



Avaliação de desempenho de Sistemas de Informação
Modelagem via Simulação

BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Prof. Sergio Nascimento

sergio.onascimento@sp.senac.br





SIMULAÇÃO

Simulação

- ❑ Simulação: “Imitação” de alguma coisa do mundo real.
 - Gerar um sistema de forma “artificial” para realizar análises de suas características operacionais.
- ❑ Modelos de Simulação.
 - Utiliza parâmetros do sistema.
 - Pode utilizar formulações matemáticas
 - Pode prever o desempenho de um sistema ou investigar impactos de mudanças no sistema em operação.
- ❑ Utilidade.
 - Solução do problema é muito cara ou é impossível de se medir.
 - Problemas são muito complexos para tratamento analítico.

Simulação - Finalidades

- ☐ Estudar as interações internas em sistemas complexos e analisar o seu impacto.
 - Subsistemas dentro de sistemas maiores.
 - Interações entre variáveis importantes para o sistema.
- ☐ Observar os efeitos de alterações realizadas no sistema
 - Ambiente, informações, organização podem mudar.
- ☐ Prever os efeitos da implementação de novos projetos/procedimentos.
- ☐ Validar os resultados da Modelagem Analítica.
- ☐ Conhecer melhor o modelo de simulação.
 - Utilizado na melhoria de processos.

Simulação

Prós

- ☐ Estudo de modificações no sistema não interfere na operação do sistema real.
- ☐ Para adquirir novos recursos é possível simular antes de investir.
- ☐ Estudo de hipóteses sobre determinados fenômenos que afetam o sistema podem ser realizadas.
- ☐ Tempo pode ser “comprimido” ou “expandido” podendo acelerar ou retardar o fenômeno em estudo.
- ☐ Pode identificar “gargalos” nos processos

Contras

- ☐ Construir modelos requer treinamento especial.
- ☐ Resultados de uma simulação podem ser difíceis de interpretar.
 - Exemplo: pode ser difícil determinar se os resultados obtidos são devido a interações ou se são devido à aleatoriedade do sistema.
- ☐ Modelagem do sistema e análise de dados podem consumir muito tempo e recursos

Simulação

- ❑ Para minimizar as desvantagens pode-se:
 - Fornecer softwares de simulação com “templates” de modelos.
 - Utilizar softwares de simulação que auxiliem na análise dos dados.
 - Plataformas computacionais mais rápidas reduzem o tempo da modelagem e da análise

Componentes de um Sistema

- ❑ Entidade
 - Objeto de interesse em um sistema.
- ❑ Atributo.
 - Propriedade de uma entidade.
- ❑ Atividade.
 - Ação que ocorre dentro do sistema.
- ❑ Evento.
 - Ocorrência que altera o estado do sistema.
- ❑ Estado.
 - Situação do sistema (identificado pelos valores das variáveis do sistema em determinado instante).

Componentes de um Sistema - exemplo

SISTEMA	ENTIDADE	ATRIBUTOS	ATIVIDADES	EVENTOS	VARIÁVEIS DE ESTADO
Bancos	Clientes	Conta Corrente	Depósito, retirada	Chegada e saída do banco	Nº de caixas ocupados e Nº de clientes na fila
Manufatura	Máquinas	Velocidade, capacidade, taxa de falhas	Usinagem, estampagem, soldagem	Falha, quebra	Estado da máquina (ocupado/livre)
Comunicações	Mensagens	Comprimento destino	Transmissão da mensagem	Chegada da mensagem ao destino.	Número de mensagens a serem transmitidas.

Modelo de um Sistema

- ❑ Modelo do Sistema.
 - Simplificação (representação) do sistema utilizada para estudá-lo. Modelo considera somente aspectos que afetam o estudo.
 - Detalhado o suficiente para o estudo.
 - Deve representar todos os comportamentos do sistema: entidades, atributos, atividades, eventos e estados.
- ❑ Tipos de modelo de sistema.
 - Dinâmicos x instantâneos.
 - Determinísticos x estocásticos.
 - Contínuos x discretos.



SIMULAÇÃO ORIENTADA AO TEMPO

Simulação Orientada ao Tempo

- ❑ A linha de tempo até o limiar especificado é dividida em intervalos iguais.
- ❑ Existe uma variável que grava o instante de tempo atual e o incrementa em intervalos fixos.
- ❑ Após cada incremento são verificadas tendências e os eventos que ocorreram nele são executados
 - ❑ Tempo Real: A escala de tempo é a real, isto é os eventos ocorrem e são tratados na mesma escala de tempo correspondente ao sistema real. Simuladores de jogos ou para treinamento se enquadram nesta categoria. Nestes sistemas um operador humano interage com o simulador em tempo real.
 - ❑ Tempo simulado: Não acompanha a escala de evolução do tempo real. Um ano do tempo de simulação pode decorrer em poucos segundos de processamento. São utilizados para análises de desempenho em que o interesse é pelas medidas de desempenho.

Simulação Orientada ao Tempo - Exemplo

❑ Valores especificados.

- Limiar da simulação: 3 segundos.
- Intervalo (Δt) = 0,5 segundos.

❑ Escala

- {0}, {0,5}, {1,0}, {1,5}, {2,0}, {2,5}, {3,0}

❑ Em cada intervalo o escalonador entra em ação para executar todos eventos pendentes.

- Se dois eventos deveriam ter sido executados nos instantes {0,7} e {0,8}, eles serão executados, nessa ordem, no instante {1,0} da simulação.
- Se vários eventos forem agendados para o mesmo instante, será utilizada a disciplina da fila (FIFO, LIFO, etc.)

Exemplo: Processo de montagem de um veículo



SIMULAÇÃO ORIENTADA A EVENTOS DISCRETOS

Simulação Orientada a Eventos Discretos

- ❑ Quando o sistema depende de variáveis que assumem valores discretos, isto é, em um domínio de valores finitos ou enumeráveis tais como o conjunto de números inteiros.
- ❑ Apropriada para análise de sistema no qual o estado (discreto) das variáveis muda apenas com a ocorrência de eventos (considerados instantâneos).
- ❑ Modelos de simulação utilizam procedimentos computacionais para executar os métodos matemáticos.
- ❑ Execução do modelo gera uma “história artificial” do sistema e os resultados obtidos são analisados para estimar o desempenho do sistema



SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE FILAS

Simulação de Sistemas de Filas

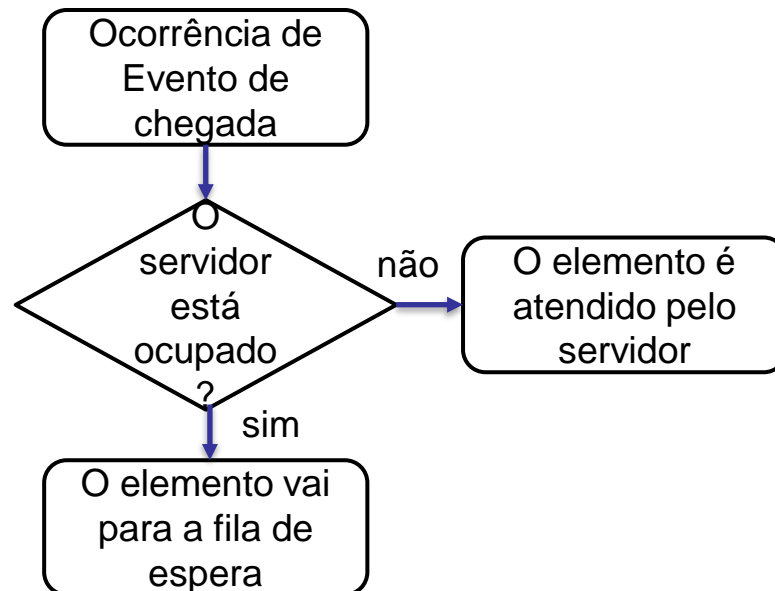
- ☐ Considera-se população infinita – elemento da população que vai para a fila não altera a taxa de chegada de outro elemento.
- ☐ Chegada de elementos no sistema – distribuição do tempo entre os instantes de chegada.
- ☐ Chegada de elementos para os serviços – forma individual e estocástica, por meio de fila de espera.
- ☐ Serviço – distribuição do tempo de serviço (distribuição de probabilidade).
- ☐ Capacidade do sistema é considerada infinita.
- ☐ Atendimento – elementos são atendidos na ordem de chegada (FIFO).
- ☐ Taxa de chegada pode ser maior que a taxa de serviço por períodos curtos, senão a fila cresce indefinidamente (fila instável).

Simulação de Sistemas de Filas

❑ Definições importantes:

- Estado – função do número de elementos no sistema e da situação do servidor: ocupado ou disponível;
- Evento – com fila única existem somente dois eventos que podem afetar o estado do sistema:
 - Entrada de elemento no sistema (evento de chegada); e
 - Finalização de um serviço sobre o elemento (evento de saída)

❑ Quando um elemento entra no sistema a simulação segue o fluxograma abaixo:

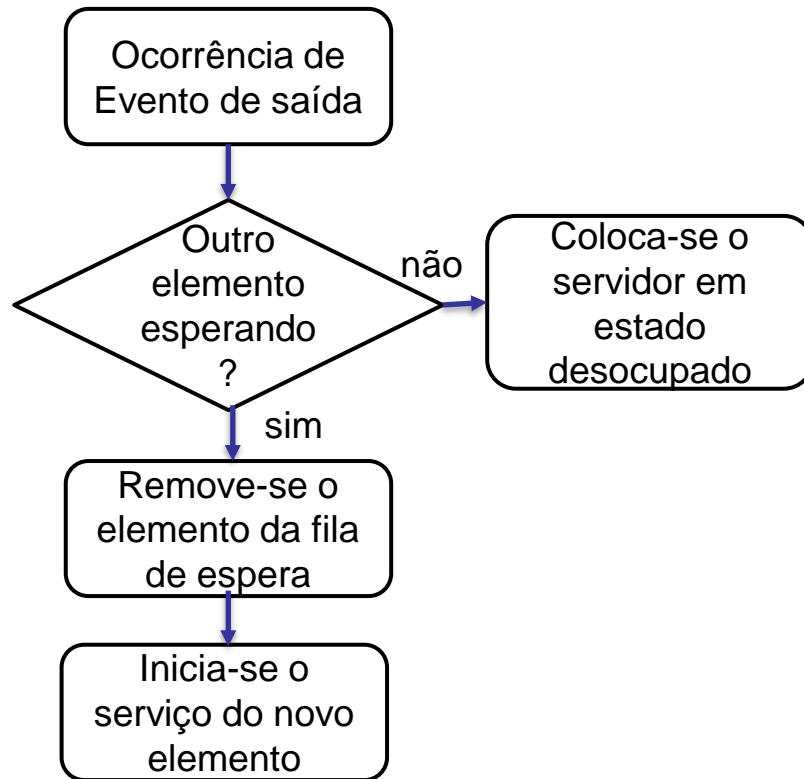


OBS: o elemento pode encontrar o servidor ocupado (elemento deve entrar na fila para ser atendido) ou, se disponível, o elemento é atendido pelo servidor.

Impossível encontrar o servidor desocupado e elementos em fila (fila não vazia).

Simulação de Sistemas de Filas

- ❑ Quando o serviço é completado a simulação segue o fluxograma abaixo



- ❑ Depois de completar um serviço, o servidor pode ficar disponível ou permanecer ocupado com o próximo elemento.
 - Se a fila não estiver vazia, outro elemento receberá o serviço do servidor e este ficará ocupado
 - Se a fila estiver vazia, servidor ficará disponível após terminar um serviço.
- ❑ É impossível o servidor ficar ocupado, após terminar um serviço, se a fila estiver vazia.

Simulação de Sistemas de Filas

- ❑ Para simular sistemas de filas é necessário manter uma Lista de Eventos.
 - Essa lista determina como o sistema se comporta.
 - A lista indica a sequência na qual os eventos vão ocorrer no sistema
 - Essa sequência é interpretada de acordo com o Relógio (clock ou tempo de simulação).
 - O relógio define os instantes da ocorrência dos eventos.

Construção e Execução de Modelo

A	B	C	D	E	F	G
Solici- tação	Momento de Chegada	Tempo de Atendimento	Momento de Entrada em Atendimento	Momento de Saída	Tempo de Espera na Fila	Tempo Total Gasto
1	6,0	9,0				
2	24,0	7,5				
3	26,0	10,0				
4	35,0	6,5				
5	44,0	6,0				
6	52,0	5,0				
7	58,0	9,0				
8	70,0	7,5				
9	77,0	6,5				
10	89,0	11,0				

Construção e Execução de Modelo

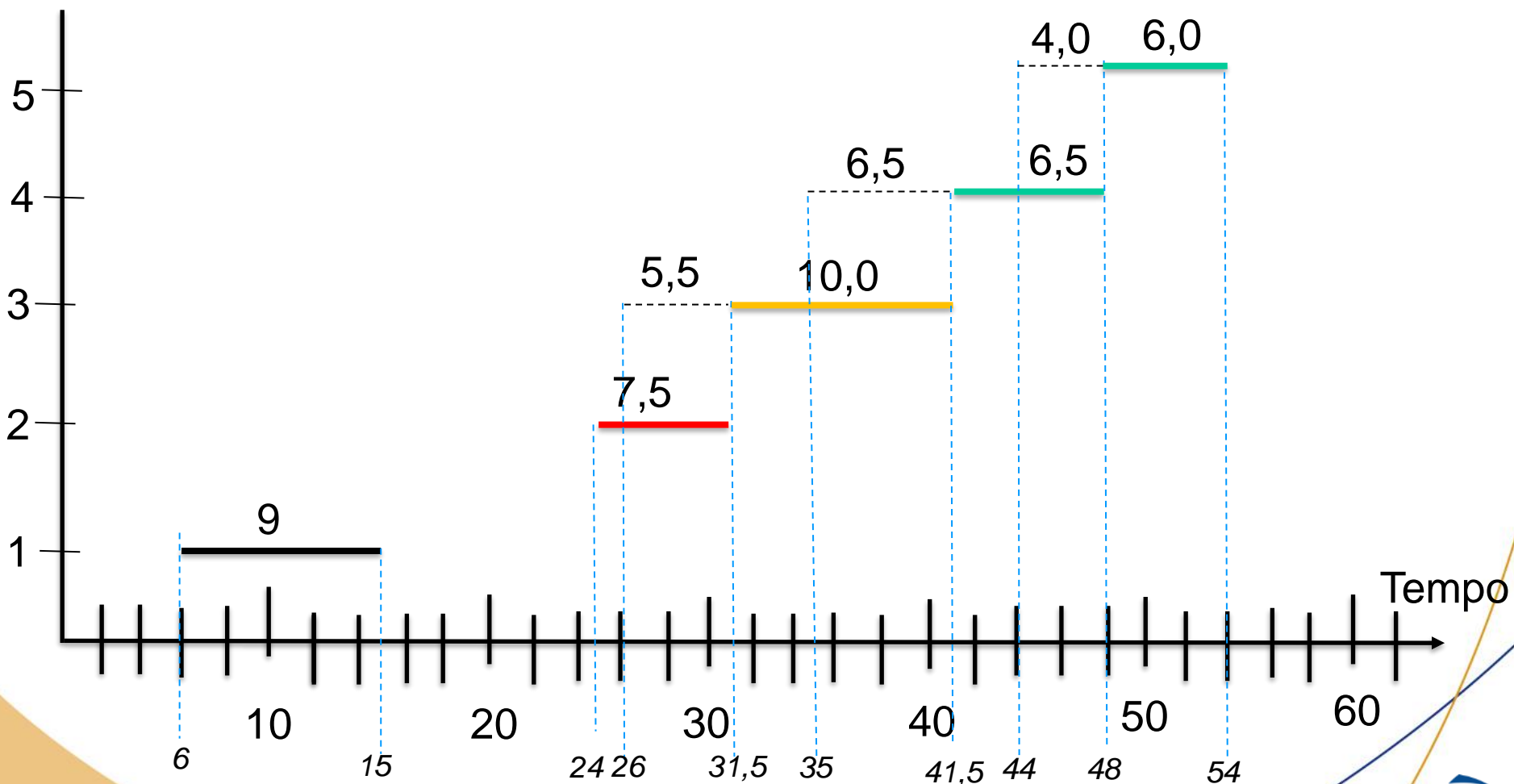
A	B	C	D	E	F	G
Solici- tação	Momento de Chegada	Tempo de Atendimento	Momento de Entrada em Atendimento	Momento de Saída	Tempo de Espera na Fila	Tempo Total Gasto
1	6,0	9,0	6,0	15,0	0,0	9,0
2	24,0	7,5				
3	26,0	10,0				
4	35,0	6,5				
5	44,0	6,0				
6	52,0	5,0				
7	58,0	9,0				
8	70,0	7,5				
9	77,0	6,5				
10	89,0	11,0				

Construção e Execução de Modelo

A	B	C	D	E	F	G
Solici- tação	Momento de Chegada	Tempo de Atendimento	Momento de Entrada em Atendimento	Momento de Saída	Tempo de Espera na Fila	Tempo Total Gasto
1	6,0	9,0	6,0	15,0	0,0	9,0
2	24,0	7,5	24	31,5	0,0	7,5
3	26,0	10,0	31,5	41,5	5,5	15,5
4	35,0	6,5	41,5	48,0	6,5	13,0
5	44,0	6,0	48,0	54,0	4,0	10,0
6	52,0	5,0	54,0	59,0	2,0	7,0
7	58,0	9,0				
8	70,0	7,5				
9	77,0	6,5				
10	89,0	11,0				

Construção e Execução de Modelo

Solicitação





TABELAS DE DÍGITOS ALEATÓRIOS

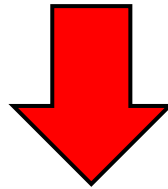
Tabela de Dígitos Aleatórios

- ❑ Os eventos podem ocorrer de forma aleatória (como na vida real)
- ❑ Essa aleatoriedade pode ser implementada por meio do uso de uma Tabela de Dígitos Aleatórios.
 - Números gerados por algoritmos são chamados de pseudo-aleatório.

Simulação de Sistemas de Filas

❑ Sistema de fila única – Tempos de Chegada.

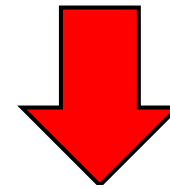
- Tempos entre chegadas e tempos de serviço são gerados com base numa distribuição de números aleatórios.
- Gerados números aleatórios de 1 a 6



Elemento (cliente)	Tempo entre chegadas	Instante de chegada pelo relógio
1	-	0
2	2	2
3	4	6
4	1	7
5	2	9
6	6	15

Simulação de Sistemas de Filas

- ❑ **Sistema de fila única – Tempos de Serviço**
 - Gerados números aleatórios de 1 a 4



Elemento (cliente)	Tempo de Serviço
1	2
2	1
3	3
4	2
5	1
6	4

Simulação de Sistemas de Fila única

Números
aleatórios



Números
aleatórios

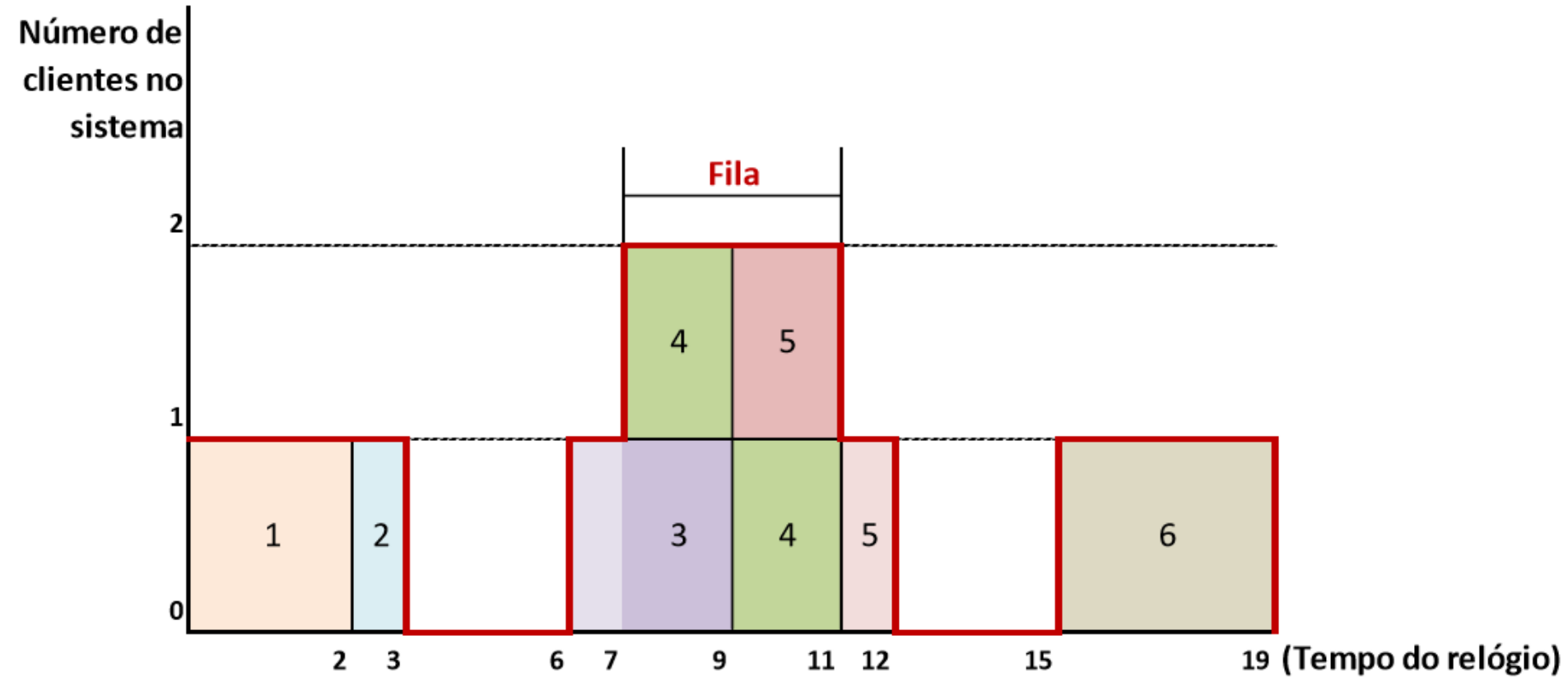


Elemento (cliente)	Instante de Chegada (tempo do relógio)	Início do Serviço (tempo do relógio)	Tempo de Serviço (duração)	Fim do Serviço (tempo do relógio)
1	0	0	2	2
2	2	2	1	3
3	6	6	3	9
4	7	9	2	11
5	9	11	1	12
6	15	15	4	19

Simulação de Sistemas de Fila única

Tipo do evento	Identificação do elemento (cliente)	Tempo do relógio
Chegada	1	0
Saída	1	2
Chegada	2	2
Saída	2	3
Chegada	3	6
Chegada	4	7
Saída	3	9
Chegada	5	9
Saída	4	11
Saída	5	12
Chegada	6	15
Saída	6	19

Simulação de Sistemas de Fila única



Simulação de Sistemas de Filas (Exemplo 2)

- ❑ Probabilidade dos tempos entre chegadas no servidor

Tempo entre chegadas (minutos)	Probabilidade
1	0,125
2	0,125
3	0,125
4	0,125
5	0,125
6	0,125
7	0,125
8	0,125

Simulação de Sistemas de Filas (Exemplo 2)

- ❑ Distribuição dos tempos entre chegadas no servidor

Tempo entre chegadas (minutos)	Probabilidade	Probabilidade Cumulativa	Dígitos aleatórios considerados
1	0,125	0,125	001 – 125
2	0,125	0,250	126 – 250
3	0,125	0,375	251 – 375
4	0,125	0,500	376 – 500
5	0,125	0,625	501 – 625
6	0,125	0,750	626 – 750
7	0,125	0,875	751 – 875
8	0,125	1,000	876 - 1000

Simulação de Sistemas de Filas (Exemplo 2)

❑ Determinação dos tempos entre chegadas no servidor

Cliente	Dígitos Aleatórios	Tempo entre Chegadas (minutos)
1	-	-
2	913	8
3	727	6
4	015	1
5	948	8
6	309	3
7	922	8
8	752	7
9	353	2
10	302	3
11	109	1
12	093	1
13	607	5
14	738	6
15	359	3
16	888	8
17	106	1
18	212	2
19	493	4

Simulação de Sistemas de Filas (Exemplo 2)

- ❑ Probabilidade dos tempos de serviço

Tempo de serviço (minutos)	Probabilidade
1	0,10
2	0,20
3	0,30
4	0,25
5	0,10
6	0,05

Simulação de Sistemas de Filas (Exemplo 2)

- ❑ Distribuição dos tempos de serviço

Tempo de serviço (minutos)	Probabilidade	Probabilidade Cumulativa	Dígitos aleatórios considerados
1	0,10	0,10	001 – 010
2	0,20	0,30	011 – 030
3	0,30	0,60	031 – 060
4	0,25	0,85	061 – 085
5	0,10	0,95	086 – 095
6	0,05	1,00	096 – 100

Simulação de Sistemas de Filas (Exemplo 2)

❑ Determinação dos tempos de serviço

Cliente	Dígitos Aleatórios	Tempo de Serviço (minutos)
1	084	4
2	010	1
3	074	4
4	053	3
5	017	2
6	079	4
7	091	5
8	067	4
9	089	5
10	038	3
11	032	3
12	094	5
13	079	4
14	005	1
15	079	5
16	084	4
17	052	3
18	055	3
19	030	2

Simulação de Sistemas de Filas (Exemplo 2)

❑ Determinação dos tempos de serviço

Cliente	Momento de Chegada	$T_{\text{Atendimento}}$	Momento de Entrada em Atendimento	Momento de Saída	$T_{\text{espera na Fila}}$	$T_{\text{TotalGasto}}$
1	0	4	0	4	0	4
2	8	1				
3	14	4				
4	15	3				
5	23	2				
6	26	4				
7	34	5				
8	41	4				
9	43	5				
10	46	3				
11	47	3				
12	48	5				
13	53	4				
14	59	1				
15	62	5				
16	70	4				
17	71	3				
18	73	3				
19	77	2				
20	82	3				

Simulação de Sistemas de Filas (Exemplo 2)

Cliente	Momento da Chegada	$T_{serviço}$	Momento da Entrada em Atendimento	Momento da Saída	$T_{espera na Fila}$	$T_{total\ Case}$
1	0	4	0	4	0	4
2	2	1				
3	14	4				
4	15	2				
5	22	2				
6	26	4				
7	34	5				
8	41	4				
9	42	5				
10	44	2				
11	47	2				
12	48	5				
13	52	4				
14	59	1				
15	62	5				
16	70	4				
17	71	2				
18	73	2				
19	77	2				
20	82	2				

Exercício: Calcular os seguintes valores

- ☐ Tempo médio de permanência no sistema
- ☐ Tempo médio do serviço.
- ☐ Tempo médio de permanência de um cliente na fila de espera
- ☐ Porcentagem de ocupação do servidor.
- ☐ Tempo médio de espera no sistema (qualquer cliente)
- ☐ Porcentagem de clientes em fila de espera.
- ☐ Tempo médio entre as chegadas de cliente