

# Funcionamento de um Programa de Simulação

---

LABORATÓRIO DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

PROF. GUILHERME FRÓES SILVA

# Introdução

---

Apresenta-se nessa seção os principais elementos que constituem um programa computacional voltado a simulação de modelos de mudança discreta.

Dentre os diversos autores que descrevem as rotinas e algoritmos envolvidos nestes programas, os princípios gerais apresentados por Banks, Carson e Nelson em 1996 são os mais didáticos.

# Introdução

---

A ideia central deste capítulo é fornecer aos usuários de simulação a compreensão e o conhecimento mínimo necessário para o bom emprego desta técnica.

Os tópicos 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 dessa técnica” (Gogg e Mott, 1996)

# Introdução

---

Um modelo computacional (programa de computador) para a simulação de um sistema executa, sequencialmente 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.

# Introdução

---

As variáveis mudam a medida em que o tempo simulado progride. Como tratamos (na maioria das vezes) de sistemas estocásticos, tais variáveis não tem seus valores antecipadamente determinados.

Para que o modelo computacional evolua dinamicamente, uma das soluções encontradas pelos pesquisadores foi construir programas orientados a eventos.

# Introdução

Modelos Computacionais	Acontecimentos (Eventos)
Fábrica	Chegada de uma peça para ser processada por uma máquina
Banco	Chegada de um cliente em um banco para realizar uma transação
Rede de Computadores	A chegada de uma requisição em um servidor de arquivos em uma rede local de computadores

# Eventos

---

## Introdução

Considera-se que, no modelo a ser simulado, as mudanças de estado sucedem devido à ocorrência de três tipos de eventos:

1. Evento Chegada
2. Evento Saída
3. Evento Fim da Simulação



## Evento de Chegada

Diante da chegada de uma entidade no sistema, as seguintes ações devem ser realizadas pelo programa de simulação:

1. Guardar o tempo de ocorrência da chegada da entidade em um atributo especialmente designado para tal.
  - Por exemplo, este valor servirá para o cálculo de tempo de permanência da entidade no sistema.

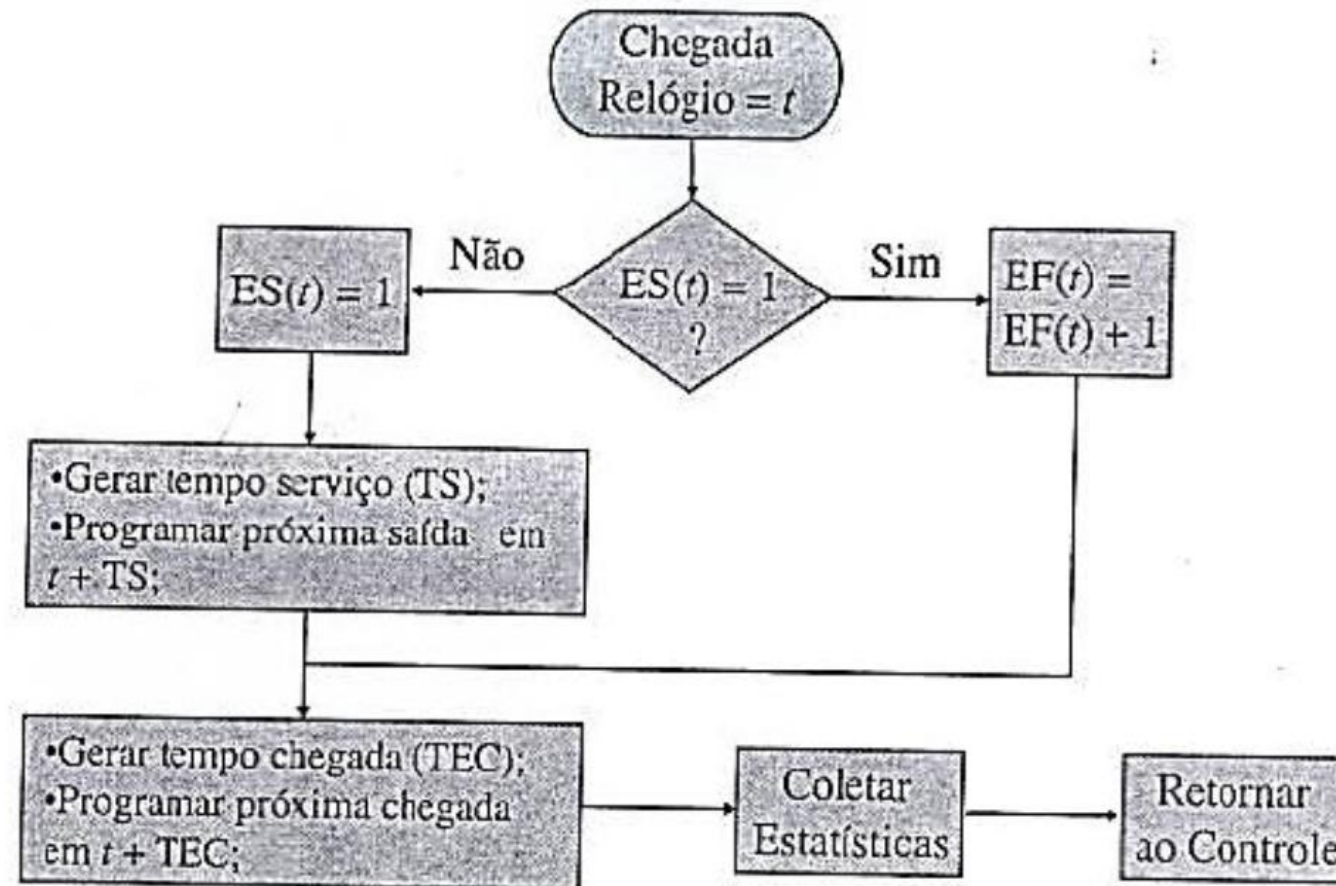
## Evento de Chegada

2. Verificar se o recurso com o qual a entidade realizará uma atividade está livre.
  - A variável de estado  $ES(t)$  representa o estado do recurso (servidor) no tempo  $(t)$  do relógio da simulação.
  - Se livre,  $ES(t) = 0$ , o tempo de permanência da entidade na fila deste recurso será zero.
  - Troca-se o estado do recurso para ocupado e programa-se o final da atividade no calendário de eventos, somando-se o tempo atual do relógio ao tempo de serviço (TS).

## Evento de Chegada

3. Se o recurso estiver ocupado, a entidade deve ser colocada no final da fila do recurso.
  - A variável tamanho da fila  $EF(t)$ , deve ser incrementada em um.
4. Programar a chegada de uma nova entidade no sistema, no calendário de eventos, somando o tempo de relógio com o tempo entre chegadas (TEC), sorteado para a próxima entidade.

# Evento de Chegada



## Evento Saída

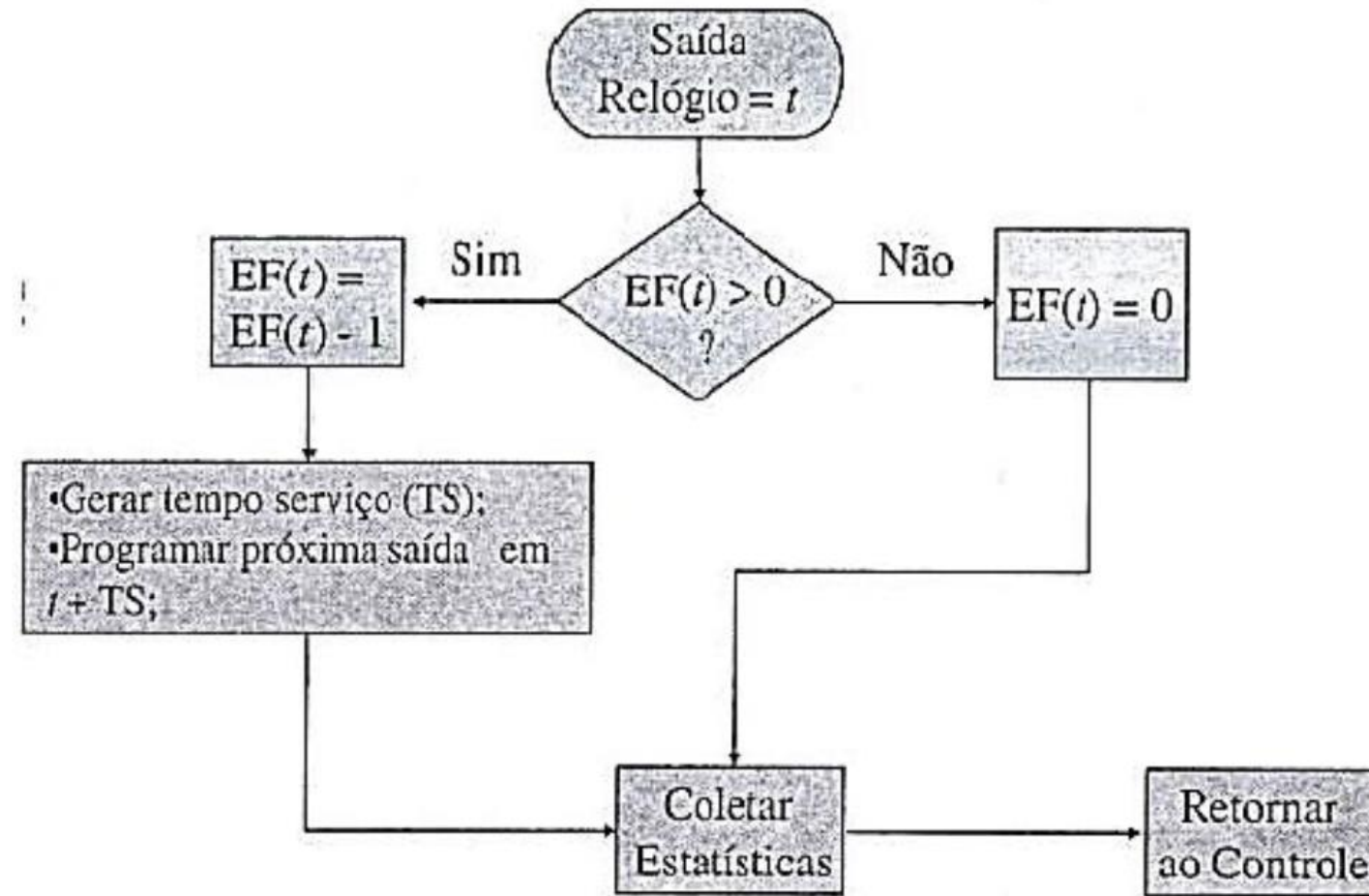
No momento em que uma entidade completar a sua atividade junto a um recurso, as seguintes ações devem ser realizadas pelo programa de simulação:

1. Incrementar o contador de entidades servidas
2. Computar e armazenar o tempo de permanência da entidade no sistema
  - Tempo do relógio menos o valor do atributo tempo de chegada da entidade

## Evento Saída

3. Se houver alguma entidade na fila de espera,
  1. Retirar a primeira entidade da fila
  2. Computar seu tempo de permanência na fila
  3. Decrementar a variável tamanho da fila, iniciar o atendimento da nova entidade e programar no calendário de eventos futuros o fim da atividade, somando o tempo de serviço atual.
  4. Se não houver nenhuma entidade na fila de espera, fazer o estado do recurso igual a livre.

# Evento Saída



## Evento Fim da Simulação

Quando for apropriado, isto é, quando da ocorrência de um evento especial, o qual determina o fim da execução da simulação, as seguintes ações devem ser realizadas.

1. Computar as estatísticas idealizadas para o fim da simulação.
2. Compor o relatório final com as estatísticas a serem exibidas ao usuário.



## Evento Fim da Simulação

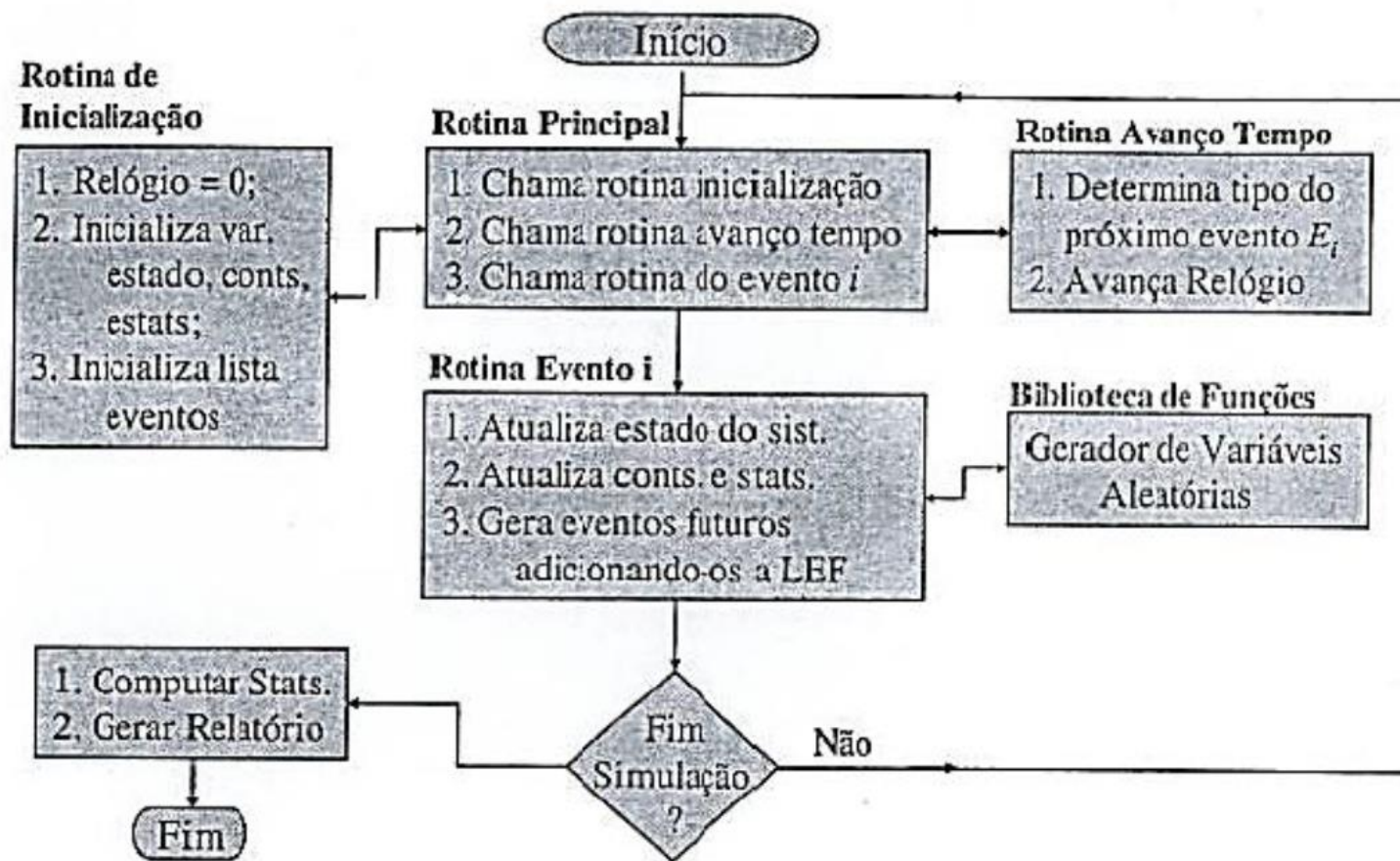
A próxima figura representa o fluxograma desta rotina principal.

Dentre os principais elementos apontados, encontra-se a rotina de avanço do tempo.

No programa de simulação, deve ser incorporado um mecanismo de controle e avanço do tempo de simulação.

**O mecanismo adotado é o de avanço do relógio para o próximo evento.**

# Evento Fim da Simulação



## Eventos

---

Além destes eventos de entrada, saída, fim da simulação e suas respectivas rotinas, um programa de simulação possui uma rotina principal, responsável pela inicialização de todos os procedimentos da simulação bem como o avanço do relógio

# Eventos

---

Relembrando:

O algoritmo de avanço do tempo para o próximo evento faz o uso do calendário de ventos ou Lista de Eventos Futuros (LEF).

- Que contém todos os eventos programados para ocorrerem no futuro.

## Lista de Eventos Futuros

---

Os acontecimentos seguem esta ordem:

1. O relógio da simulação é avançado para o valor programado para a ocorrência do evento que se encontra no topo da lista (LEF).
2. Após a realização do evento este é retirado da lista
3. Cada vez que um evento é programado na lista esta é reordenada

# Simulações Steady-State e Terminating

---

## Simulação Steady-State

---

Uma simulação Steady-State implica em que o sistema seja independente das condições de partida iniciais.

Análise desses modelos é baseada nos dados de saída gerados depois que as condições Steady-State (após a entrada em regime) são alcançadas.

## Exemplo

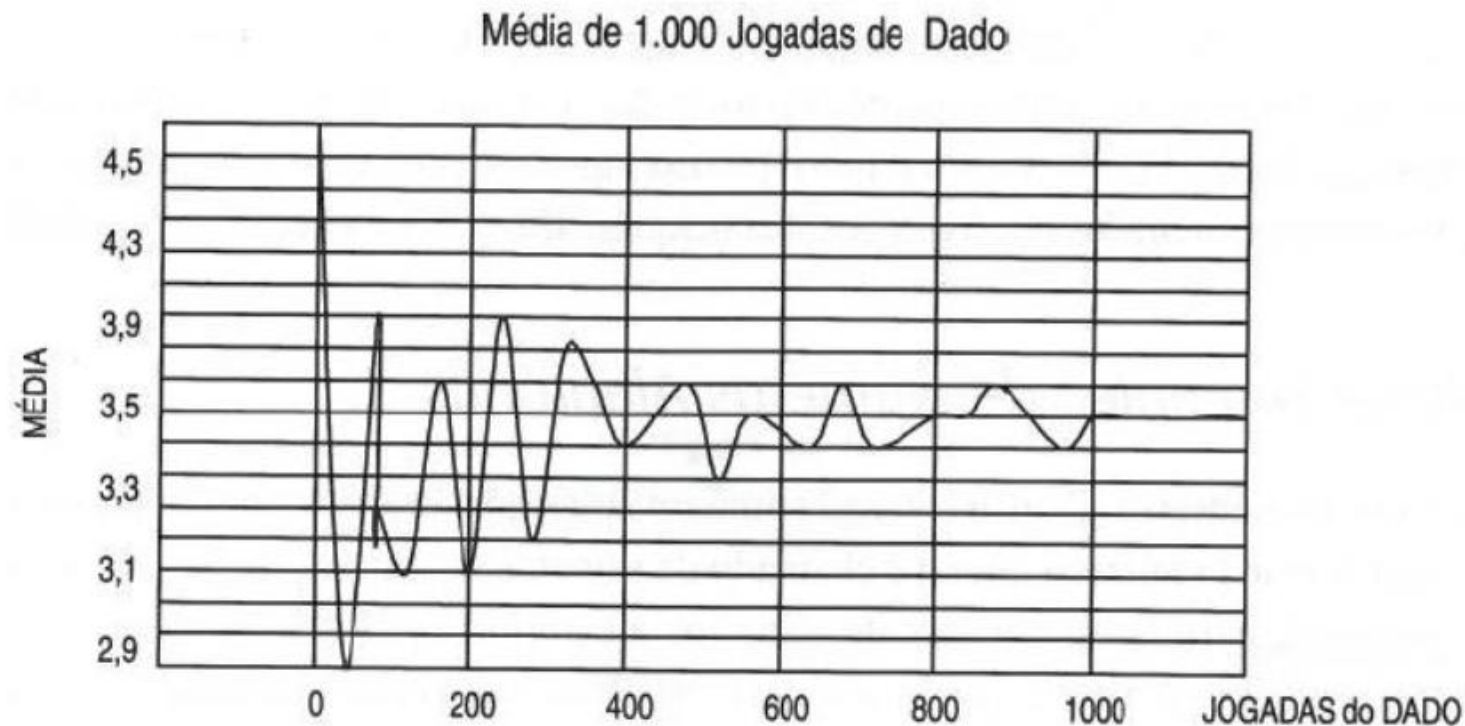
### Jogo de Dados

- Depois de um certo número de jogadas, a média de múltiplos dados vai tender a ser aproximadamente 3,5.
- O ponto em que isto ocorre exemplifica uma condição steady-state.



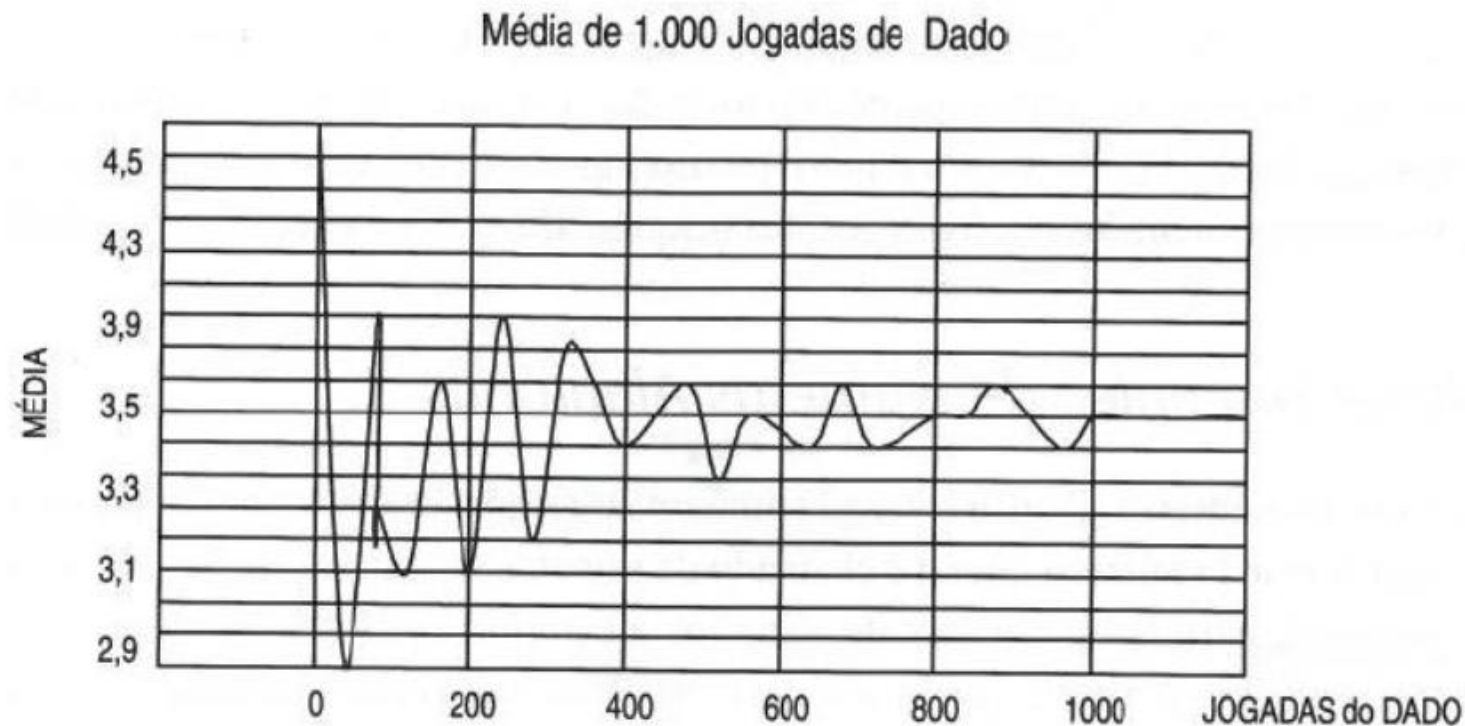
## Exemplo

Este conceito é ilustrado no gráfico onde a média cumulativa de 1000 jogadas de dados é mostrada.



## Exemplo

Este conceito é ilustrado no gráfico onde a média cumulativa de 1000 jogadas de dados é mostrada.



## Simulações *Terminating*

---

Uma simulação *terminating* roda por um período predeterminado ou até que um evento específico ocorra.

Os resultados de uma simulação *terminating* são usualmente dependentes dos valores iniciais e das quantidades especificadas no início da simulação.

Por esta razão, as condições de partida em modelos *terminating* deveriam refletir com acurácia circunstâncias de partida exibidas no mundo real do sistema em estudo.

## Simulações *Steady-State* e *Terminating*

---

A decisão de se empregar uma simulação *steady-state* ou *terminating* é tomada durante o planejamento do projeto de simulação.

A escolha depende do tipo de sistema que se modela. Uma planta que opera 24h por dia será provavelmente analisada por uma simulação *steady-state*.

## Simulações *Steady-State* e *Terminating*

---

Muitos sistemas do mundo real podem nunca vir a entrar em regime e a simulação do tipo *terminating* é mais adequada.

- Por exemplo, estoque de um centro de armazenamento e distribuição, devido ao tempo médio de espera e requisição de pedidos.

# Período de Aquecimento

---

EM SIMULAÇÃO

## Período de Aquecimento

---

Um período de aquecimento é a quantidade de tempo que um modelo necessita rodar para que sejam removidos vestígios decorrentes da inicialização antes que a coleta de dados estatísticos seja iniciada.

- O tamanho do período depende do tipo do modelo em uso

## Período de Aquecimento

---

Períodos de aquecimento para as simulações *steady-state* podem ser encontrados através de experimentações com médias móveis e outras técnicas.

Um modelo *terminating* pode usar um período de aquecimento igual ao tempo requerido para que o modelo atinja um estado de sistema equivalente às condições de partida pré-determinadas.



## Período de Aquecimento

---

Essas condições de partida representam o estado inicial do sistema em estudo (por exemplo, a máquina A inicia a simulação com 10 peças enfileiradas diante dela, a máquina B com 30 e assim por diante).

## Período de Aquecimento

---

Períodos de aquecimento para as simulações *steady-state* podem ser encontrados através de experimentações com médias móveis e outras técnicas.

Um modelo *terminating* pode usar um período de aquecimento igual ao tempo requerido para que o modelo atinja um estado de sistema equivalente às condições de partida pré-determinadas.

# Replicações de Modelos

---

## Rodada do Modelo e Replicações Independentes

---

Uma rodada do modelo envolve operar a simulação por um período de tempo especificado com um único conjunto de valores aleatórios.

O tamanho da rodada de simulação é a quantidade de tempo simulado durante a rodada de modelo.

Para uma replicação independente do modelo, se faz necessário operar o mesmo modelo pelo mesmo período de tempo, com um ou mais diferentes valores de sementes aleatórias.

## Rodada do Modelo e Replicações Independentes

---

Múltiplas replicações de um modelo são essenciais para a análise de resultados de simulações *terminating* e são também frequentemente utilizadas em simulações *steady-state*.

É vital que se reconheça o seguinte:

- Os resultados de uma única replicação de modelo de uma simulação estocástica são em si mesmo estocásticos.
- Dessa forma, é importante considerar a replicação de rodadas para se ter mais segurança dos resultados.

# Otimização da Simulação

---

# Otimização da Simulação

---

Uma função é um processo através do qual um conjunto de entradas se transformam em um conjunto de correspondente de saídas.

O modelo de simulação pode ser visto como uma caixa preta contendo a lógica necessária para estimar a saída de um sistema real.

**Otimização é o termo usado para se referir ao processo de se estabelecer valores para as entradas de tal forma que estas produzam a saída mais desejada ou ótima.**

## Otimização da Simulação

---

Para facilitar o processo de otimização, uma função objetivo pode ser criada para avaliar quantitativamente a performance do modelo de simulação.

Através da combinação de várias respostas de saída do modelo de simulação, avalia-se todas as combinações de diferentes valores de variáveis de entrada e plota-se os valores correspondentes da função objetivo.

Desta forma, pode-se criar uma superfície de respostas do modelo de simulação para aquela função objetivo.



## Otimização da Simulação

---

Normalmente a superfície de resposta se parece com uma região montanhosa com vários picos e vales.

Para um problema de maximização, o objetivo é encontrar o pico mais alto.

Para um problema de minimização, o objetivo é encontrar o vale mais profundo.

## Otimização da Simulação

---

A natureza estocástica da saída gerada por um modelo de simulação torna os problemas de otimização da simulação de muito difícil solução e extremamente demorados para serem resolvidos de uma maneira otimizada.

Felizmente existem algoritmos que encontram soluções consideravelmente boas em tempo razoável.

# Próxima Aula

---

TEORIA DAS FILAS