

## 2 - COMO FUNCIONA A SIMULAÇÃO (1)

Referencia principal:

**Freitas, P. J. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas, 2ª  
Ed., Visual Books, 2008, Cap. 2.**

# Tópicos

---

- Introdução
- Terminologia Básica Utilizada em Modelagem e Simulação de Sistemas
- Um Exemplo Simples

# Introdução

---

- A idéia central deste capítulo é fornecer aos usuários da simulação a **compreensão** e o **conhecimento** mínimo necessário ao bom emprego desta técnica.
- Os tópicos aqui abordados, envolvem alguns conceitos que facilitam a execução de **uma das tarefas mais penosas** atribuídas aos usuários de programas de simulação: **educar e fazer compreender a outras pessoas a metodologia e os benefícios advindos do uso desta técnica** (Gogg e Mott, 1996).

# Introdução

---

- Um modelo computacional (**programa de computador**) para a simulação de um sistema executa, **seqüencialmente** e de maneira repetitiva, **um conjunto de instruções**.
- Na medida da execução das instruções, os **valores** que determinadas variáveis podem assumir são **alterados**, uma vez que se modificam as **condições** que influenciam o **comportamento** do modelo.
- As variáveis **mudam na medida em que o tempo simulado progride**. Além disso, como se tratam (na maioria das vezes) de sistemas **estocásticos**, tais variáveis não tem seus valores antecipadamente determinados.

# Introdução

---

- Para que o modelo computacional evolua dinamicamente, uma das soluções encontradas pelos pesquisadores foi construir programas orientados a eventos.
- A medida da passagem do tempo, determinados acontecimentos (eventos) provocam alterações em alguns elementos do programa (variáveis de estado), os quais são responsáveis por informar a ocorrência de mudanças nas condições que envolvem o modelo.

# Terminologia Básica Utilizada em Modelagem e Simulação de Sistemas

---

- Variáveis de Estado
- Eventos
- Entidades e Atributos
- Recursos e Filas de Recursos
- Atividades e Períodos de Espera
- Tempo (Real) Simulado e Tempo de Simulação

# Variáveis de Estado

---

- Determinam o estado de um sistema.
- Constituem as informações necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema (ou no modelo) num determinado instante no tempo.
- Exemplo:
  - Fábrica: o número de peças esperando para serem processadas na máquina (fila da máquina) ou ainda o estado da máquina, isto é, ocupada ou livre;
  - Banco: número de clientes esperando na fila do caixa;
  - Servidor Web: número de requisições aguardando na fila da CPU, número de atendidas, etc.

# Eventos

---

- São acontecimentos, ocorrências, (programados ou não). Sua ocorrência provoca mudança de estado em um sistema.
- Toda mudança de estado é provocada pela ocorrência de um evento (pelo menos uma variável de estado se altera).
- Exemplos
  - Chegada: de peças, de clientes ou de tarefas, respectivamente, em cada um dos sistemas do exemplo anterior (fábrica, banco, servidor)
  - Início de processamento: pela máquina, pelo caixa ou pela CPU, respectivamente, em cada um dos sistemas;
  - Saída: de peças, clientes ou tarefas, respectivamente, em cada um dos sistemas.



# Entidades e Atributos

---

- Entidades: representam objetos do modelo.
  - Dinâmicas, movimentam-se através do sistema;
    - Exemplos: Peças (que se movem pela fábrica); Clientes chegando e saindo da fila do caixa de um supermercado ou os tarefas que chegam e saem da CPU depois de processados.
  - Estáticas, servem a outras entidades.
    - Exemplos: Máquinas, caixa ou CPU.
- Atributos: características próprias das entidades. Entidades semelhantes possuem os mesmos atributos. Os valores dos atributos é que as diferenciam entre si.
  - Exemplos: Nome ou tipo de peça, cliente ou tarefa.

# Recursos e Filas de Recursos

---

- Recursos são (em geral) considerados entidades estáticas. Fornecem serviços às entidades dinâmicas.
  - Pode ter vários estados. *Ocupado, livre, bloqueado, falhado, indisponível, etc.*
  - Pode servir uma ou mais entidades dinâmicas ao mesmo tempo, operando como um servidor paralelo.
  - Uma entidade dinâmica pode operar com mais de uma unidade de recurso ao mesmo tempo, ou com diferentes recursos ao mesmo tempo.
- Se uma entidade dinâmica não puder se apoderar de um recurso solicitado, ela deverá aguardar pelo mesmo na Fila do Recurso.
  - Filas podem ser gerenciadas.
  - A política de gerenciamento de filas mais comum é a FIFO (First In, First Out). Outras se aplicam (LIFO, Priority, etc.)

# Atividades e Períodos de Espera

---

- Atividade período de tempo predeterminado.
  - Uma vez iniciada, seu final pode ser programado.
  - Sua duração poderá ou não ser constante.
  - Poderá resultar de uma expressão matemática, de uma distribuição de probabilidades, ou até mesmo ser dependente do estado do sistema
- Espera é um período de tempo sobre o qual não há controle, se o modelo contiver variáveis aleatórias. Uma vez iniciada, não se pode programar seu fim.
  - Exemplo: a espera causada por eventos inesperados. (quebras, chegadas de entidades com maior prioridade, etc.
- Todo início e final de uma atividade ou período de espera é causado por um evento (mudança de estado).

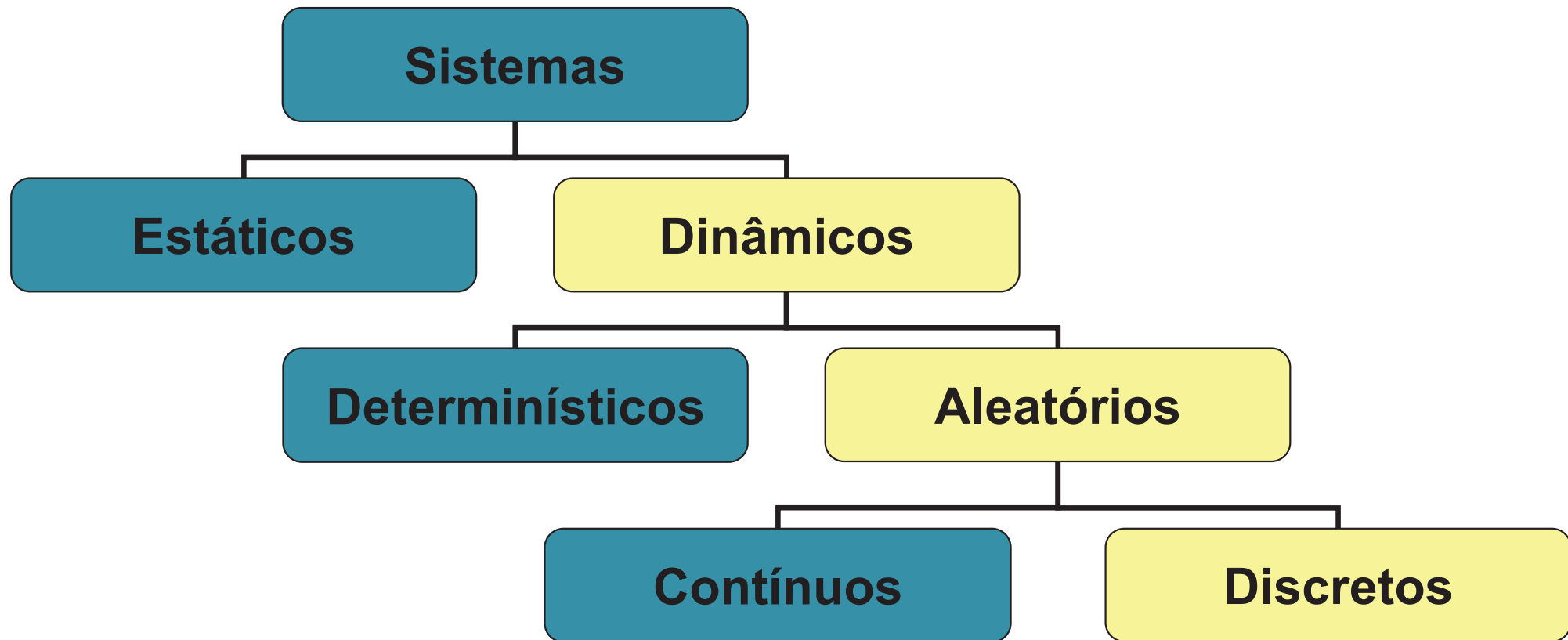
# Tempo (Real) Simulado e Tempo de Simulação

---

- Cuidado com a relação entre o tempo (do sistema real) simulado e o tempo de simulação (tempo necessário à execução de um experimento no computador).
- Para modelos de certos sistemas, o tempo de simulação pode ser muito maior que o tempo simulado.
  - Por exemplo na simulação de um modelo de uma rede de computadores.,
  - Unidades de tempo admitidas para os eventos: milisegundos. Milhares de entidades e de processos.
- Por outro lado, tome-se um modelo de um terminal portuário.
  - Os eventos podem ocorrer na ordem de dias, ou semanas (tempo entre a chegada de dois navios). Simula-se meses ou anos de suas operações em apenas alguns segundos ou minutos de processamento.

# Classificação dos Sistemas para Modelagem e Simulação

---



# Classificação dos Modelos de Simulação

---

- Quanto ao emprego (processo decisório)
  - Modelos Voltados à Previsão
  - Modelos Voltados à Investigação
  - Modelos Voltados à Comparação
- Quanto à abrangência
  - Modelos Específicos
  - Modelos Genéricos
- Quanto à mudança de estado (dinâmica)
  - Modelos Discretos
  - Modelos Contínuos

# Tipos de Modelos e o Processo Decisório

---

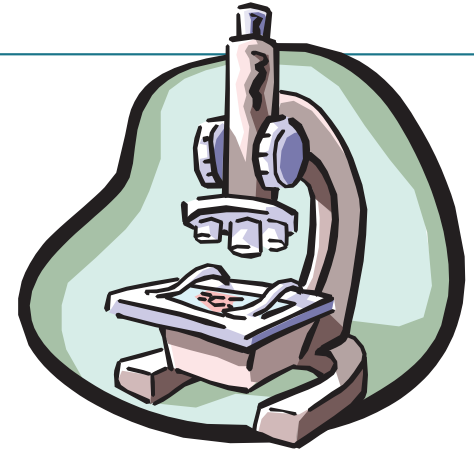


- **Modelos Voltados à Previsão:**

- 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 de previsão do clima e modelos de previsão de demanda são exemplos clássicos.

# Tipos de Modelos e o Processo Decisório

- **Modelos Voltados à Investigação:**



- Busca de informações e desenvolvimento de hipóteses sobre o comportamento de sistemas.
- As variáveis de resposta servem para construir e organizar as informação sobre a natureza do fenômeno ou sistema sob estudo.
- Os experimentos recaem sobre as reações do sistema (modelo) a estímulos normais e anormais
- Exemplos deste tipo de aplicação encontram-se na indústria química (busca de novos compostos), na indústria farmacêutica (novos remédios), na indústria automobilística (novas estruturas visando segurança de veículos), administração de sistemas de saúde.



# Tipos de Modelos e o Processo Decisório

---

- **Modelos Voltados à Comparação:**

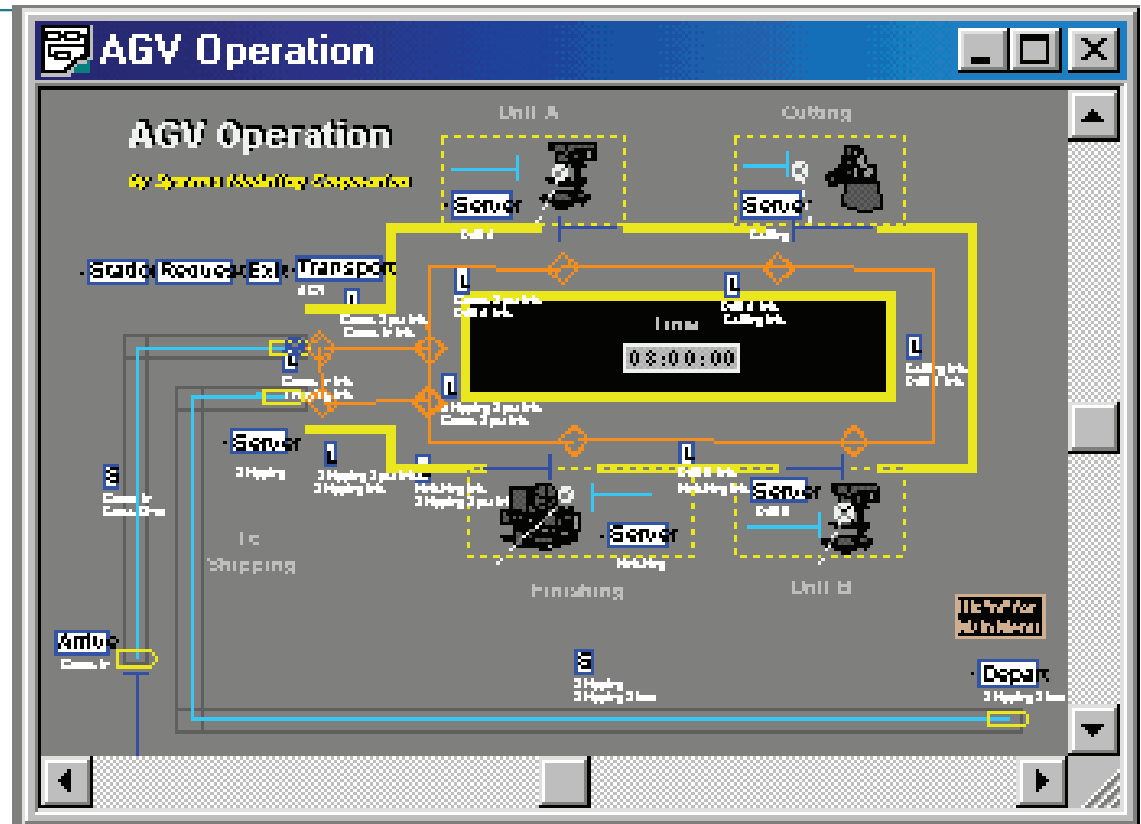


- Avaliar os efeitos de mudanças sobre as variáveis de controle.
  - Na indústria em geral, é comum a busca por melhores soluções de *layout*, ou a determinação do melhor tamanho de lote de fabricação.
  - Em sistemas logísticos, considere, por exemplo, em um terminal portuário as opções de tamanho de tanques de armazenagem e frotas de caminhões transportadores, visando a minimização da espera dos navios para a atracação e descarregamento.

# Tipos de Modelos: Abrangência

## ◆ Modelos Específicos

- ✓ Utilizados em situações específicas e únicas, mesmo considerando um baixo volume de recursos financeiros envolvido no processo decisório.



## Exemplo

- Sistemas de fabricação único, como um SFM.

# Tipos de Modelos: Abrangência

- **Modelos Genéricos**

- Modelos que são usados periodicamente por longos períodos. Necessitam ser flexíveis e robustos.

## **Exemplo**

- ✓ Modelos sobre aplicações orçamentarias, baseadas em desempenho e projeções simuladas do futuro;



# Tipos de Modelos: dinâmica da mudança de estado

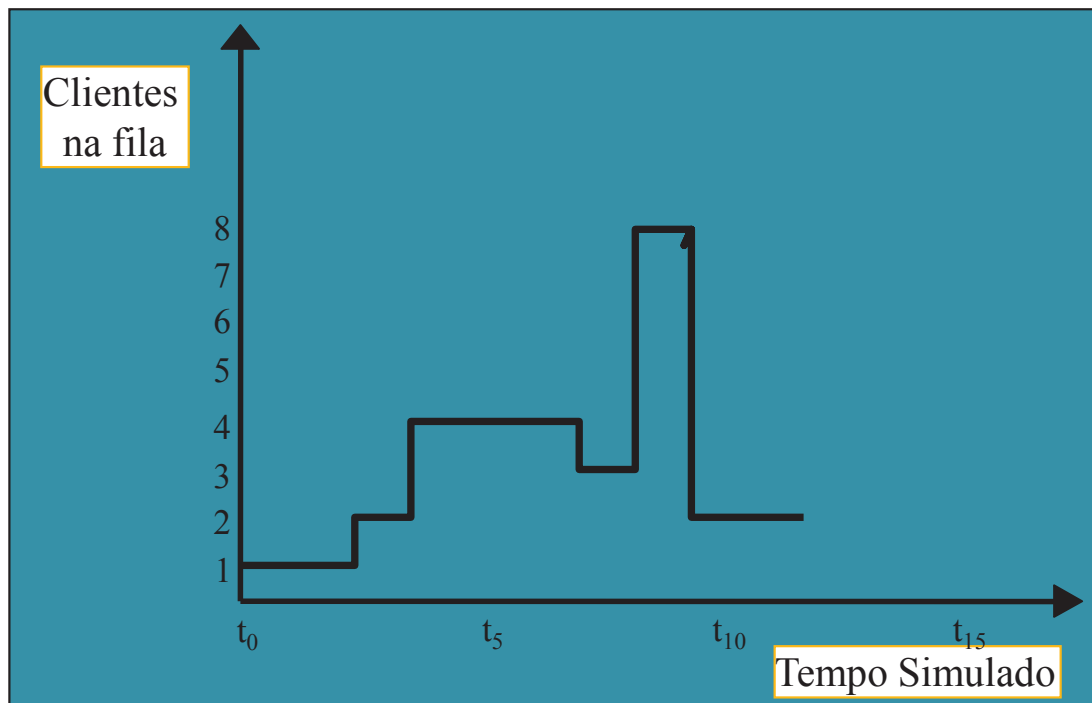
---

- **Modelos Discretos e Modelos Contínuos**

- Estes conceitos estão associados a idéia de sistemas que *sofrem mudanças* de forma **discreta** ou **contínua** ao longo do tempo.
- Os termos corretamente atribuídos são:
  - *modelos de **mudança discreta** e*
  - *modelos de **mudança contínua**.*
- A caracterização de um modelo é dada em função da maneira com que ocorrem as mudanças nas *variáveis de estado* do sistema.

# Modelos de Mudança Discreta ou *Discretos*

- Nestes modelos, as variáveis de estado **mantêm-se inalteradas** ao longo de intervalos de tempo e **mudam seus valores** somente em **momentos bem definidos**, também conhecidos como ***tempo de ocorrência do evento***.



# Modelos de Mudança Contínua ou Contínuos

---

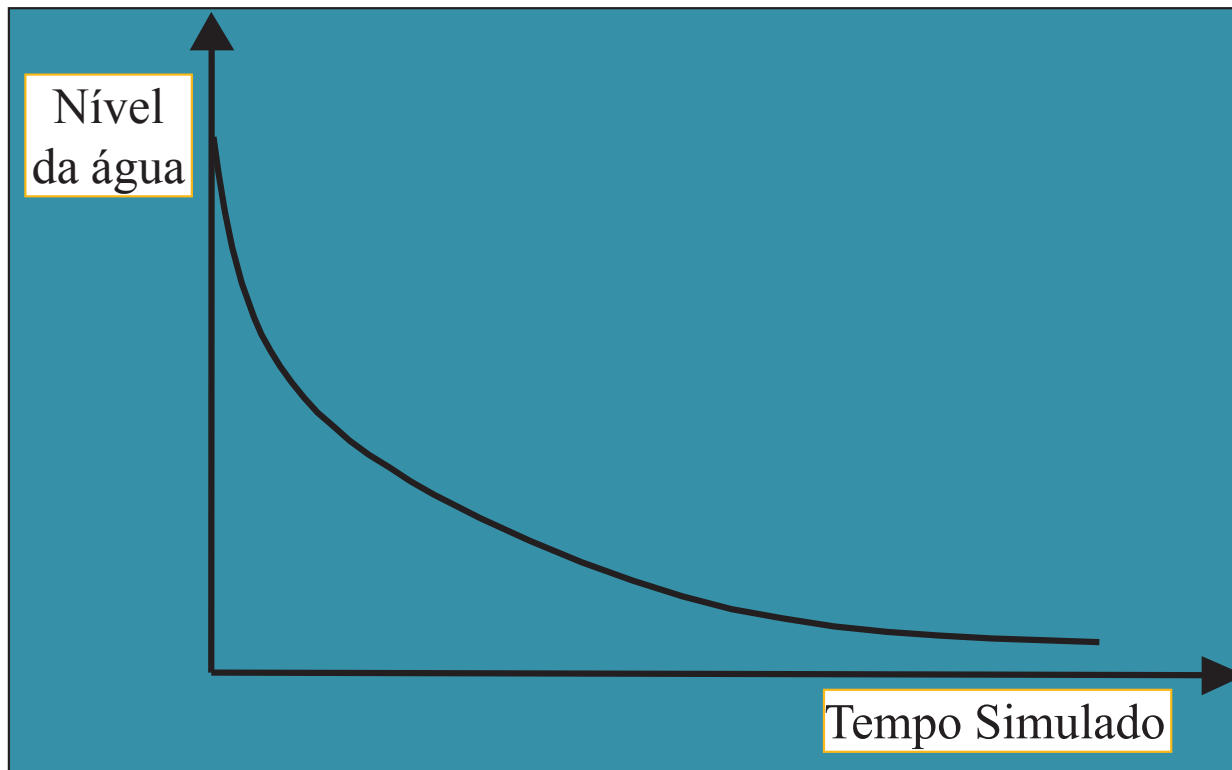
- Nestes modelos, as **variáveis de estado** podem mudar **continuamente** ao longo do tempo.

- **Por exemplo**, imaginemos um modelo que descreva um sistema composto de uma caixa d'água com seu conteúdo escoando por um furo na sua base.
- Como **variáveis de estado**, poderíamos utilizar seu **volume ou o seu nível de água**.

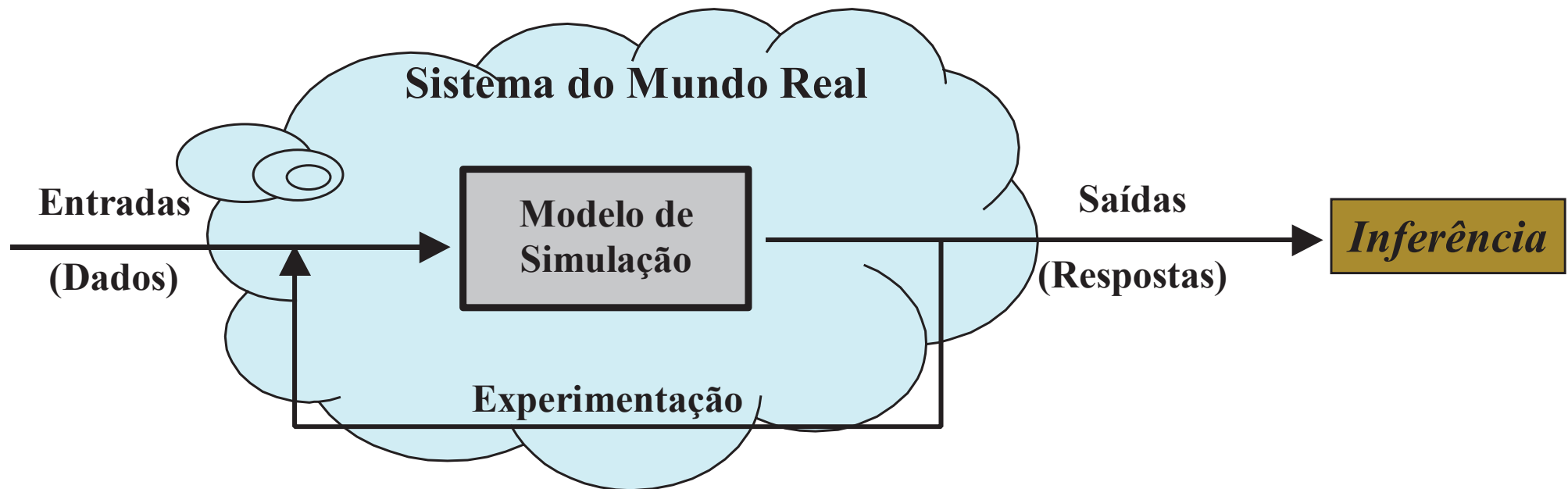
- Intuitivamente, podemos imaginar que qualquer das duas variáveis de estado estará variando continuamente ao longo do tempo simulado.

# Modelos de Mudança Contínua ou Contínuos

---



# Processo Experimental com Modelos de Simulação

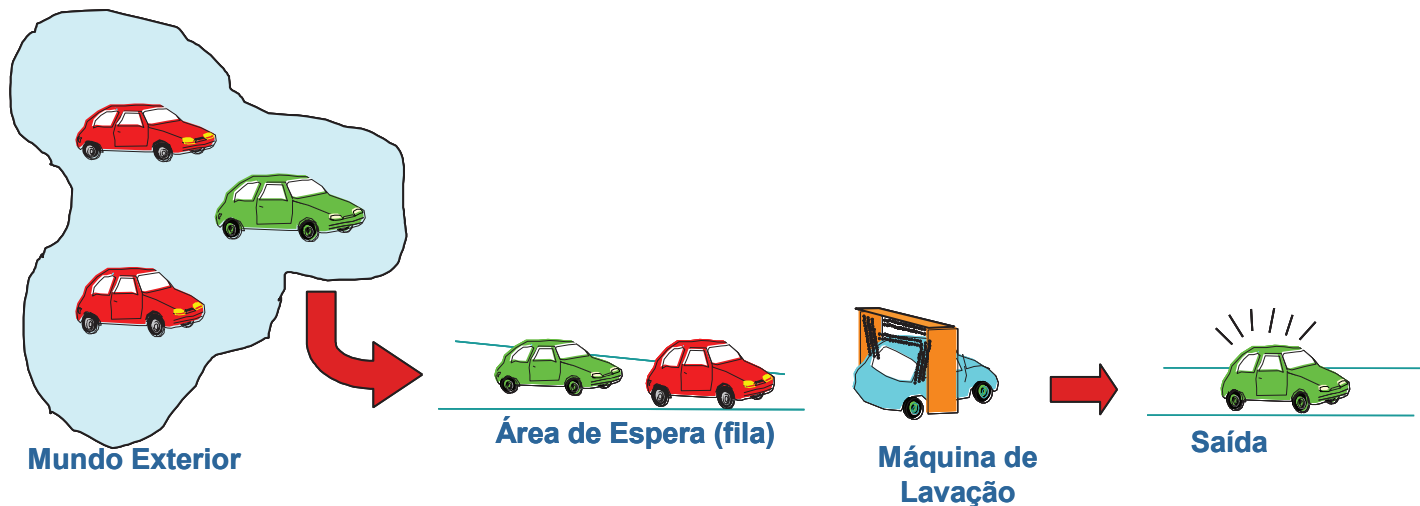


Representação esquemática de um modelo de sistema



# Um Exemplo Simples para Começar

- *Sistemas de Fila Simples*
  - Posto de lavação de automóveis.
- Informações:
  - Dependendo do dia da semana e da hora escolhida, é possível que, ao chegar ao posto, um cliente encontre o mesmo ocupado.
  - Prevendo tal situação, o proprietário criou um área de espera na qual os clientes podem aguardar (por ordem de chegada) pelo momento de serem atendidos.



# Como Tratar e Analisar o Problema

---

- Algumas das dúvidas do proprietário:
  - Será que a área de espera disponível (para no máximo quatro automóveis) é suficiente?
  - Será que o tempo de serviço é aceitável?
  - Será que a produtividade do operador é adequada?

# Como Tratar e Analisar o Problema

---

- Sistema de fila simples: alternativas de tratamento:
  - *Achometria*;
  - *Modelagem analítica* (*teoria das filas*);
  - *Modelagem e simulação*.

# Como Tratar e Analisar o Problema

---

- Informações básicas necessárias:
  - Com que frequência ocorrem chegadas de carros para serem servidos?
  - Qual o tempo necessário para completar o serviço?

# Como Tratar e Analisar o Problema

---

- Informações do proprietário sobre as manhãs de sábado:
  - Primeira situação:
    - “carros chegam mais ou menos a cada 10 min.”
    - “tempo de lavação é de “aproximadamente 15 min.”.
  - Se verdade → congestionamento
  - Segunda situação:
    - “as vezes é ao contrário
    - o operador leva cerca de 10 min. para lavar
    - e os carros demoram um pouco mais de 10 min. para chegar”.
  - Se verdade → equilíbrio, sistema balanceado.

# Achometria

- Bom senso + imaginação para “adivinhar” o futuro.
- Embora *desaconselhável*, esta é uma das técnicas de apoio a decisão mais utilizadas (*a mais econômica?*).
- Dados (fonte: proprietário).
  - Frequência com que os automóveis chegam ao posto (TEC);
  - Tempo necessário para efetuar os serviços (TS).

Situação	TEC - Tempo entre Chegadas	TS - Tempo de Serviço
A	$\pm 10$ min	$\cong 15$ min
B	$\geq 10$ min	$\pm 10$ min

Tempos adaptados das afirmações do proprietário

# Achometria

---

- Na situação A:
  - os automóveis chegam mais rápidos do que podem ser servidos;
  - alta a possibilidade de ocorrerem congestionamentos.
  - Considerando este possível cenário, as decisões poderiam ser, por exemplo:
    - aumentar a área de espera (alugando um terreno vizinho, por exemplo);
    - contratar mais um empregado e comprar mais um elevador hidráulico;
    - ambas as medidas acima.

# Achometria

---

- Situação B:
  - O sistema apresenta uma certa folga (tempo de atendimento é menor do que os tempos decorridos entre as chegadas;
  - Raramente ocorrerão filas de espera.
  - Neste caso, a decisão do proprietário seria não tomar nenhuma medida.



# Achometria (problemas)

---

- *A verdade* (não captada pelo método) sobre o comportamento do sistema deve, provavelmente, se encontrar entre os dois extremos.
- Poucas informações adicionais podem ser obtidas.
- Falta de elementos para o exercício da previsão e da avaliação.