



Introdução à Simulação

O que é simulação?

- Wikipedia:
 - “Simulação é a imitação de alguma coisa real ou processo.”
 - “O ato de simular algo geralmente consiste em representar certas características e/ou comportamentos **cruciais** de um sistema físico ou abstrato.”
- Simulação: utilizar o computador para imitar o comportamento de um sistema (entidades e processos do mundo real)

Alguma áreas com ampla utilização de simulação

- Projeto e análise de sistema de manufatura
- Avaliação de requisitos não funcionais de hardware e software
- Avaliação de novas armas e táticas militares
- Reposição de estoque
- Projeto e operação de sistemas de transporte
- Avaliação de serviços (hospitais, correios, restaurantes fast-food)
- Análise de sistemas financeiros e econômicos

Por que contruir um simulador?

- Permite testar várias alternativas a um custo **geralmente** mais baixo que no mundo real
- Melhor entendimento do problema

Por que estudar simulação?

- Embora seja um conceito simples, frequentemente os projetos de simulação falham: resultados sem utilidade ou enganosos
- Principal motivo [Jain]: equipe
 - Bons desenvolvedores sem base estatística
 - Bons estatísticos sem conhecimento de engenharia de software

Erros mais comuns em simulação

- Nível inapropriado de detalhes
 - Simulação permite a inclusão de mais detalhes que modelagem analítica
 - Porém, a inclusão de detalhes aumenta a chance de bugs e o tempo de construção e execução do simulador
 - Um modelo mais detalhado tem menos suposições, mas não necessariamente é melhor
 - Pode necessitar de mais parâmetros de entrada (se não for bem conhecido, piora o resultado)
 - Melhor começar com poucos detalhes, obter resultados, estudar sensibilidades, e introduzir detalhes nas áreas com maior impacto

Erros mais comuns em simulação

- Escolha da linguagem de programação
 - Impacto significativo no tempo de desenvolvimento
 - Linguagens próprias para simulação exigem menos tempo de desenvolvimento e facilitam tarefas de verificação e análise estatística
 - Porém, linguagens de uso geral são mais portáteis, fornecem mais controle de eficiência, e são mais flexíveis

Erros mais comuns em simulação

- Modelos não verificados
 - Simuladores são geralmente programas grandes, portanto cuidados com bugs devem ser tomados
- Modelos não validados
 - De nada adianta implementação correta se o modelo faz suposições incorretas
 - Todo resultado de simulação é suspeito até que seja confirmado por modelos analíticos, medições ou intuição

Erros mais comuns em simulação

- Manipulação inadequada de condições iniciais
 - O início de uma simulação geralmente não representa o comportamento estável de um sistema, portanto esta parte inicial deve ser descartada
- Execuções muito curtas
 - Para economizar tempo, o analista pode encerrar a simulação precocemente
 - O tempo ideal depende da precisão desejada (largura do intervalo de confiança)

Erros mais comuns em simulação

- Gerador de números aleatórios ruim
 - Melhor utilizar geradores difundidos, por terem sido amplamente testados
 - Porém, mesmo geradores amplamente utilizados podem ser ruins!!
 - Se vai começar a utilizar um gerador, faça testes!
- Seleção ruim de sementes para os geradores
 - Escolha ruim pode inserir correlações nas execuções do simulador (sequências sobrepostas)

Terminologia

- “Um **sistema** é uma coleção de **entidades** (pessoas, máquinas) que interagem para a realização de um objetivo.” Schmidh e Taylor
- Na prática, apenas as entidades que impactam na questão de interesse são consideradas
- O **estado** de um sistema é o conjunto de variáveis necessárias para descrevê-lo em um dado instante

Exemplo

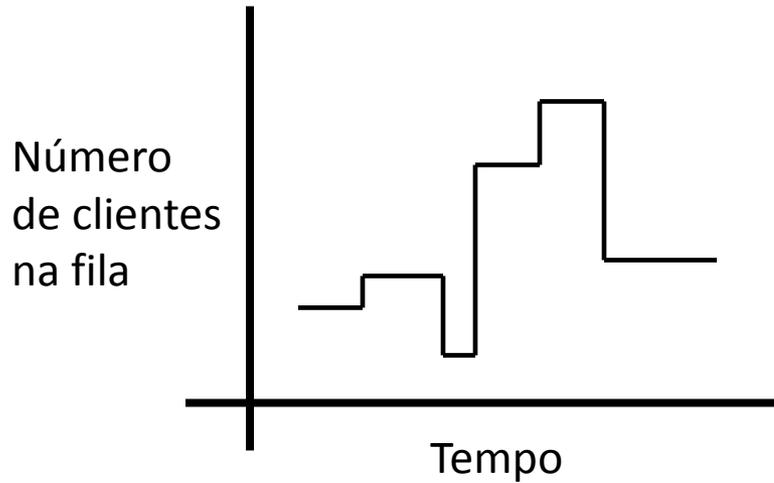
- Qual o número de caixas de modo que o atendimento do banco seja satisfatório?
- Entidades: caixas e clientes na fila dos caixas
 - Excluir outros funcionários, máquinas e clientes
 - O estado das máquinas é relevante???
- Estados: número de atendentes, número de clientes no banco (fila + em atendimento), instante de chegada de cada cliente

Tipos de sistemas

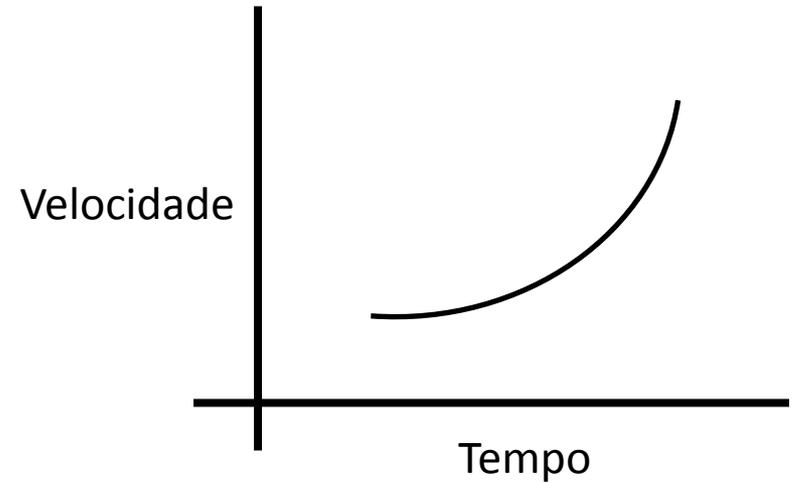
- Discreto: variáveis de estado modificam-se instantaneamente em pontos separados no tempo
 - Ex.: número de clientes no banco
- Contínuo: variáveis de estado modificam-se continuamente no tempo
 - Ex.: posição e velocidade de um avião
- Na prática poucos sistemas são puramente discretos ou contínuos, mas um dos tipos predomina

Tipos de sistemas

Discreto



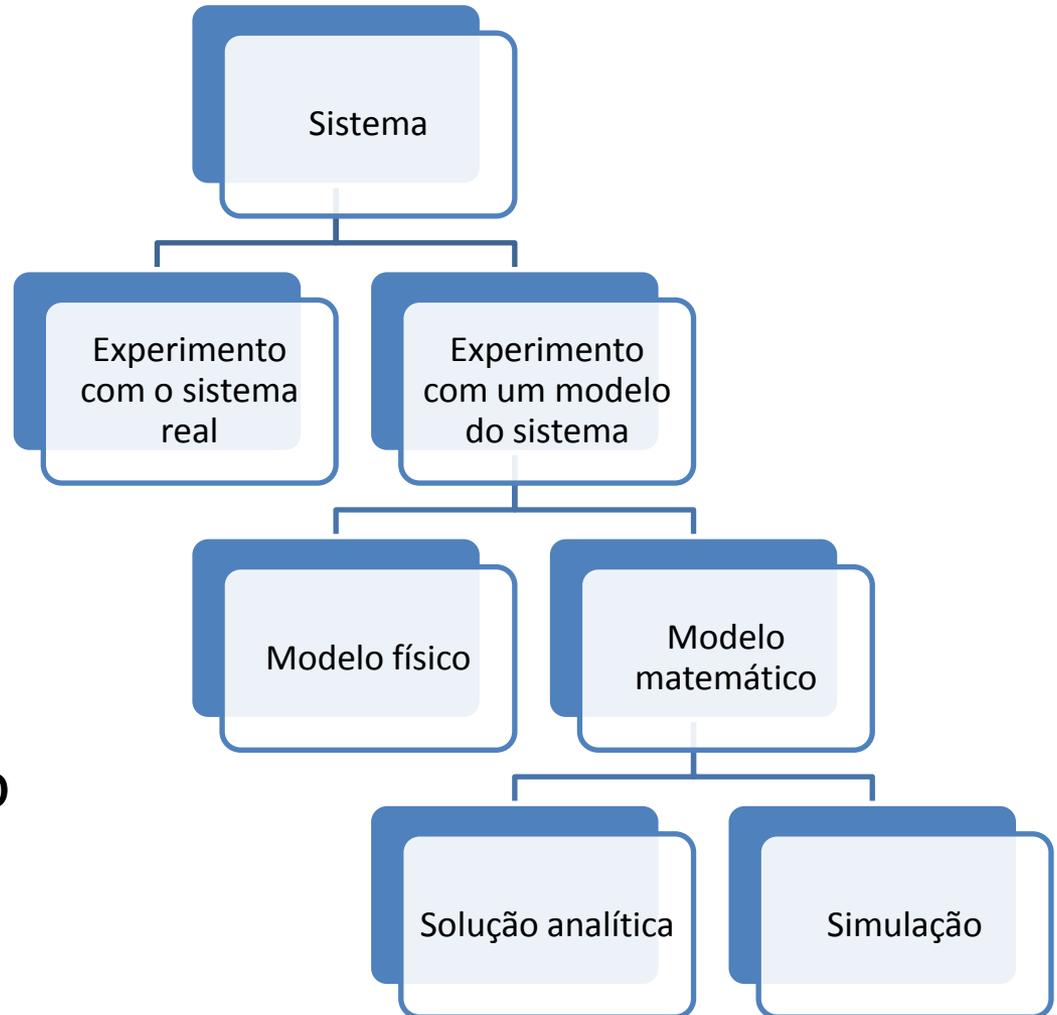
Contínuo



Maneiras de estudar um sistema

Para a maioria dos sistemas, em algum momento vamos precisar estudá-lo para determinar:

- relação entre componentes
- previsão de desempenho quando submetido a novas condições



Sistema real x Modelo do sistema

- Um modelo sempre provoca questionamentos sobre sua validade
- Se for possível (e financeiramente viável), é preferível realizar experimentos diretamente com o sistema real: confiança no resultado
- Raramente é viável utilizar o sistema real:
 - Muito caro ou prejudicial ao sistema existente
 - O sistema pode ainda nem existir

Modelos físicos x Modelos matemáticos

- Modelo físico é a construção simplificada do que é o sistema real
 - Ex.: maquete, protótipo, aero-modelo
- Os modelos matemáticos são mais amplamente utilizados em engenharia e nos processos de tomada de decisão

Solução analítica x Simulação

- Se o modelo matemático é suficientemente simples, podemos utilizar algum método (álgebra, probabilidade, cálculo) para obter informações **exatas** sobre as questões de interesse (**solução analítica**)
 - Em alguns casos uma solução analítica existe, mas é computacionalmente cara de obter. Ex.: calcular a inversa de uma matriz grande não esparsa
 - Neste caso, é necessário utilizar simulação
 - Se a solução analítica pode ser obtida de forma eficiente, ela é preferível a simulação (por ser exata)

Solução analítica x Simulação

- Porém, a maioria dos sistemas no mundo real são complexos demais para uma avaliação analítica, exigindo necessariamente simulação
 - A **simulação** avalia **numericamente** um modelo, e dados são coletados para **estimar** o valor real de uma dada característica de interesse

Classificação dos modelos de simulação

- Estáticos x Dinâmicos: se o tempo é ou não uma variável. Ex.: $F=m.a$ (estático), banco (dinâmico)
- Determinísticos x Estocásticos: modelo contém ou não variáveis aleatórias
 - Ex. determinístico: um sistema de equações diferenciais (analiticamente intratável)
- Contínuos x Discretos: variáveis contínuas ou discretas

Classificação dos modelos de simulação

- Modelos estáticos/determinísticos são casos particulares de modelos dinâmicos/estocásticos
- Este curso trata de modelos de simulação discretos, dinâmicos e estocásticos (**simulação de evento discreto**)

Tipos de simulação:

Simulação Monte Carlo

- Modelos estáticos que requerem o uso de números aleatórios
- Serve para modelos determinísticos e estocásticos
- Utilizada para o cálculo aproximado de expressões sem solução analítica

- Ex.: $I = \int_0^2 e^{-x^2} dx,$ $y = 2e^{-x^2}$

– X v.a. uniforme entre 0 e 2, logo tem densidade

$$f(x) = 1/2, 0 \leq x \leq 2$$

$$E[y] = \int_0^2 2e^{-x^2} (1/2) dx = I$$

Tipos de simulação:

Simulação baseada em trace

- Um trace é um registro ordenado no tempo dos eventos ocorridos em um sistema real
- A simulação baseada em trace utiliza este registro durante a simulação, ao invés de sortear estes eventos
- Podemos então avaliar como o modelo teria se comportado diante desta sequência de eventos

Tipos de simulação:

Simulação baseada em trace

- Vantagens:
 - Credibilidade
 - Facilita validação: além dos eventos, algumas medidas podem ser coletadas
 - Menos aleatoriedade: menos repetições são necessárias para atingir precisão desejada
 - Comparação justa: todas as alternativas testadas com a mesma sequência de eventos

Tipos de simulação:

Simulação baseada em trace

- Desvantagens:
 - Representatividade: apenas uma possível sequência de eventos
 - Geralmente um trace é uma sequência longa: exige muito armazenamento e acesso à memória secundária durante execução (mais lento)
 - Ex.: log de um servidor web

Tipos de simulação:

Simulação de evento discreto

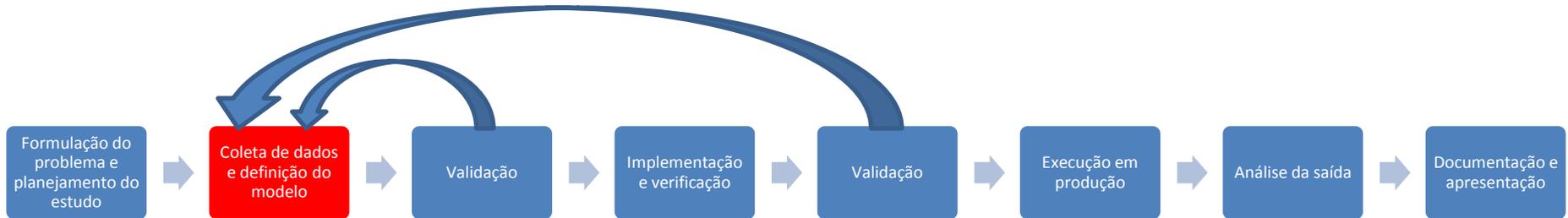
- As variáveis de estado modificam-se apenas pela ocorrência de **eventos**
- Os eventos ocorrem instantaneamente em pontos separados no tempo
- Portanto, as variáveis de estado são discretas
- Alguns eventos podem não provocar modificações nas variáveis
 - Ex.: evento que escalona o fim da simulação

Etapas



- **Formulação do problema e planejamento do estudo**
 - Declaração clara dos objetivos e questões a responder
 - Ex.: qual o número mínimo de caixas de modo que a chance do cliente esperar mais de 15min é inferior a 20%?
 - Delinear as configurações alternativas , e como avaliar a eficácia de cada alternativa
 - Ex.: número de caixas, tempo média de espera na fila.
 - Planejamento: pessoas, custo e tempo de cada etapa

Etapas



- Coleta de dados e definição do modelo
 - Se o sistema existir, coletar dados e ajustar distribuições
 - Ex.: distr. do tempo entre chegadas e do tempo de atendimento
 - Se possível, coletar dados sobre a performance (validação)
 - Ex.: tempo dos clientes na fila
 - Construção do modelo (suposições): uma arte
 - Comece com poucos detalhes, sofisticue depois se necessário
 - Capture a essência do sistema, tendo o problema em mente

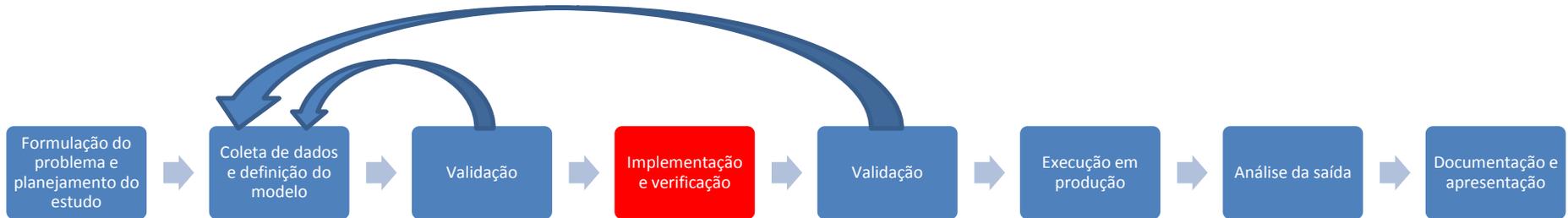
Etapas



- **Validação**

- Deve ocorrer durante todo o processo (porém crítico aqui)
- Discuta o modelo com pessoas familiarizadas com a operação do sistema
- Envolver a pessoa que tomará a decisão: credibilidade
- Faça testes estatísticos de ajuste das distribuições

Etapas



- Implementação e verificação
 - Decidir qual linguagem utilizar: geral ou de simulação
 - Caso utilize um novo gerador de números aleatórios, realize testes

Etapas



- **Validação**

- Realize uma execução piloto do simulador
- Compare resultados com o sistema (se existir)
- Verifique a reação da saída para pequenas mudanças nas entradas
 - Caso seja muito sensível a alguma, faça uma estimativa melhor

Etapas



- Execução em produção
 - Planeje a execução
 - Alternativas
 - Critérios para as condições iniciais e duração da simulação
 - Número de replicações

Etapas



- Análise da saída
 - Construa intervalos de confiança para as medidas de performance de cada alternativa
 - Decida qual a melhor alternativa

Etapas



- Documentação e apresentação
 - Frequentemente simuladores são utilizados para mais de um propósito
 - Portanto, documente as suposições e o programa
 - Se seu trabalho for bem feito (convicente), seu modelo poderá tomar forma no mundo real...