MODELAGEM CONCEITUAL EM SIMULAÇÃO: ORIENTAÇÕES PARA A CONSTRUÇÃO DE BONS MODELOS

Marcos Ricardo Rosa Georges
Denise Helena Lombardo Ferreira
José Antonio Carnevalli
Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas)
Rua Professor Dr. Euryclides de Jesus Zerbini, 1516, Campinas - SP, 13087-571
marcos.georges@puc-campinas.edu.br; lombardo@puc-campinas.edu.br;
jose.carnevalli@puc-campinas.edu.br

RESUMO

Este artigo apresenta uma coletânea de princípios para a criação de modelos conceituais utilizados na simulação de sistemas. A simulação de sistemas é uma metodologia da pesquisa operacional utilizada para auxílio na tomada de decisão e se caracteriza pela imitação simplificada em computador de um fenômeno. No campo da administração, sobretudo na gestão de operações, há muitos fenômenos nas organizações que a abordagem da simulação de sistemas é conveniente e oportuna. No entanto, utilizar a simulação de sistemas não é simples. Um projeto de simulação de sistemas consiste em diversas etapas e a modelagem conceitual é uma delas e precede a implementação do modelo em ambiente computacional. Embora os softwares de simulação atuais sejam extremamente amigáveis e contam com diversos recursos para facilitar seu uso, a modelagem conceitual ainda persiste como lacuna teórica e carente de recursos. Nesta perspectiva, este trabalho executou uma pesquisa bibliográfica em busca de estratégias e orientações específicas para a etapa da modelagem conceitual e organizou os resultados em 20 princípios orientadores para a modelagem conceitual em simulação de sistemas. Espera-se que este trabalho contribua para os entusiastas da simulação de sistemas criarem seus modelos conceituais com mais coerência, completude, coerência e correção, atributos para os quais os princípios orientadores aqui apresentados foram analisados

PALAVRAS CHAVE. Simulação. Modelagem Conceitual.
SIM - Simulação

ABSTRACT

This article presents a collection of principles for creating conceptual models used in systems simulation. Systems simulation is an operational research methodology used to aid decision making and is characterized by simplified computer imitation of a phenomenon. In the field of administration, especially in operations management, there are many phenomena in organizations that the systems simulation approach is convenient and timely. However, using systems simulation is not simple. A systems simulation project consists of several steps and conceptual modeling is one of them and precedes the implementation of the model in a computational environment. Although the current simulation software is extremely friendly and has several resources to facilitate its use, conceptual modeling still persists as a theoretical gap and lacking resources. In this perspective, this work performed a bibliographic search in search of specific strategies and guidelines for the conceptual modeling stage and organized the results in 20 guiding principles for conceptual modeling in systems simulation. This work is expected to contribute to systems simulation enthusiasts to create their conceptual models with more coherence, completeness, coherence and correction, attributes for which the guiding principles presented here were analyzed.

KEYWORDS. Simulation. Conceptual Modeling.
SIM – Simulation.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

Ao longo da segunda metade do século XX, a pesquisa operacional se consolidou e se firmou como área do conhecimento científico, prática empresarial e disciplina acadêmica.

Notabilizada por oferecer metodologias para apoiar a tomada de decisões através de métodos oriundos da matemática aplicada e da estatística e com uso intensivo de computadores, a pesquisa operacional oferece uma ampla variedade de metodologias para a tomada de decisão que incluem a programação linear, os modelos de fluxo em redes, a teoria das filas, as cadeias de Markov, as árvores de decisão, a teoria dos jogos e a simulação de sistemas, dentre outras.

A utilização destas metodologias da pesquisa operacional para a tomada de decisão pode ser verificada em praticamente todas as áreas do conhecimento científico, dentre as quais se destacam as aplicações no campo da administração, da economia e da engenharia; na perspectiva da gestão nas organizações, se destacam aplicações na logística, na produção e em finanças. São vários os problemas que podem ser resolvidos com a pesquisa operacional, e uma tentativa de enumerá-los seria exaustivo, mas alguns merecem menção, como o problema de roteirização de veículos, determinação da carteira de investimentos, planejamento e programação da produção, localização de instalações, políticas ótimas de estoque e dimensionamento de capacidade.

Há diferenças significativas na estrutura e funcionamento dos métodos da pesquisa operacional. Cada método tem suas particularidades, escopo e limitação de uso. Os métodos de otimização (como a programação linear) são mais assertivos, resolvidos a partir de modelos algébricos que traduzem a situação problema em um conjunto de equações que representam a função objetivo que se deseja otimizar sujeito a um conjunto de equações que representam as limitações impostas pelas circunstancias do problema. Já os métodos de simulação são resolvidos a partir da construção de modelos simbólicos que, após sua implementação em ambiente computacional (softwares de simulação) são submetidos a experimentação até que uma solução satisfatória seja obtida.

Esta característica do método da simulação que utiliza modelos simbólicos torna esta metodologia de escopo de aplicação bem amplo, podendo ser usada para uma grande variedade de situações problemas nas organizações, sobretudo no campo da gestão de operações. Assim, a simulação de sistemas se destaca entre os métodos da pesquisa operacional e, ao longo das últimas décadas, uma grande quantidade de softwares de simulação surgiram no mercado para apoiar o uso crescente desta metodologia, destacando-se softwares como: Arena Simulations, Flexsim, Simul8, ProModel, AutoMod e outros.

Estes softwares de simulação são programas que permitem às empresas criarem um processo fictício e observarem uma operação sem realmente executá-lo. Permite testar o mesmo sistema ou sistema modificado com diferentes entradas e estudando as diferentes respostas. O mercado global de software de simulação foi avaliado em US $ 5,135 bilhões em 2017 e deve atingir US $ 10,029 bilhões em 2025, crescendo a uma taxa esperada anual de 8,90% entre 2018 e 2025 segundo estudo de Gaul [Gaul 2018].

Os primeiros softwares de simulação não possuíam auxílio gráfico e as rotinas das linguagens de simulação eram pouco amigáveis e estritamente declarativas, tornando o uso da simulação restrito ao público. Atualmente, os softwares de simulação possuem recursos de animação para visualizar o fenômeno estudado, incluindo animações em 3D e realidade aumentada, bibliotecas de rotinas já programadas e recursos que permitem ao analista construir modelos por meio da manipulação de ícones, simplesmente copiando e colando os ícones de modo a construir a simulação desejada.

Porém, um aspecto não mudou desde os primórdios da simulação: a necessidade de elaborar um modelo conceitual do fenômeno a ser simulado antes de construir o modelo computacional propriamente dito.

Somente após a elaboração do modelo conceitual do fenômeno a ser simulado é que se procede a construção do modelo computacional no software de simulação. Neste sentido, os dias atuais se assemelham aos tempos mais remotos quando surgiu a simulação como ferramenta de

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

apoio a decisão e não havia nenhum recurso computacional ou metodologia que apoiasse o processo de criação do modelo conceitual. A despeito de alguns avanços neste sentido, como apontam diversos estudos [Abdelmegid et al. 2017], [Robinson 2017], [Robinson 2015], [Furian et al. 2015], [Georges 2013], a ausência de uso de metodologias para a elaboração da modelagem conceitual em simulação de sistemas ainda persiste, justificando o esforço desta pesquisa.

É nesta perspectiva que este trabalho se apresenta, com o objetivo de contribuir para o processo de criação de modelos conceitos em simulação de sistemas, especificamente na simulação de sistemas a eventos discretos. Assim, esta pesquisa reuniu um conjunto de princípios de modelagem que podem ser utilizados como orientação do processo de criação dos modelos conceituais necessários para a aplicação da simulação de sistemas.

O trabalho está organizado em cinco seções. A primeira seção é esta que se destina a fazer a introdução. A segunda seção apresenta a fundamentação teórica. A terceira seção apresenta a metodologia utilizada na pesquisa. A quarta seção apresenta os resultados, e a quinta e última seção apresenta as considerações finais do trabalho.

2. Fundamentação teórica

Esta seção de fundamentação teórica está organizada em quatro subseções: a primeira trata da simulação de sistemas, depois apresenta as etapas de um estudo de simulação de sistemas, para então se concentrar na etapa de modelagem conceitual da simulação e, por fim, apresenta as propriedades desejáveis de um bom modelo de simulação.

2.1. Simulação de Sistemas

O dicionário Aurélio assim define o verbete simulação: "[...] simulação. [Do latim *simulatione*.] S.f. **1**. Ato ou efeito de simular **2**. Disfarce, fingimento; simulacro **3.** Hipocrisia, impostura". No campo jurídico define-se: "[...] declaração enganosa da vontade, com o objetivo de produzir efeito diferente daquele que nela se indica". No campo da psicologia define-se: "[...] imitação de uma perturbação somática ou psíquica, com fins utilitários" O uso da palavra simulação no campo das ciências exatas é recente. O próprio Aurélio tem a definição mais apropriada para este caso: "[...] experiência ou ensaio realizado com o auxílio de modelos" [Georges 2013].

Banks e seus coautores [Banks et al. 2013, p.3] definem:

[…] um modelo de simulação é uma imitação de uma operação de um processo do mundo real ou de um sistema ao longo do tempo. Seja feito à mão ou com o auxílio do computador, simulação envolve a geração de uma história artificial de um sistema, e da observação desta história artificial para esboçar inferências acerca das características da operação do sistema real.

No campo da pesquisa operacional, simulação de sistemas é uma técnica utilizada para facilitar a tomada de decisão em situações do mundo real. Baseia-se na construção de um modelo que represente o sistema a ser avaliado.

Há diversos tipos de simulação, porém, dois tipos são os mais conhecidos: a simulação de sistemas em eventos discretos e a simulação de sistemas dinâmicos. Em ambos os casos se observa o uso de modelos como artifício necessário para a realização da simulação. De todo modo, o escopo de abordagem apresentado neste trabalho se restringe a simulação de sistemas em eventos discretos.

Como o objeto de estudo deste trabalho é a modelagem conceitual, serão apresentadas a seguir as diferentes abordagens dada por diversos autores de como se conduzir um projeto de simulação, tendo como objetivo ressaltar a importância da etapa de modelagem conceitual no ciclo de vida de um projeto de simulação.

2.2. Etapas da Simulação de Sistemas

Diversos autores apresentam um conjunto de etapas dispostas em sequência destinadas a conduzir um projeto de simulação. O quadro 1 a seguir reuniu estes conjuntos de etapas apresentados por diferentes autores [Wainer 2017], [Panneerselvam e Senthilkumar 2013], [Banks et al. 2013], [Lobão 2000], [Anu Maria 1997], [Pidd 2009] e [Pidd 1996].

Quadro 1 - Diferentes abordagens de como se conduzir um projeto de simulação**.**

[Wainer 2017]	[Panneerselvam e Senthilkumar 2013]	[Banks et al. 2013]	[Lobão 2000]	[Anu Maria 1997]	[Pidd 2009] e [Pidd 1996]
Formular o problema;	Identificar o problema de decisão;	Formulação do problema;	Definição do problema e dos objetivos;	Identifica o problema;	Estruturação do problema;
Modelagem conceitual;	Desenvolver um modelo conceitual;	Definição dos objetivos;	Elaboração de um esboço do modelo;	Formula o problema;	Construção do modelo conceitual;
Coletar e analisar os dados de entrada e saída	Identificar os parâmetros;	Concepção do Modelo;	Aquisição dos dados;	Coleta e processa dados do sistema real;	
Construir o modelo computacional;	Selecionar as variáveis;	Coleta de Dados (atividades em paralelo);	Verificação da consistência dos dados;	Formula e desenvolve o modelo;	Implementação computacional
Verificação e validação do modelo;	Construir um modelo de simulação;	Transcrição do modelo para computador;	Construção de um modelo computacional;	Validação do modelo;	Validação;
Experimentação;	Executar a simulação;	Verificação;	Verificação da consistência do modelo;	Estabelece condições experimentais para as corridas;	Experimentação;
Analisar os dados de saídas;	Interpretar os resultados;	Validação;	Projetar e executar o experimento;	Executa as simulações;	Implementação;
	Implementar os resultados;	Experimentação;	Verificação e interpretação dos resultados;	Interpreta os resultados;	
	Revisar a simulação se necessário;	Execução;	Documentação do processo;	Recomenda ações futuras;	
		Análise;		Documenta o modelo para uso futuro;	
		Documentação;			
		Implementação;			

Fonte: Elaboração própria.

Não há uma concordância plena entre todos os autores apresentados. Observa-se que determinados autores colocam a questão da verificação do modelo antes de se coletar dados, enquanto outros coletam dados após a verificação do modelo. No entanto, observa-se que a etapa de modelagem conceitual está presente em todos os roteiros apresentados.

2.3. Modelagem Conceitual

Modelagem conceitual é um processo de abstração de um modelo a partir do mundo real ou do sistema proposto. É, certamente, o mais importante aspecto em um projeto de simulação [Robinson et al. 2011].

Banks [Banks 2000, p.2] denomina esta etapa como arte: "[...] é provavelmente muito mais arte que ciência", e afirma que a arte de modelar é obtida através da habilidade de se

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

abstrair a essência do problema, de selecionar a modificar as hipóteses básicas que caracterizam o sistema e de enriquecer e elaborar o modelo até se aproximar de resultados úteis.

A construção de um modelo requer a clara compreensão do funcionamento do sistema a ser simulado e uma habilidade em representar este funcionamento a partir da combinação de elementos primários pertencentes à linguagem de simulação. Além disso, há a necessidade de se estabelecer medidas de desempenho de modo adequado a conseguir responder quais alternativas testadas representa a melhor solução para o problema.

Pristker afirma que não é possível estabelecer um conjunto de instruções que resulte em um modelo de processo bem construído e apropriado a cada instância, apenas há alguns princípios gerais que possam ser seguidos [Pristker 1998].

Robinson e seus coautores definem modelagem conceitual aplicada a simulação como uma descrição independente da solução de um problema do domínio do mundo real, de qual um modelo de design de simulação independentemente da plataforma pode ser derivado para um determinado conjunto de questões de pesquisa [Robinson et al. 2015].

Neste sentido, o presente trabalho pretende reunir um conjunto de princípios para orientar a construção de modelos conceituais visando aplicações da simulação de sistemas, reconhecendo que o processo de modelagem conceitual não é bem estruturado e não possui uma metodologia universalmente aceita, mas é possível estudá-lo e sistematiza-lo de maneira a conceber bons modelos conceituais para uso em simulação de sistemas. Assim, a próxima questão a responder é o que exatamente significa ser um bom modelo.

2.4. Propriedades Desejáveis de um Modelo

Algumas propriedades do modelo podem ser facilmente enunciadas, mas são difíceis de serem formalizadas. São propriedades pertencentes a um sentimento comum entre usuários da simulação de sistemas e são ocasionalmente comentadas, alguns exemplos são: facilidade de uso; baixa complexidade; intercambiável; preciso; robusto; fácil implementação; fácil alteração.

Robinson define repetidas vezes que bons modelos conceituais devem produzir resultados suficientemente precisos para o propósito que se destina, deve ter credibilidade junto aos clientes da simulação, deve ser factível de ser construído em relação as restrições de tempo e orçamento, e deve ter utilidade, o que inclui ser fácil de uso, flexível, visual e fácil de executar [Robinson 2017], [Robinson 2015] e [Robinson et al. 2011].

No entanto, é necessário determinar estas propriedades com maior precisão. Pace expôs quatro propriedades de modelos conceituais em simulação definidas com maior grau de formalismo, são elas [Pace 2000]:

- **Completude:** propriedade em que um modelo deve representar, satisfatoriamente, todas as entidades e processos do domínio do problema, e controlar e operar todas as características da simulação (domínio da simulação);
- **Consistência:** propriedade em que todas entidades e processos representados no modelo devem ser endereçados em uma perspectiva compatível com o sistema;
- **Coerência:** propriedade em que o modelo conceitual é organizado de modo que todos os elementos do domínio do problema e do domínio da simulação tenham uma funcionalidade explícita;
- **Correção:** propriedade em que o modelo é apropriado para a aplicação pretendida e tenha potencial para desempenhar de modo satisfatório a simulação.

Estas propriedades são gerais o bastaste para serem utilizadas em uma grande variedade de modelos de simulação sem perda de validade. São propriedades que servem como guia para o processo de modelagem, mesmo que o julgamento sobre cada uma das propriedades seja subjetivo no nível da modelagem conceitual. É desejável que o julgamento seja objetivo, mas isto só é possível no nível da verificação do modelo e quando este é descrito por uma linguagem formal.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

3. Metodologia

A metodologia utilizada nesta pesquisa é de natureza aplicada, de abordagem qualitativa, com objetivos descritivo e propositivo, e executada através de um levantamento utilizando a pesquisa bibliográfica. A partir da definição das palavras-chave "*conceptual modeling"* e *"simulation"* foram coletados artigos nos anais do evento *Winter Simulation Conference* desde o ano de 1967 até o ano de 2019. Também foram pesquisados livros e artigos usando o *Google* acadêmico para complementar a pesquisa.

Vale destacar que a palavra-chave a buscada pode estar em qualquer parte do artigo, seja no resumo, no título, na própria palavra-chave, no desenvolvimento do texto ou mesmo na referência.

De posse dos resultados, as obras foram estudadas em busca daquelas que traziam em seu conteúdo princípios gerais para a elaboração de modelos conceituais no âmbito da simulação de sistemas. Estes princípios foram reunidos e elencados como se observa na seção seguinte. Para cada princípio encontrado acerca da modelagem conceitual, foi feito uma análise de quanto este princípio contribui para as propriedades desejais de um modelo conforme apresentado na seção 2.4 anterior. O resultado pode ser conferido na seção a seguir.

4. Resultados

Os resultados deste trabalho estão apresentados nesta seção e foram organizados em duas partes. Primeiro, apresenta-se o elenco de princípios gerais na construção de modelos conceituais em simulação de sistemas encontrados na pesquisa. Depois, é feita a análise de como estes princípios contribuem para as propriedades desejáveis de um bom modelo de simulação.

4.1. Princípios Gerais da Construção de Modelos

O resultado da pesquisa encontrou 20 princípios acerca da construção de modelos conceituais de simulação. Os princípios de modelagem são descritos a seguir.

Modele simples, pense complicado: este princípio foi anunciado por Michael Pidd em [Pidd 2009], [Pidd 1999] e [Pidd 1996], que explica este princípio através de analogias, afirmando que não é necessário conhecer o funcionamento do motor para dirigir um automóvel. Afirma que o modelo do processo deve ser simples, a ponto de ser facilmente manipulado, tal como guiar um carro, mas que seu complexo mecanismo de funcionamento é fruto pensamento muito elaborado. Através de um modelo de processo simples e pensamentos bem elaborados é possível que o modelo leve a conclusões surpreendentes. Robinson reforça este princípio afirmando que modelo simples são desenvolvidos mais rapidamente, são mais flexíveis, requerem menos dados, executam mais rápidos, são mais fáceis de serem entendidos e produzem resultados mais fáceis de serem analisados [Robinson 2017] e [Robinson 2015].

Seja parcimonioso, comece pequeno e acrescente: este princípio de modelagem sugere que inicie a modelagem com modelos pequenos e amplie este modelo aos poucos, através da agregação de novos detalhes e refinamentos. Também foi elaborado por Michael Pidd que sugere que inicie com um modelo que seja pequeno o suficiente para ser executado à mão, que contenha sua estrutura básica correta e, então, passe a efetuar pequenos acréscimos em sua estrutura, de modo a contemplar os aspectos sensíveis do problema tratado. A ideia básica por trás deste princípio é que a modelagem é um processo iterativo, com diversas realimentações. Outra ideia é de se iniciar com um modelo simples e não acrescentar ao modelo o que é desnecessário. Para sintetizar este princípio, Pidd costuma apresentá-lo através da palavra KISS, que em inglês significa: *Keep It Simple, Stupid*. É melhor ter um modelo imperfeito, porém pequeno e ter a oportunidade de refiná-lo do que tentar iniciar a modelagem com um modelo grande e complexo onde é mais provável que o simulacionista se perca no detalhamento e passe a abandoná-lo [Pidd 2009], [Pidd 1999] e [Pidd 1996].

Divide e conquiste, evite mega modelos: este é um princípio bem conhecido dos programadores de computador, dividir para conquistar significa que se deve atacar o problema por partes, de modo que o modelo final seja a agregação de pequenos modelos feitos separadamente. Pidd afirma que a melhor forma de driblar a complexidade dos sistemas a serem modelados é dividi-los em partes pequenas o suficiente para que possam ser modeladas, no entanto, é necessário que as inter-relações entre as partes divididas que compõem o modelo seja bem conhecido, caso contrário a divisão do modelo em partes menores levará o simulacionista a compor modelos fragmentados e sem coesão entre as partes [Pidd 2009], [Pidd 1999] e [Pidd 1996].

Usem metáforas, analogias e similaridades: sugere-se que um modelo pode estar oculto pela falta de palavras para descrevê-los e que o uso de analogias, metáforas e similaridades podem descrever o modelo de outra forma e facilitar o entendimento. Pidd também afirma que o simulacionista não trabalha só, mas sim em equipe, e que o uso destas figuras de linguagem constitui um artifício muito interessante para a comunicação entre os integrantes da equipe de trabalho, estimulando a percepção do problema a ser tratado e conduzindo a um modelo bem entendido por todos [Pidd 2009], [Pidd 1999] e [Pidd 1996].

Não se apaixonem pelos dados: este é o princípio que Pidd mais chama a atenção e tece várias recomendações [Pidd 2009], [Pidd 1999] e [Pidd 1996]. Inicialmente, ele afirma que o erro mais comum, principalmente dos alunos e iniciantes em modelagem, é insistir no progresso de modelos que não podem ser feitos sem dados. Outro erro bastante comum apontado por Pidd é o fato da coleta de dados dirigirem a modelagem, onde o correto seria o modelo definir a coleta de dados que a ser feita, ou seja, o simulacionista deve desenvolver algumas ideias sobre o modelo e seus parâmetros, e somente a partir daí pensar no tipo de dado que será necessário. Mas, muitas vezes, o modelo é extraído da análise de dados que se têm em mãos, fazendo com que o modelo derive dos dados e não que os dados derivem do modelo.

Conceber um Modelo requer o conhecimento do sistema e das ferramentas de modelagem: este princípio enunciado por Pristker afirma que o simulacionista deve entender a estrutura e as regras de operação do sistema e ser capaz de extrair a essência deste sistema sem detalhes desnecessários e enfatiza que modelos úteis são aqueles fáceis de serem entendidos e que contenham detalhes o suficiente para representar o sistema de modo realístico [Pristker 1998].

Um bom modelador reconhece a necessidade e tem a habilidade de remodelar: Pristker afirma neste princípio que o processo de construção do modelo deve ser interativo e de forma gráfica, pois o modelo não é somente definido e desenvolvido, mas é continuamente refinado, atualizado, modificado e estendido [Pristker 1998].

O processo de modelagem é evolucionário: Pristker em [Pristker 1998] e [Pritsker et al.1991] afirmam neste princípio que o processo de construção do modelo gera informações relevantes que provocarão alterações no modelo, tornando os resultados mais precisos e acurados. O processo de modelagem continua até que informações adicionais ou novos detalhes não sejam necessários para a resolução do problema. Durante o este processo evolucionário, relações entre o sistema em estudo e o modelo são continuamente definidas e redefinidas. Simulações do modelo provocam *insights* sobre o comportamento do modelo e alimentam este processo evolucionário.

A formulação do problema é o elemento controlador primário da modelagem: neste princípio, Robinson afirma que o problema a ser resolvido pela simulação computacional é o que direciona o desenvolvimento do modelo. Se um modelo não puder resolver o problema, não terá utilidade. Logo, durante toda a etapa de modelagem, é importante que a formulação do problema esteja sempre presente [Robinson 2017].

O modelo deve evoluir de acordo com a sua utilidade: o propósito da modelagem pode ser visto em níveis funcionais, onde cada nível funcional possui características específicas. Um nível funcional refere-se ao tipo de utilidade que o modelo terá. Pristker em [Pristker 1998] e [Pristker et al. 1991] lista os seguintes níveis funcionais para um modelo:

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

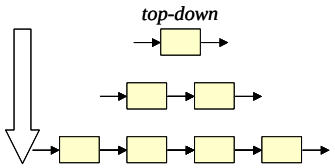
- Como *instrumento exploratório* para entender o sistema e o problema;
- Como um *veículo de comunicação* para descrever a operação do sistema;
- Como *ferramenta de análise* para determinar elementos críticos, componentes e questões e estimar medidas de desempenho;
- Como *assessor de projetos* para avaliar soluções e propor novas alternativas;
- Como *sequenciador* para programar trabalhos, tarefas e recursos;
- Como *mecanismo de controle* para a distribuição e roteirização de materiais e recursos; e
- Como *ferramentas de treinamento* para assistir operadores a entender as operações do sistema.

Em geral, o mais comum é utilizar a simulação como ferramenta de análise e, para esta vista funcional, é mais relevante para a construção do modelo conceitual a definição cuidadosa de medidas de desempenho que o modelo terá. No entanto, para outras é mais importante privilegiar outros aspectos da modelagem.

Saibam quando usar a abordagem "*top-down*" e "*botton-up*": neste princípio Herinksen citado por Georges [Georges 2013] discute quando é apropriado usar a abordagem *top-down* e *botton-up*. Segundo o autor há um sentimento de que a abordagem *top-down* é a melhor, justificando que esta opinião origina-se nos muitos anos em que a pratica de modelagem era exclusiva dos programadores de computador. Herinksen não conclui qual abordagem é melhor, mas sugere que postule, o mais cedo possível, os componentes do modelo que serão trabalhados duramente e que sofrerão diversos ajustes ao longo do processo de modelagem.

Usem uma abordagem híbrida, inicie a modelagem usando abordagem *top-down* e termine usando abordagem *botton-up*: este princípio é proposto por Georges [Georges 2013] e sugere que se inicie a modelagem usando a abordagem *top-down*, pois esta abordagem lhe fornecerá uma visão holística do modelo do sistema a ser simulado. Em termos práticos, o simulacionista deve postular este modelo do sistema como um processo majoritário, do qual surgirão outros processos através do seu desdobramento. Este desdobramento usando abordagem *top-down* deverá prosseguir até que a estrutura do modelo atinja subdivisões cuja complexidade seja suficientemente reduzida para facilitar o processo de modelagem, tal como ilustrado na figura 2 a seguir.

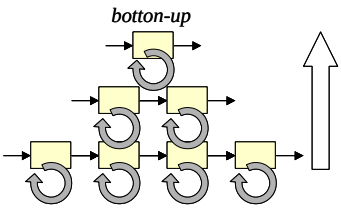
Figura 2- Inicie com abordagem top-down.



Fonte: [Georges 2013, p.3292]

A partir deste ponto inicia-se a abordagem *botton-up*, como se fosse um processo de reconstrução, onde cada processo elementar (último estágio das subdivisões) é modelado como se fosse isolado e, à medida que sobe de nível, as ligações entre cada processo são feitas de modo a garantir a coesão do modelo, até que o processo majoritário seja atingindo, como a figura 3.

Figura 3 – Termine com abordagem botton-up.



Fonte: [Georges 2013, p.3292]

Criem subdivisões do modelo usando limites físicos existentes no sistema: este princípio proposto por [Georges 2013] sugere que, ao dividir o modelo em sub-modelos, as divisões devem ser baseadas nas divisões físicas existentes no sistema real. Ou seja, use as divisões existentes no sistema real, tais como: estações de trabalho, departamentos, áreas distintas, seções diferentes, para usar como referência na decomposição do modelo principal. Um grande recurso que pode ser usado para ilustrar melhor a aplicação deste princípio é o desenho da planta industrial em CAD (*Computer Aided Design*). Quando possível, utilize o desenho da planta e faça das divisões físicas do desenho as divisões lógicas existentes no modelo conceitual.

Modelos são associados a conjuntos de questões: neste princípio, Fishwick citado por [Georges 2013] chama a atenção para o tipo de questão que é feita sobre o comportamento do sistema, pois, o tipo de questão feita é importante para definir sobre o tipo de modelo a ser utilizado. Fishwick discute que diferentes questões levam a diferentes paradigmas de modelagem.

Modelos simples são mais fáceis de analisar: vários autores [Robinson 2017], [Robinson 2015], [Robinson et al. 2011] e [Kotiadis e Robinson 2008] são categóricos e afirmam que modelos simples são mais fáceis de serem analisados. Por possuem poucos processos interativos são, em geral, mais fáceis e rápidos de se construir. Mais além, modelos simples têm baixa complexidade computacional e poucos parâmetros de entrada e de saída. Um modelo com um número grande de parâmetros, com diversos processos interativos e muitos dados de saída nunca será analisado de uma maneira compreensiva pelo usuário.

Construa dois modelos: um modelo detalhado e outro simplificado: Clark citado por [Georges 2013] afirma que um modelo simplificado possui duas grandes vantagens: permite uma rápida examinada nas alternativas e a eliminação das alternativas consideradas fracas, e facilita a leitura do modelo identificando relações básicas entre os parâmetros de entradas e as medidas de desempenho. Já Robinson e coautores reforçam este princípio sugerindo que o analista use desenhos ricos para produzir seus modelos [Robinson et al. 2011]. Um primeiro modelo deve ser mais simples, ilustrado, cheio de figuras, destinado a apresentação do modelo conceitual às pessoas que desconhecem o formalismo de uma linguagem de modelagem. Dessa forma, procure fazer um modelo conceitual que seja de fácil leitura e de fácil interpretação para que possa ser entendido por qualquer pessoa que conheça a operação do sistema real, mas que desconheça o formalismo da simulação. Este modelo será de imensa utilidade para a validação do modelo conceitual, podendo ser avaliado pelos operadores do sistema real e incrementado e corrigido quando necessário. O segundo modelo (derivado do mesmo modelo conceitual) deverá ser formal, destinado à documentação desta etapa do projeto de simulação e será usado, basicamente, pelo analista responsável pela transcrição do modelo conceitual na linguagem de programação (ou ambiente de simulação) escolhido para executar a simulação.

Listem as especificações antes de desenvolver o modelo: Robinson lista especificações de um modelo conceitual de simulação devem conter os seguintes documentos [Robinson 2017]:

- Descrição do sistema a ser representado;
  - Especificação do escopo do sistema;
  - Descrição das principais operações do sistema;
- Propósito do modelo de simulação;
  - Lista das questões motivadoras para o uso do modelo;
- Descrição e lista das medidas de desempenho a serem usadas;
- Descrição e lista dos dados de entrada;
- Descrição das entidades básicas do modelo;
  - Lista e definição dos atributos de cada entidade;

Clark citado por [Georges 2013] afirma que possuir a especificação do modelo a ser feito pode evitar esforços desnecessários na etapa de programação e também permite que se desenvolva uma estrutura do modelo mais compreensiva. Afirma ainda que, quanto mais pessoas estiverem envolvidas no projeto, maior será a importância desta tarefa.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Descrevam do processo a ser simulado de modo que possa ser compreendido por todos os envolvidos: neste princípio elaborado por [Georges 2013] o verbete 'descreva' é entendido em seu sentido mais amplo, livre de qualquer definição. Esta descrição do processo deverá ter a capacidade de aliar a facilidade de compreensão, de modo que possa ser entendida por quem é inerente ao sistema (e desconhece uma linguagem de modelagem), com aspectos formais suficientes para ser usada como elemento fundamental para a transcrição computacional. Em geral, esta descrição tem viés computacional já que, em sua maioria, sempre é feita pelos próprios simulacionistas, ou então por engenheiros e demais funcionários com formação tecnicista. Podem ser utilizados outros recursos, como vídeos, fotos e até mesmo a linguagem escrita.

Orientem-se pelo fluxo dos acontecimentos: este princípio afirma que se há algo que não muda em qualquer simulação é a direção do tempo, então não há nada mais natural que seguir a ordem dos acontecimentos. Mas não é isto o que ocorre em muitas ocasiões. É muito comum que, ao decompor e estabelecer sub-modelos, haja uma tendência em tratar cada modelo em particular, pois justamente este é objetivo da decomposição. Mas o fator tempo é o mesmo para todos os casos, e aspectos como sincronismo e concorrência podem ficar despercebidos e na hora da composição para construir um único modelo, poderá haver muito trabalho para resolver tais ajustes que poderiam ser poupados se a orientação do tempo for um referencial único para todas as divisões [Georges 2013].

As tarefas básicas da concepção do modelo são: abstração, decomposição, especificação e recomposição: este princípio afirma que o processo de modelagem segue um ciclo de ações cognitivas que se aproxima muito da seguinte sequência: abstração, decomposição, especificação e recomposição. No primeiro momento se tem a necessidade de abstrair a essência do sistema real para um modelo lógico, depois se decompõe este modelo e especificam-se cada parte decomposta. E por fim há a necessidade de agrupar as partes de modo a compor um só modelo ao final, que caracteriza a recomposição [Georges 2013].

Para finalizar a exposição dos princípios e organizá-los de forma que seja visível a contribuição para o processo de modelagem, está exposto no quadro 2 o grau de contribuição de cada princípio em relação às características desejáveis de um modelo. Este grau de contribuição é de natureza subjetiva, feito a partir da percepção dos autores.

Quadro 2 – Grau de Contribuição dos princípios ao processo de modelagem

n	PRINCÍPIOS DE MODELAGEM	GRAU DE CONTRIBUIÇÃO AO PROCESSO DE MODELAGEM			
		Completude	Consistência	Coerência	Correção
1	Modele Simples, Pense Complicado	-	-	-	-
2	Comece pequeno e acrescente	baixo	alto	médio	Baixo
3	Divide e Conquiste	baixo	alto	baixo	Baixo
4	Use metáforas, analogias e similaridades	baixo	baixo	-	Médio
5	Não se apaixone pelos Dados	-	-	-	Médio
6	Conceber um Modelo requer o conhecimento do sistema e das ferramentas de modelagem	médio	baixo	baixo	Baixo
7	Um bom modelador reconhece a necessidade e tem a habilidade de remodelar.	médio	médio	baixo	Médio
8	O processo de modelagem é evolucionário	médio	médio	baixo	médio
9	A formulação do problema é o elemento controlador primário da modelagem.	baixo	baixo	baixo	alto
10	O modelo deve evoluir de acordo com a sua utilidade.	baixo	baixo	baixo	alto
11	Saiba quando usar a abordagem "*top-down*" e "*botton-up*".	baixo	médio	baixo	baixo

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

12	Modelos são associados a conjuntos de questões.	-	baixo	baixo	alto
13	Modelos simples são mais fácies de analisar.	-	-	médio	médio
14	Construa dois modelos: um modelo detalhado e outro simplificado.	-	-	médio	médio
15	Liste as especificações antes de desenvolver o modelo.	baixo	baixo	médio	alto
16	Use uma abordagem híbrida, inicie a modelagem usando abordagem *top-down* e termine usando abordagem *botton-up*.	baixo	médio	médio	baixo
17	Crie subdivisões do modelo usando limites físicos existentes no sistema.	baixo	alto	alto	alto
18	Descreva do processo a ser simulado de modo que possa ser compreendido por todos os envolvidos.	baixo	baixo	médio	médio
19	Oriente-se pelo fluxo dos acontecimentos.	alto	alto	alto	médio
20	As tarefas básicas da concepção do modelo são: abstração, decomposição, especificação e recomposição.	baixo	alto	médio	médio

Fonte: Adaptado de [Georges 2013]

O quadro 2 sumarizou todos os princípios encontrados e como cada um deles contribui para a geração de bons modelos conceituais para a simulação computacional.

5. Conclusões

A problemática do processo de modelagem conceitual ainda não figura entre as principais preocupações da simulação, mas, deveria. A modelagem conceitual é elemento mais fundamental na simulação e o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem esta tarefa são de grande importância para seu uso, aperfeiçoamento e disseminação.

Os trabalhos sobre modelagem discutem o problema em um nível próximo da prática, mas, ainda, distante da proposição de uma ferramenta universalmente aceita. As contribuições se fazem na forma de princípios gerais elaborados a partir da experiência e percepção de seus autores e no desenvolvimento de metodologias muito específicas atendendo, somente, a especificidade de um caso particular.

Não há um roteiro, uma metodologia, uma receita ou algo parecido proposto para apoiá-la a tarefa de modelagem de processos de negócios, também é constatada a ausência de metodologias que conduzam o analista à coleta de dados para a modelagem, mesmo que, esta técnica encontra-se desenvolvida e conhecida há bastante tempo.

Sem dúvida ainda há muito por ser feito, mas este trabalho contribui para o progresso desta ciência, abrindo novas perspectivas e futuros desdobramentos que, conjuntamente a este trabalho, consolidarão a técnica de modelagem conceitual e a simulação como uma ferramenta de apoio à decisão flexível, útil e de fácil uso, tornando-a singular perante todas as ferramentas de apoio à decisão oriundas da pesquisa operacional.

6. Referências Bibliográficas

Abdelmegid, M. A., González, V. A., Naraghi, A. M., O'Sullivan, M., Walker, C. G., Poshdar, M. (2017). Towards a conceptual modeling framework for construction simulation. *In*: Winter Simulation Conference, Las Vegas, NV, USA, 2017. *Proceeding…* Las Vegas, NV, vol.1, pp. 2372-2383, doi: 10.1109/WSC.2017.8247967.

Banks, J. (2000). Introduction to Simulation. *In*: Winter Simulation Conference, Orlando, FL, USA, 2000, *Proceedings*… Orlando, FL, vol.1, pp. 9-16. doi: 10.1109/WSC.2000.899690.

Banks, J., Carson II, J.S., Nelson, B.L., Nicol, D.M. (2013). *Discrete-Event System Simulation*. 5ed. Pearson: New York. 648p.

Gaul, Vishwa (2018). Simulation Software Market, opportunities and forecast, 2018-2025. Relatório. Allied Market Research. 221p.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Furian, N., O'Sullivan, M., Walker, C., Vössner, S., Neubacher, D. (2015). A conceptual modeling framework for discrete event simulation using hierarchical control structures. *Simulation Modelling Practice and Theory*. Vol. 56. P. 82-96.

Georges, M.R.R. (2005). Metodologia para Modelagem em Simulação de Sistemas: Aplicação em Manufatura Discreta. Campinas, SP. Tese de Doutorado. UNICAMP, 233p.

Georges, M.R.R. (2013). Conceptual Modeling in System Simulation: principles for construction good models. In**:** CONTECSI USP - International Conference on Information Systems and Technology Management. São Paulo, SP, 2013. *Proceedings…* São Paulo, vol.1, pp. 3282-3297.

Kotiadis, Kathy, Robinson, Stewart (2008). Conceptual Modelling: knowledge acquisition and model abstraction. In: *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference* eds: S. J. Mason, R. R. Hill, L. Mönch, O. Rose, T. Jefferson, J. W. Fowler (Editors), p.951-958.

Lobão, E.C. (2000). Discussão, Sistematização e Modelamento do Processo de Realização de Estudos de Simulação. São Paulo, SP. USP. Tese de Doutorado, 198p.

Maria, Anu (1997). Introduction to Modeling and Simulation. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, p. 7-13.

Pace, D.K. (2000). Ideas About Simulation Conceptual Model Development. *Johns Hopkins Apl Technical Digest*, vol. 21, n.3, p. 327-336.

Panneerselvam, R., Senthilkumar, P. (2013). System Simulation, Modelling and Languages. PHI Learning Pvt. Ltd.: Nova Deli, 444p.

Pidd, Micheal (2009). Tools for Thinking: Modelling in Management Science. Wiley: New Jersey, 304p.

Pidd, Micheal (1999). Just modeling through: A rough guide to modeling. *Interfaces*, vol. 29, n.2, pp. 118-132.

Pidd, Micheal (1996). Five Simple Principles of Modelling. *In: Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference*, ed. J.M. Charnes, D.J. Morrice, D.T. Brunner e J.J. Swain, New Jersey.

Pritsker, A.A.B. (1998). Principles of Simulation Modeling. *In*: J. Banks (eds.), *Handbook of Simulation*, John-Willey, New York, p. 31-51.

PritSker, A.A.B. (Chair); Henriksen, O. James; Fishwick, Paul A., Clark, Gordon M. (Panelists) (1991). Principles of Modeling. *In*: Winter Simulation Conference, Phoenix, USA, 1991. *Proceedings…*Phoenix, USA, pp.1199-1208.

Robinson, S. (2008). Conceptual Modelling for Simulation Part I: Definition and Requirements. *Journal of the Operational Research Society*, vol.59, n.3, p.278-290.

Robinson, S., Brooks, R., Kotiadis, K.; Zee, D. (2011). Conceptual Modeling for Discrete-Event Simulation. CRC Press: New York. 511p.

Robinson, S. (2017). A Tutorial on Simulation Conceptual Modeling. *In:* Winter Simulation Conference, 2017. *Proceedings…*, p. 565-579.

Robinson, S. (2015). A tutorial on conceptual modeling for simulation. *In:* Winter Simulation Conference, Huntington Beach, CA, USA, 2015. *Proceedings…* Huntington Beach, CA, 2015, pp. 1820-1834, doi: 10.1109/WSC.2015.7408298.

Robinson, S., Arbez, G., Birta, L. G., Tolk A., Wagner, G. (2015). Conceptual modeling: Definition, purpose and benefits. *In* Winter Simulation Conference, Huntington Beach, CA, USA, 2015. *Proceedings…* Huntington Beach, CA, 2015, pp. 2812-2826, doi: 10.1109/WSC.2015.7408386.

Wainer, Gabriel A. (2017). Discrete-Event Modeling and Simulation: A Practitioner's Approach. CRC Press. New Jersey. 520p.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings