

**PNV-5005**

**MODELAGEM E ANÁLISE DE  
SISTEMAS INTERMODAIS DE  
TRANSPORTE UTILIZANDO  
TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO**

**Prof. Dr. Rui Carlos Botter  
e-mail: [rcbotter@usp.br](mailto:rcbotter@usp.br)**

**Julho de 2019**

# TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO

ACTIVITY CYCLE DIAGRAMS

CONTROL FLOW GRAPHS

CONDITION SPECIFICATION

**DISCRETE EVENT SYSTEM SPECIFICATION**

EVENT GRAPHS

REDES DE PETRI

STATE CHARTS

PROCESS NETWORKS

SYSTEMS DYNAMICS

SIMULAÇÃO POR AGENTES

SIMULAÇÃO HÍBRIDA

SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

# Introdução à Simulação Discreta

Na simulação discreta, a mudança de estado acontece em instantes discretos, na ocorrência de eventos.

A simulação de sistemas discretos baseia-se portanto, na técnica de geração de eventos.

Uma vez que o sistema estiver descrito e modelado, serão conhecidas todas as atividades e entidades envolvidas.

Cada evento, que significa o início ou fim de uma atividade, pode ser perfeitamente caracterizado, e uma lista cronológica de todos eventos pode ser elaborada.

# Definições básicas

1. Entidade
2. Atributo
3. Atividade
4. Evento
5. Relógio
6. Cenário
7. Replicação
8. Rodada
9. Variáveis de Estado
10. Recurso
11. Filas

# Definições básicas

## Entidade

É um objeto de interesse dentro do sistema.  
Necessita ser definido explicitamente.

Pode ser dinâmica ou estática.

Ex:

Veículo

Frota

Documento

Cliente

Pedido

# Definições básicas

## Atributo

É o conjunto das características das entidades.

Ex:

Morfologia

Cor

Modelo de veículo

Velocidade

# Definições básicas

## Atividade

São ocorrências durante um intervalo de tempo que mudam o ESTADO do sistema.

Assume-se que uma atividade é indivisível. Uma vez iniciada, ela não é mais interrompida e a sua duração pode ser determinística ou estocástica.

# Definições básicas

## Evento

É uma ocorrência instantânea que pode mudar o estado de um sistema.

Ex: chegada de peças no sistema  
início de um processo

# Definições básicas

## **Relógio**

Variável que controla o tempo da Simulação.

## **Cenário**

Um conjunto de configurações de dados e de entidades do sistema.

São utilizados para testar várias hipóteses.

# Definições básicas

## **Replicação**

É a execução do modelo no computador.

## **Rodada de simulação**

É o período entre o início e o fim de uma replicação.

# Definições básicas

## **Variáveis de estado**

É o conjunto de variáveis que identificam o estado do sistema em um determinado instante de tempo. O estado do sistema é **é número de entidades dentro do sistema, seja em fila ou em atendimento**

## **Recurso**

É um elemento estático/dinâmico que fornece serviços às entidades dinâmicas.

Recursos podem servir/atender mais de uma entidade ao mesmo tempo.

Se não há recurso disponível a entidade aguarda na fila.

# Definições básicas

## Filas

Constituem locais de espera onde as entidades dinâmicas esperam sua vez de seguir através do sistema.

As filas podem ser chamadas de áreas de espera ou pulmões (*buffers*). Depois de dar entrada na fila a entidade é retirada seguindo algum tipo de critério, por exemplo:

FIFO (*First In First Out*)

LIFO (*Last In Last Out*)

HVF (*High Value First*)

LVF (*Lower Value First*) ou um critério aleatório.



# Modelagem de Sistemas utilizando Simulação Discreta

- **Caracterização dos processos de chegada e atendimento**
- **Geração de números aleatórios**
- **Geração das variáveis aleatórias**
- **Montando a Simulação**

# Caracterização dos processos de chegada e atendimento

- Para a utilização da Simulação Discreta é necessário também caracterizar-se os processos de chegada e atendimento dos elementos, por meio da identificação das distribuições de probabilidades que regem esse processos.
- Para que isso seja possível, deve-se proceder inicialmente a uma coleta de dados, por exemplo dos os intervalos de tempo entre chegadas de peças e os tempos de atendimento de inspeção de cada funcionário
- A limpeza dos dados é fundamental para que eles representem corretamente o processo. Esse assunto será discutido nas próximas aulas.

# Geração de números aleatórios

Os processo de chegada e atendimento são estocásticos e regidos por distribuições de probabilidade com modelos e parâmetros conhecidos (num caso real admite-se que previamente houve a análise de aderência dos dados coletados com referência a modelos teóricos).

A geração de cada um dos intervalos de chegada ou tempos de atendimento das entidades, deve ser feita segundo as seguintes etapas:

- sorteia-se um número aleatório uniformemente distribuído entre 0 e 1, para cada atividade prevista no modelo;
- utilizando-se a função inversa da distribuição de probabilidade e o número aleatório, determina-se o intervalo de tempo.

# Geração de números aleatórios

Existem algumas formas de gerar números realmente aleatórios, como por exemplo, utilizar dodecaedros (poliedro regular de 20 faces) com os números de 0 a 9 escritos nas faces opostas. No entanto, isso é impossível de ser inserido num computador. Outra opção é utilizar uma tabela de números aleatórios, mas que requer muita memória e se esgotada irá repetir a sequência sorteada.

Os números aleatórios entre 0 e 1, em geral, são calculados por algoritmos, que partem de um valor inicial denominado "semente" e, por meio de diferentes manipulações matemáticas, geram os chamados números pseudo-aleatórios.

Um exemplo de gerador de números aleatórios é o método da congruência ou resíduo. Considerando  $a$ ,  $b$ ,  $P$  e a semente  $C_0$  como parâmetros iniciais.

# Geração de números aleatórios

- calcula-se o valor:  $X = (a.C_0 + b)/P$
- toma-se  $Y$  como o valor inteiro de  $X$
- calcula-se  $C_1 = X - Y$  (primeiro número aleatório entre 0 e 1 gerado);
- Substitui-se  $C_0$  por  $C_1$  e repete-se o algoritmo a partir do primeiro passo, possibilitando a geração de quantos números aleatórios forem necessários..

Adotando-se,  $a, b$  e  $P$ , suficientemente grandes, a quantidade de números gerados é muito grande, até a formação de um ciclo ou sequência.

Os números gerados por esse método são chamados de números pseudo aleatórios, especialmente porque não se garante que, depois de um grande número de iterações, a sequência gerada não volte a se repetir.

# Geração das variáveis aleatórias

- $F(x) = (x-A)/(B-A)$ ,  $0 \leq F(x) \leq 1$ .
- A função inversa dessa distribuição é  $x = A + (B-A) \cdot F(x)$ . Substituindo  $F(x)$  por um número aleatório com distribuição é uniforme entre 0 e 1 obtido por um gerador de números aleatórios, pode-se obter valores para a variável  $x$ , cuja distribuição, por definição, é uniforme entre  $A$  e  $B$ .

# Geração das variáveis aleatórias

- A função distribuição da exponencial é  $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$ , onde  $\lambda = 1/T$ .
- A inversa dessa função é  $x = -T \cdot \ln[F(x)]$   
Substituindo  $F(x)$  por  $r_i$ , que é um número aleatório com distribuição é uniforme entre 0 e 1 obtido por um gerador de números aleatórios, pode-se obter valores para a variável  $x$ , cuja distribuição é exponencial com média  $T$ .

# Montando um simulação em EXCEL

Na tabela abaixo são mostrados os tempos entre chegadas dos veículos a um único ponte de carregamento de uma fábrica e o tempo de atendimento de cada um. Avalie o desempenho operacional desse serviço. (Tempos em Horas)

<b>Veículo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Intervalo</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Duração</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

Caminhão	No. Aleatório 1	Intervalo entre chegadas	Instante da Chegada	No. Aleatório 2	Tempo médio de atendimento	Início de atendimento	Fim do atendimento	Tempo em fila
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								