Dissertação de Mestrado. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Ciência da Computação, 2003. Disponível em <http://revista.unibrasil.com.br/index.php/retdu/article/viewFile/156/170>. Acesso em 25/08/2014.

NEWELL, A. Putting it all together. In: KLAHR, D.; KOTOVSKY, K. (eds) **Complex Information Processing:** The Impact of Herbert Simon. New Jersey: Hillsdale, 1989.

O'BRIEN, S. **The Ultimate Player's Guide to Minecraft.** Indiana, Indianápolis, QUE Publishing, 2014. Disponível em <http://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780789752239/samplepages/0789752239.pdf>. Acesso em 25/07/2014.

PEGDEN et al. **Introduction to simulation using SIMAN**. São Paulo: Ed. McGraw Hill, 1990.

PERGHER, I.; VACCARO, G. L.; PRADELLA, M. Aplicação da Simulação Computacional para Determinar a Capacidade Produtiva do Processo de Produção de Pães: um Estudo de Caso. **Produto & Produção**, vol. 14 n.1, p.22-39, fev. 2013.

Disponível em <http://www.seer.ufrgs.br/ProdutoProducao/article/download/30647/24545>. Acesso em 25/07/2014.

PIDD, M. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

POZO, J. I. **Teorias Cognitivas da Aprendizagem**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

SABBADINI, F. S.; GONÇALVES, A. A.; OLIVEIRA, M. J. F. A Aplicação da Teoria das Restrições e da Simulação na Gestão da Capacidade de Atendimento em Hospital de Emergência. *Revista Produção Online*, Florianópolis, v.6, n.3,p.51, set./dez., 2006. Disponível em <http://www.producaoonline.org.br/rpo/article/viewFile/636/671>. Acesso em 25/08/2014.

SCHRIBER, T. J. **Simulation using GPSS**. New York: Wiley, 1974.

SHANKAR, S. **The Rise of Human-Computer Cooperation**. TED Talk Lesson, TED Conferences, junho de 2012. Disponível em <http://ed.ted.com/lessons/the-rise-of-human-computer-cooperation-shyam-sankar>. Acesso em 25/08/2014.

SHANNON, R. E. Introduction to simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 24., 1992, San Diego. **Proceedings...** San Diego: ASA, 1992. p. 65-73.

SHANNON, R. E. **Systems Simulation: The Art and Science**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1975.

SIMON, H. **The Sciences of the Artificial**. 2º ed. The MIT Press, Cambridge, 1981.

SOUZA, F. M. N. **Proposta para Utilização da Simulação Computacional em Sistema de Gestão, Análise de Risco e Avaliação de Desempenho Ambientais**. Dissertação de Mestrado Profissional. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2010. Disponível em <http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli484.pdf>. Acesso em 12/08/2014.

STERNBERG, R. J. **Psicologia Cognitiva**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

TARNAS, R. **A Epopéia do Pensamento Ocidental**, 5ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

TORRES JÚNIOR, N.; SOUZA, G. G.; NASCIMENTO, J. Z. A Utilização de Jogos de Simulação Computacional no Ensino de Administração da Produção: Um Estudo

Comparativo da Aplicação do PSP. **Administração: Ensino e Pesquisa**, Rio de Janeiro v.13 n. 3 p. 491-522, jul-ago-set de 2012. Disponível em http://old.angrad.org.br/_resources/_circuits/article/article_1376.pdf. Acesso em 12/08/2014.