

1

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

O objetivo deste capítulo é fornecer ao leitor um panorama geral do que vem a ser a simulação de sistemas. Inicia-se com algumas definições, procurando mostrar a ampla gama de conceitos e opiniões envolvidas no tema. Em seguida, discute-se sobre os motivos que levam pesquisadores e analistas a empregarem esta técnica no encaminhamento da solução de seus problemas. Nos dois tópicos seguintes, apresentam-se alguns conceitos associados a sistemas e modelos, tema central de toda a discussão envolvendo simulação. Na sequência, algumas das vantagens e desvantagens no uso da simulação são apresentadas. Alguns dos pontos foram atualizados em função da crescente evolução do software e do hardware envolvidos com o emprego desta técnica. Finaliza-se este capítulo inicial com uma descrição, passo a passo, das etapas necessárias a um estudo envolvendo simulação e com a apresentação dos erros mais comuns quando do emprego desta técnica.

Tópicos

- 1.1 Definindo Simulação de Sistemas
 - 1.2 Por que Simular?
 - 1.3 Sistemas
 - 1.4 Modelos
 - 1.5 Vantagens e Desvantagens da Simulação
 - 1.6 Passos na Formulação de um Estudo Envolvendo Modelagem e Simulação
 - 1.7 Erros mais Comuns na Abordagem via Simulação
- Sumário

1.1 Definindo Modelagem e Simulação de Sistemas

A simulação computacional de sistemas, ou simplesmente *simulação*, consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo (*sistemas*) do mundo real.

São muitas as definições de simulação. De acordo com Schriber [1974], conforme pode ser visto no clássico Simulation Using GPSS, “*simulação 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”. Embora Schriber seja considerado por muitos como o responsável por desencadear um maior compromisso entre programas de computadores e linguagens de simulação (foi um dos desenvolvedores do GPSS, a primeira linguagem comercial de computadores voltada a simulação de sistemas), em sua definição ele não especifica que o modelo deva ser computacional. O motivo é que na época, ainda era comum a utilização de modelos analógicos e físicos para se estudar e analisar o comportamento de sistemas. Hoje simulação é quase sinônimo de simulação computacional digital, na qual um modelo computacional é executado. Robert Shannon (1975) definiu assim este tipo de modelo: “*Um modelo computacional é um programa de computador cujas variáveis apresentam o mesmo comportamento dinâmico e estocástico do sistema real que representa*”.

Considerando a definição acima, Pegden [1991], apresenta uma definição mais completa, abrangendo todo o processo de simulação. Ele cita “*simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação*”. Como se observa, o autor entende a simulação como um processo mais amplo, compreendendo, não somente a construção do modelo, mas, também, todo o método experimental que se segue, buscando, sobremaneira:

1. Descrever o comportamento do sistema;
2. Construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas e,
3. Usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação.

A simulação tem sido, cada vez mais, aceita e empregada como uma técnica que permite a analistas, dos mais diversos seguimentos (administradores, engenheiros, biólogos, técnicos em informática, etc.), verificar ou encaminhar soluções, com a profundidade desejada, aos problemas com os quais lidam diariamente.

Mais do nunca a simulação computacional tem sido empregada. O crescimento do uso desta ferramenta deve-se, sobretudo, à atual facilidade de uso e sofisticação dos ambientes de desenvolvimento de modelos computacionais, aliadas ao crescente poder de processamento das estações de trabalho. Contando com interfaces gráficas cada vez mais amigáveis, destinadas as mais diversas plataformas e, principalmente, fazendo intenso uso da animação dos sistemas que estão sendo simulados, a simulação deixou para trás o estigma de ser utilizada apenas “*quando tudo mais já foi tentado*”.

1.2 Por que Simular?

A simulação de modelos permite ao analista realizar estudos sobre os correspondentes sistemas para responder questões do tipo “*O que aconteceria se?*”. O principal apelo ao uso desta 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. A simulação computacional permite que tais estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada.

A técnica da simulação e seus conceitos básicos são, em geral, facilmente compreensíveis e justificáveis, tanto para usuários quanto para os gerentes que tomam a decisão de aplicá-la em seus projetos. Geralmente, esta aceitação deve-se a fatores, tais como:

- Um estudo simulado admite aos analistas considerarem níveis de detalhes jamais imaginados há pouco tempo atrás, permitindo que diferenças de comportamento, às vezes sutis, venham a ser notadas. As abordagens tradicionais, ao contrário, empregam estudos preliminares estáticos e com tantas simplificações que, muitos projetos depois de implantados, acabam sofrendo inúmeras modificações e adaptações,
- A possibilidade do emprego de animações, permitindo que se visualize o comportamento dos sistemas durante as simulações;
- Um estudo simulado pode economizar tempo e recursos financeiros no desenvolvimento de projetos, trazendo ganhos de produtividade e qualidade. Os custos de tais análises são, em geral, insignificantes se comparados aos seus benefícios;
- A percepção de que o comportamento modelo simulado é muito semelhante ao do sistema real.

Em contraste com os modelos de otimização, um modelo de simulação é executado ao invés de resolvido. As diferenças destas duas abordagens implicam que o modelo simulado permite análises quase que a todo instante, à medida que novas indagações sobre o comportamento do sistema modelado sejam aludidas.

A maioria dos modelos de simulação é do tipo entrada-saída, isto é, são modelos interativos aos quais se fornecem dados de entrada, obtendo-se respostas específicas para estes. Não são, por natureza, modelos de otimização. Não oferecem (a menos de um razoável esforço) a possibilidade de busca de uma solução ótima, servindo, mais apropriadamente, para análises do comportamento do sistema sob condições específicas. Normalmente costuma-se desenvolver e experimentar com modelos de simulação objetivando o encaminhamento de uma solução a um dado problema. As razões mais comuns para experimentar-se com modelos simulados são as seguintes:

- a) *O sistema real ainda não existe.* Neste caso a simulação poderá ser usada para planejar o futuro sistema. Um novo hospital, uma nova fábrica ou um novo ambiente de suporte a negócios na Internet, por exemplo;
- b) *Experimentar com o sistema real é dispendioso.* O modelo poderá indicar, com muito menos custo, quais os benefícios de se investir em um novo equipamento, por exemplo;
- c) *Experimentar com o sistema real não é apropriado.* Um caso típico é o planejamento do atendimento de situações de emergência, um desastre aéreo em

um aeroporto, por exemplo. Toda a logística para o acionamento e atuação de serviços prestados pela polícia, pelos bombeiros, por ambulâncias, pela emergência hospitalar, etc., podem ser modelados e tratados no computador. Não se pode provocar um desastre deste tipo para testar planos de emergência.

As razões para a adoção de modelos parecem claras. No entanto, é a identificação do sistema/problema que leva à definição dos objetivos e do tipo de modelo e estudo de simulação que deve ser desenvolvido.

1.3 Sistemas

Ao longo de toda a seção 1.1, empregou-se, ainda que de forma subjetiva, uma associação existente entre os conceitos de simulação, sistemas e modelos. Simulação é um dos muitos métodos existentes para estudar e analisar sistemas. No caso da simulação computacional, utiliza-se de modelos computacionais para este propósito. Mas afinal, o que são sistemas e quais são aqueles passíveis de modelagem e análises via simulação?

Sistemas podem ser definidos como “*um conjunto de objetos, como pessoas ou máquinas, por exemplo, que atuam e interagem com a intenção de alcançar um objetivo ou um propósito lógico*” [Taylor, 1970].

Inúmeros são os sistemas aptos a modelagem e simulação. Eis alguns exemplos:

Sistemas de produção:

1. Manufatura e montagem;
2. Movimentação de peças e matéria prima;
3. Alocação de mão de obra;
4. Áreas de armazenagem;
5. Layout etc..

Sistemas de transporte e estocagem:

1. Redes de distribuição;
2. Armazéns e entrepostos;
3. Frotas etc..

Sistemas computacionais:

1. Redes de computadores;
2. Redes de comunicação;
3. Servidores de redes;
4. Arquitetura de computadores;
5. Sistemas operacionais;
6. Gerenciadores de bases de dados etc..

Sistemas administrativos

1. Seguradoras;
2. Operadores de crédito;
3. Financeiras;

Sistemas de prestação de serviços diretos ao público:

1. Hospitais;
2. Bancos;
3. Restaurantes industriais e tipo fast food;
4. Serviços de emergência (polícia, bombeiros etc.);
5. Serviços de assistência jurídica etc..

Obviamente que a lista acima não é exaustiva. Muitos são os sistemas ou mesmo processos aptos ao emprego da técnica de simulação como forma de análise. Em geral, os objetivos de um particular estudo definem que objetos devem constituir o sistema.

Por exemplo, imagine que alguém deseje realizar um estudo sobre um supermercado. Se esta pessoa for um supervisor de caixas, possivelmente estará interessado em incluir no “seu” sistema, apenas os objetos do setor de atendimento nos caixas (subsistema) se o objetivo for pesquisar, por exemplo, a taxa de uso destes recursos, as filas que se formam ou qualidade dos serviços (considerando o tempo que um cliente leva para ser atendido). Por outro lado, um gerente de suprimentos, deste mesmo supermercado, poderia estar interessado não nos caixas, mas num estudo do setor (subsistema) correspondente ao recebimento e armazenagem de mercadorias. Neste caso, o conjunto de objetos do sistema sob estudo deveria incluir o pessoal envolvido na recepção, movimentação e armazenagem, os equipamentos utilizados, a disponibilidade de área para estocagem, etc.

1.4 Modelos

No encaminhamento de um estudo de simulação, uma das principais etapas consiste na modelagem do sistema sob estudo, para que se possa observar seu comportamento sob determinadas condições, de forma a, cientificamente, estudá-los e entendê-los. Neste processo, procura-se imitar e criar uma história artificial da atuação e desempenho do sistema real, o que implica na realização de um procedimento experimental (via simulação computacional), posterior à etapa de modelagem.

A modelagem pressupõe um processo de criação e descrição, envolvendo um determinado grau de abstração que, na maioria das vezes, acarreta numa série de simplificações sobre a organização e o funcionamento do sistema real. Usualmente, esta descrição toma a forma de relações matemáticas ou lógicas que, no seu conjunto, constituem o que se denomina de *modelos*.

No processo experimental, o modelo é utilizado como um veículo para a experimentação, muitas vezes em procedimentos tipo tentativa e erro, procurando mostrar

os efeitos das várias políticas operacionais e de gerenciamento. Aquelas que apresentem os melhores resultados podem, então, ser empregadas no sistema real. Algumas vezes, o processo experimental (ver capítulo sete) pode ser bastante sofisticado, envolvendo técnicas da estatística experimental, principalmente quando os diferentes efeitos sobre o comportamento do modelo/sistema são resultantes da combinação dos diferentes políticas (fatores). A Figura 1.1 mostra, de forma esquemática, a idéia do modelo e do processo experimental.

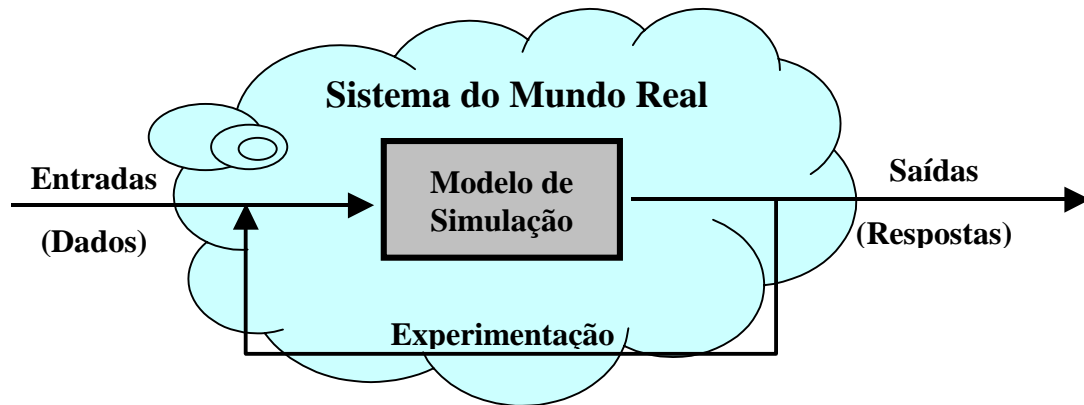


Figura 1.1: Representação esquemática de um modelo de sistema

A modelagem de um sistema dependerá, fundamentalmente, do propósito e da complexidade do sistema sob investigação. São vários os tipos de modelos que podem ser empregados, tais como modelos matemáticos, modelos descritivos, modelos estatísticos e modelos tipo entrada-saída.

A decisão sobre o uso de modelos descritivos, matemáticos, estatísticos, etc., ao invés de modelos voltados para a simulação do sistema, depende de diversos fatores. Se o sistema no qual tem-se interesse for simples, isto é, se as inter-relações entre seus elementos podem ser bem descritas e estruturadas, o uso do cálculo, da álgebra ou da teoria das filas, por exemplo, pode trazer resultados e respostas aceitáveis e, muitas vezes exatas, aos problemas que se apresentem, sendo este encaminhamento, sem dúvida, a melhor opção.

No entanto, os sistemas do mundo real costumam ser mais complexos do que o desejado e, acima de tudo, não apresentam um comportamento previsível. Simplificações sobre estes sistemas objetivando estudos analíticos podem levar a soluções pobres e, até mesmo, pouco confiáveis. Neste momento, a adoção de um modelo voltado à simulação do sistema pode ser a decisão mais correta. Os modelos que estarão sendo tratados neste livro são voltados a simulação discreta de sistemas ou, como alguns se referem, simulação discreta de processos.

1.4.1 Classificação de Modelos de Simulação

Os tipos de modelos descritos a seguir possuem características próprias e devem ser empregados de acordo com o tipo de processo decisório envolvido. Pode-se classificar os modelos de simulação de acordo com os seguintes propósitos:

Modelos Voltados à Previsão

A simulação pode ser usada para prever o estado de um sistema em algum ponto no futuro, baseado nas suposições sobre seu comportamento atual e de como continuará se comportando ao longo do tempo.

Modelos Voltados à Investigação

Alguns tipos de estudos baseados em simulação estão voltados à busca de informações e ao desenvolvimento de hipóteses sobre o comportamento de sistemas. Como visto anteriormente, nem sempre é verdade que os objetivos dos estudos estejam claros e bem definidos ao início dos estudos. Neste caso, as variáveis de resposta servem, muito mais, para construir e organizar as informações sobre a natureza do fenômeno ou sistema sob estudo. Os experimentos recaem sobre as reações do sistema (modelo) a estímulos normais e anormais.

Modelos Voltados à Comparação

Uma comparação de diferentes rodadas de simulação pode ser usada para avaliar o efeito de mudanças nas variáveis de controle. Os efeitos podem ser medidos sobre as variáveis de resposta e relacionados aos objetivos traçados, se estes forem bem específicos.

Dentro da classificação dos modelos com vistas ao propósito de sua aplicação, esses podem ser subdivididos em modelos únicos e específicos (de curta utilização) ou modelos genéricos (de longa utilização).

Modelos Específicos

Uma vez que mais e mais facilidades voltadas à modelagem vêm sendo incorporadas aos ambientes e linguagens de simulação, é comum que analistas e responsáveis pela tomada de decisão nos diversos níveis gerenciais, venham fazendo uso de modelos, mesmo considerando situações específicas e únicas ou o baixo volume de recursos financeiros envolvidos nas decisões.

Até o início dos anos 90, o desenvolvimento e o uso de modelos, visando à obtenção de informações quantitativas auxiliares à tomada de decisão, era exclusivo de processos que envolvessem pelo menos algumas centenas de milhares de dólares. No entanto em algumas áreas, tais como serviços e manufatura, o crescimento de seu emprego é notável, como pode ser atestado pelo grande número de trabalhos técnicos nas diversas subseções

presentes nos grandes congressos e simpósios de simulação. Eis algumas das decisões nas quais modelos de simulação específicos podem ser úteis:

- a) Quando e qual tipo de equipamento novo deve ser comprado;
- b) Quando e como reorganizar os recursos voltados ao atendimento de clientes. Filas de atendimento em bancos, hospitais, supermercados, etc.;
- c) Decidir sobre a alocação de determinado tipo de equipamento servindo uma ou outra linha de produção;
- d) Decidir sobre qual o poder de processamento necessário a um servidor de rede de comunicação de acordo com diferentes tipos de cargas ao sistema;

Em geral, o tomador de decisão atribui grande interesse aos modelos e seus resultados. A possibilidade de utilizá-los é quase sempre bem vinda e depende, quase que exclusivamente, de que tal atitude seja factível, isto é, desejam um envolvimento com quem os está desenvolvendo (se diferentes pessoas decidem e constroem modelos na organização) e, sobretudo, desejam modelos que apresentem credibilidade. Os dados envolvidos com modelos específicos devem ser confiáveis. Na maioria das vezes serão coletados para serem utilizados uma única vez.

Modelos Genéricos

Em algumas organizações existe a necessidade de se desenvolver modelos os quais são usados periodicamente por longos períodos. Eis alguns exemplos:

- a) Decisões sobre aplicações orçamentárias, baseadas em desempenho e projeções simuladas do futuro;
- b) Gerenciamento do tráfego sobre uma área em particular. Com o aumento da densidade populacional na área, existe a necessidade de novos estudos sobre a implantação de novos semáforos, planejamento de trabalhos sobre a rodovia, planejamento de tráfego, etc.;

Modelos com características genéricas necessitam ser flexíveis e robustos a mudanças nos dados de entrada, mudanças em certas atividades e processos por eles contemplados. Mudanças nas políticas internas e externas das empresas que os utilizam também devem ser considerados. Existe aqui, obviamente, uma clara necessidade por dados recentes e confiáveis. Em geral este tipo de modelo é parte de um conjunto de outros sistemas voltados a aquisição de dados e a atividades de provisão de informações conhecidos como *Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)*.

1.5 Vantagens e Desvantagens da Simulação

Apesar da simulação ser uma excelente ferramenta de análise, é preciso conhecer com um pouco mais de profundidade tanto as suas vantagens, quanto a suas desvantagens. As duas listas abaixo, baseadas nos textos de Pegden [1991] e por Banks [1984], apontam

algumas delas. Inicia-se com alguns de seus benefícios e, posteriormente com algumas de suas desvantagens.

1. Uma vez criado, um modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
2. A metodologia de análise utilizada pela simulação permite a avaliação de um sistema proposto, mesmo que os dados de entrada estejam, ainda, na forma de “esquemas” ou rascunhos.
3. A simulação é, geralmente, mais fácil de aplicar do que métodos analíticos.
4. Enquanto que modelos analíticos requerem um número muito grande de simplificações para torná-los matematicamente tratáveis, os modelos de simulação não apresentam tais restrições. Além disso, nos modelos analíticos, as análises recaem apenas sobre um número limitado de medidas de desempenho. De maneira contrária, as informações geradas pelos modelos de simulação, permitem a análise de, praticamente, qualquer medida concebível.
5. Uma vez que os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação etc., podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado.
6. Hipóteses sobre como ou por que certos fenômenos acontecem podem ser testadas para confirmação;
7. O tempo pode ser controlado. Pode ser comprimido ou expandido. Permitindo reproduzir os fenômenos de maneira lenta ou acelerada, para que se possa melhor estudá-los;
8. Pode-se compreender melhor quais variáveis são as mais importantes em relação a performance e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos do sistema;
9. A identificação de “gargalos”, preocupação maior no gerenciamento operacional de inúmeros sistemas, tais como fluxos de materiais, de informações e de produtos, pode ser obtida de forma facilitada, principalmente com a ajuda visual;
10. Um estudo de simulação costuma mostrar como realmente um sistema opera, em oposição à maneira com que todos pensam que ele opera;
11. Novas situações sobre as quais se tenha pouco conhecimento e experiência, podem ser tratadas, de tal forma que se possa ter, teoricamente, alguma preparação diante de futuros eventos. A simulação é uma ferramenta especial para explorar questões do tipo: *o que aconteceria se?*

Embora as inúmeras vantagens, o processo de simular apresenta algumas dificuldades, como as que são listadas abaixo:

1. A construção de modelos requer treinamento especial. Envolve arte e, portanto, o aprendizado se dá ao longo do tempo, com a aquisição de experiência. Dois modelos de um sistema construídos por dois indivíduos competentes terão similaridades mas dificilmente serão iguais.
2. Os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação. Uma vez que os modelos tentam capturar a variabilidade do sistema, é comum que existam

dificuldades em determinar quando uma observação realizada durante uma execução se deve a alguma relação significativa no sistema ou a processos aleatórios construídos e embutidos no modelo.

3. A modelagem e a experimentação associadas a modelos de simulação consomem muitos recursos, principalmente tempo. A tentativa de simplificação na modelagem ou nos experimentos objetivando economia de recursos costuma levar a resultados insatisfatórios. Em muitos casos a aplicação de métodos analíticos (como a teoria das filas, por exemplo) pode trazer resultados menos ricos e mais econômicos.

1.6 Passos na Formulação de um Estudo Envolvendo Modelagem e Simulação

A lista que se apresenta na Figura 1.2 é clássica, isto é, quase todos os livros e trabalhos gerais sobre como proceder para solucionar um problema usando do processo de modelagem e simulação do sistema costuma apresentar o tema da forma que segue.

As principais fontes sobre o assunto são os textos clássicos de Banks (1984), Law e Kelton (1991), Pegden (1990) e Kelton e Sadowski (1997). Cada um dos pontos mostrado na Figura 1.2 é descrito a seguir:

- 1) *Formulação e Análise do Problema*: Todo estudo de simulação inicia com a formulação do problema. Os propósitos e objetivos do estudo devem ser claramente definidos. Devem ser respondidas questões do tipo:
 - a) Por que o problema está sendo estudado?
 - b) Quais serão as respostas que o estudo espera alcançar?
 - c) Quais são os critérios para avaliação da performance do sistema?
 - d) Quais são as hipóteses e prerrogativas?
 - e) Que restrições e limites são esperados das soluções obtidas?
- 2) *Planejamento do Projeto*: Com o planejamento do projeto pretende-se ter a certeza de que se possuem recursos suficientes no que diz respeito a pessoal, suporte, gerência, hardware e software para realização do trabalho proposto. Além disso, o planejamento deve incluir uma descrição dos vários cenários que serão investigados e um cronograma temporal das atividades que serão desenvolvidas, indicando os custos e necessidades relativas aos recursos anteriormente citados.
- 3) *Formulação do Modelo Conceitual*. Traçar um esboço do sistema, de forma gráfica (fluxograma, por exemplo) ou algorítmica (pseudocódigo), definindo componentes, descrevendo as variáveis e interações lógicas que constituem o sistema. É recomendado que o modelo inicie de forma simplificada e vá crescendo até alcançar algo mais complexo, contemplando todas as suas peculiaridades e características. O usuário deve participar intensamente desta etapa. Algumas das questões que devem ser respondidas:

- a) Qual a estratégia de modelagem? Discreta? Contínua? Uma combinação?
- b) Que quantidade de detalhes deve ser incorporada ao modelo?
- c) Como o modelo reportará os resultados? Relatórios pós-simulação? Animações durante a execução?
- d) Que nível de personalização de cenários e ícones de entidades e recursos deve ser implementado?
- e) Que nível de agregação dos processos (ou de alguns) deve ser implementado?
- f) Como os dados serão colocados no modelo? Manualmente? Leitura de arquivos?

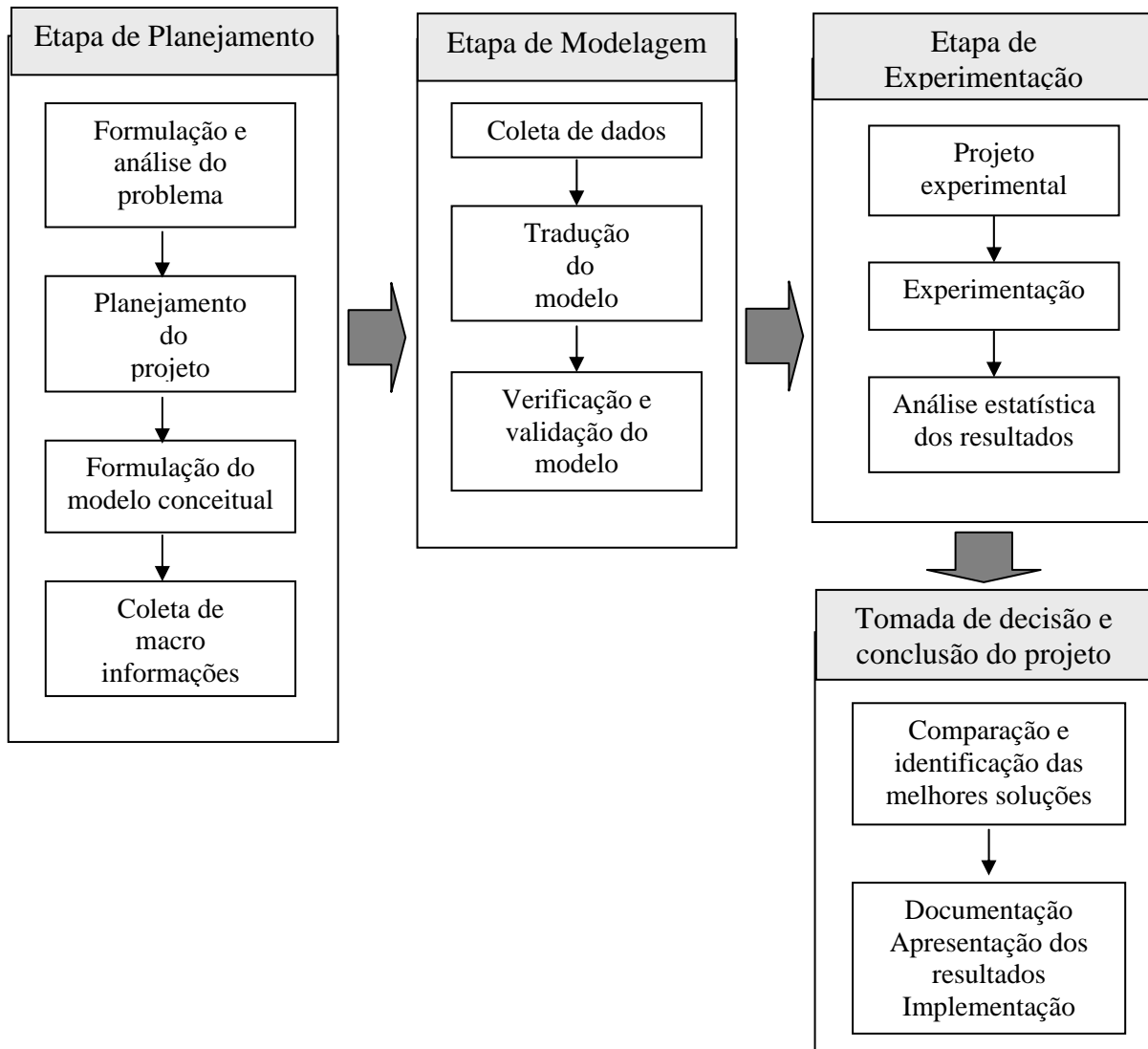


Figura 1.2: Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação

- 4) *Coleta de Macro-Informações e Dados:* Macro-informações são fatos, informações e estatísticas fundamentais, derivados de observações, experiências pessoais ou de arquivos históricos. Em geral, macro-informações servem para conduzir os futuros

esforços de coleta de dados voltados a alimentação de parâmetros do sistema modelado. Algumas questões que se apresentam são:

- a) Quais são as relações e regras que conduzem a dinâmica do sistema? O uso de diagramas de fluxos é comum para facilitar a compreensão destas inter-relações.
 - b) Quais são as fontes dos dados necessários a alimentação do modelo?
 - c) Os dados já se encontram na forma desejada? O mais comum é os dados disponíveis encontrarem-se de maneira agregada (na forma de médias, por exemplo), o que não é interessante para a simulação.
 - d) E quanto aos dados relativos a custos e finanças? Incorporar elementos de custos em um projeto torna sua utilização muito mais efetiva. Custos de espera, custos de utilização, custos de transporte etc., quando empregados, tornam os modelos mais envolventes e com maior credibilidade e valor.
- 5) *Tradução do Modelo.* Codificar o modelo numa linguagem de simulação apropriada. Embora hoje os esforços de condução desta etapa tenham sido minimizados em função dos avanços em hardware e, principalmente, nos softwares de simulação, algumas questões básicas devem ser propriamente formuladas e respondidas:
- a) Quem fará a tradução do modelo conceitual para a linguagem de simulação? É fundamental a participação do usuário se este não for o responsável direto pelo código.
 - b) Como será realizada a comunicação entre os responsáveis pela programação e a gerência do projeto?
 - c) E a documentação? Os nomes de variáveis e atributos estão claramente documentados? Outros, que não o programador responsável, podem entender o programa?
- 6) *Verificação e Validação.* Confirmar que o modelo opera de acordo com a intenção do analista (sem erros de sintaxe e lógica) e que os resultados por ele fornecidos possuam crédito e sejam representativos dos resultados do modelo real. Nesta etapa as principais questões são:
- a) O modelo gera informações que satisfazem os objetivos do estudo?
 - b) As informações geradas são confiáveis?
 - c) A aplicação de testes de consistência e outros confirma que o modelo está isento de erros de programação?
- 7) *Projeto Experimental Final.* Projetar um conjunto de experimentos que produza a informação desejada, determinando como cada um dos testes deva ser realizado. O principal objetivo é obter mais informações com menos experimentações. As principais questões são:
- a) Quais os principais fatores associados aos experimentos?
 - b) Em que níveis devem ser os fatores variados de forma que se possa melhor avaliar os critérios de desempenho?
 - c) Qual o projeto experimental mais adequado ao quadro de respostas desejadas?

- 8) *Experimentação*. Executar as simulações para a geração dos dados desejados e para a realização das análises de sensibilidade.

- 9) *Interpretação e Análise Estatística dos Resultados*. Traçar inferências sobre os resultados alcançados pela simulação. Estimativas para as medidas de desempenho nos cenários planejados são efetuadas. As análises poderão resultar na necessidade de um maior número de execuções (replicações) do modelo para que se possa alcançar a precisão estatística sobre os resultados desejados. Algumas questões que devem ser apropriadamente respondidas:
 - a) O sistema modelado é do tipo terminal ou não-terminal?
 - b) Quantas replicações são necessárias?
 - c) Qual deve ser o período simulado para que se possa alcançar o estado de regime?
 - d) E o período de warm-up?

- 10) *Comparação de Sistemas e Identificação das melhores soluções*. Muitas vezes o emprego da técnica de simulação visa a identificação de diferenças existentes entre diversas alternativas de sistemas. Em algumas situações, o objetivo é comparar um sistema existente ou considerado como padrão, com propostas alternativas. Em outras, a idéia é a comparação de todas as propostas entre si com o propósito de identificar a melhor ou mais adequada delas. As questões próprias deste tipo de problema são?
 - a) Como realizar este tipo de análise?
 - b) Como proceder para comparar alternativas com um padrão?
 - c) Como proceder para comparar todas as alternativas entre si?
 - d) Como identificar a melhor alternativa de um conjunto?
 - e) Como garantir estatisticamente os resultados?

- 11) *Documentação*. A documentação do modelo é sempre necessária. Primeiro para servir como um guia para que alguém, familiarizado ou não com o modelo e os experimentos realizados, possa fazer uso do mesmo e dos resultados já produzidos. Segundo, porque se forem necessárias futuras modificações no modelo, toda a documentação existente vem a facilitar e muito os novos trabalhos. A implementação bem sucedida de um modelo depende, fundamentalmente, de que o analista, com a maior participação possível do usuário, tenha seguido os passos que, sumariamente, aqui foram relatados. Os resultados das análises devem ser reportados de forma clara e consistente, também como parte integrante da documentação do sistema. Como linhas gerais pode-se dizer que os seguintes elementos devem constar de uma documentação final de um projeto de simulação:
 - a) Descrição dos objetivos e hipóteses levantadas;
 - b) Conjunto de parâmetros de entrada utilizados (incluindo a descrição das técnicas adotadas para adequação de curvas de variáveis aleatórias);
 - c) Descrição das técnicas e métodos empregados na verificação e na validação do modelo;

- d) Descrição do projeto de experimentos e do modelo fatorial de experimentação adotado;
- e) Resultados obtidos e descrição dos métodos de análise adotados;
- f) Conclusões e recomendações. Nesta última etapa é fundamental tentar descrever os ganhos obtidos na forma monetária.

12) *Apresentação dos Resultados e Implementação.* A apresentação dos resultados do estudo de simulação deve ser realizada por toda a equipe participante. Os resultados do projeto devem refletir os esforços coletivos e individuais realizados, considerando os seus diversos aspectos, isto é, levantamento do problema, coleta de dados, construção do modelo etc. Durante todo o desenvolvimento e implementação do projeto, o processo de comunicação, entre a equipe e os usuários finais, deve ser total e, portanto, durante a apresentação final não devem ocorrer surpresas de última hora. Os itens abaixo devem estar presentes como forma de encaminhamento das questões técnicas, operacionais e financeiras no que diz respeito aos objetivos da organização:

- a) Restabelecimento e confirmação dos objetivos do projeto;
- b) Quais problemas foram resolvidos;
- c) Rápida revisão da metodologia;
- d) Benefícios alcançados com a(s) solução (ões) proposta(s);
- e) Considerações sobre o alcance e precisão dos resultados;
- f) Alternativas rejeitadas e seus motivos;
- g) Animações das alternativas propostas quando cabíveis;
- h) Estabelecimento de conexões entre o processo e os resultados alcançados com o modelo simulado e outros processos de reengenharia ou de reformulação existentes no negócio;
- i) Assegurar que os responsáveis pelo estabelecimento de mudanças organizacionais ou processuais tenham compreendido a abordagem utilizada e seus benefícios;
- j) Tentar demonstrar que a simulação é uma espécie de ponte entre a idéia e sua implementação

1.7 Erros mais Comuns na Abordagem via Simulação

O uso de uma ferramenta como a simulação de sistemas para o encaminhamento de soluções de problemas, pode implicar numa série de erros. Estes costumam ser cometidos por aqueles que, no desejo de obterem soluções rápidas, acabam por deixar de lado alguns cuidados fundamentais na sua aplicação. A pequena lista a seguir, procura citar alguns dos erros mais comuns cometidos por aqueles que desejam seguir este caminho.

1. *Pouco conhecimento ou pouca afinidade com ferramenta utilizada:*

Uma ferramenta é um dispositivo ou instrumento que é utilizado para realizar, assistir ou simplificar uma tarefa. Os benefícios obtidos com o uso de uma ferramenta, são diretamente relacionados com o grau de conhecimento sobre a operação e correto emprego

da mesma. Operar incorretamente uma ferramenta pode levar a resultados menos úteis que os esperados e, pior, a resultados prejudiciais à tomada de decisão.

A simulação não é uma técnica complicada de ser usada. Ao contrário, dentre os métodos matemáticos voltados à solução de problemas ela é, com toda a certeza, a mais intuitiva e de fácil aprendizado e aplicação. Treinamento na ferramenta computacional empregada, correta aplicação da metodologia, principalmente nas etapas preliminares a modelagem computacional e no correto emprego de técnicas estatísticas associadas a experimentação e interpretação dos resultados, conduzirão a resultados plenamente satisfatórios.

2. Objetivos com pouca clareza ou definição:

O sucesso de um projeto de simulação já foi definido como sendo uma questão de foco. Objetivos muito vagos ou amplos não conduzem a uma definição apropriada do problema a ser resolvido. Objetivos vagos conduzem a resultados vagos. É comum que usuários de ferramentas de simulação modelem sistemas com o propósito de implementar soluções quando o propósito deve ser a implementação para solucionar problemas.

A ferramenta é muitas vezes rejeitada ou desacreditada quando o modelo tem por objetivo comprovar soluções preconcebidas e os resultados não apresentam as respostas desejadas. Neste caso, a culpa costuma ser atribuída a ferramenta. Como se vê, mesmo nesta situação de rejeição, a simulação comprova, talvez, sua maior utilidade e aplicação: evitar custos desnecessários associados à implementação de soluções inadequadas.

3. Construção de modelos muito detalhados

Com as enormes facilidades de modelagem, associadas aos atuais ambientes para a modelagem e simulação de sistemas, um erro comum é a desnecessária inclusão de inúmeros detalhes. Alguns novos usuários procuram a criar modelos que são espelhos dos sistemas reais. Muito raramente tal nível de detalhamento será necessário. Em geral, o nível de detalhes dos elementos que devem ser incluídos no modelo deve refletir as necessidades expressas nos objetivos do projeto. Inúmeros detalhes levam a modelos: de alto custo, com grande consumo de tempo de desenvolvimento, sujeito a uma lenta execução computacional, com menos precisão e com grande dificuldade de verificação. Um maior nível de detalhes não implica, necessariamente em maior precisão. O nível de detalhes deve ser apenas suficiente para satisfazer os objetivos traçados.

4. Realização de conclusões com base em uma única replicação:

Nunca se deve esquecer, que os resultados de uma simulação de um modelo que imita o comportamento de um sistema estocástico é também estocástico. Realizar conclusões sobre os resultados de uma única rodada de simulação pode, em determinadas circunstâncias, equivaler a lançar um dado, obter como resultado o número seis e concluir que sempre que se repetir este experimento, o resultado será o número seis.

A simulação de modelos estocásticos apresenta a cada execução, um dentre inúmeros possíveis resultados. A correta condução destas execuções passa por todo um procedimento e tratamento estatístico obrigatório neste tipo de abordagem. Os conceitos não são difíceis de serem compreendidos e em alguns casos, os ambientes computacionais voltados a simulação de sistemas, já apresentam as ferramentas estatísticas necessárias à correta abordagem.

Sumário

Neste primeiro capítulo foram inicialmente apresentadas algumas definições sobre o que vem a ser a modelagem e a simulação computacional de sistemas. Na sequência tratou-se dos principais motivos que levam um analista a optar por esta abordagem para o encaminhamento de soluções a determinados problemas. Foram revistos alguns conceitos sobre sistemas e modelos, quando observados sob o ponto de vista de um especialista em simulação. Discutiram-se também, as vantagens e as desvantagens do uso desta técnica. Para finalizar o capítulo, apresentou-se uma sequência de passos que devem ser percorridos em estudos envolvendo simulação e os erros mais comuns cometidos quando de seu emprego.

Antes de iniciar estudos envolvendo uma linguagem específica para a modelagem e simulação de sistemas (assunto do capítulo três), faz-se, no próximo capítulo, uma revisão dos inúmeros conceitos e técnicas envolvidos nestes programas computacionais com o intuito de familiarizar o leitor com o tema.