

FILAS

Mestrado em Engenharia Elétrica

Carlos Marcelo Pedroso

2013



Ementa

- Projeto de redes de computadores via estudos analíticos e de ferramentas de simulação.

Bibliografia básica

- JAIN, Raj. The art of computer systems performance analysis.
- WILLINGER, PARK. Self similar network traffic and performance evaluation.
- PRADO, Darci. Teoria de filas e de simulação.
- BANKS, Jerry. Discrete event system simulation.
- TANENBAUM, Andrew. Computer networks.
- FLOYD, Sally, PAXSON, Vern. Wide Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.3, No.3, June 1995

Temas de Estudo

- **Introdução a teoria de filas**
 - Processo de chegada e atendimento.
 - Modelo M/M/1 (Uniservidor).
 - Modelo M/M/c (Multiservidor).
 - Multiservidor com perda de chamada.
 - Disciplinas de gerência de filas.
 - Exemplos de aplicação.



Temas de Estudo

- **Simulação de sistemas**
 - Simulador de redes NS-2;
- **Análise de resultados de uma simulação**
 - Tempo de simulação;
 - Confiabilidade do resultado;
 - Intervalos de confiança.
- **Disciplinas de escalonamento de pacotes**
 - WRR, WFQ, CBQ.



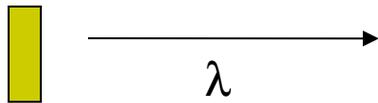
Elementos da rede

- Roteadores (capacidade de processamento, buffer, algoritmos de escalonamento);
- Computadores;
- Taxas de transmissão dos enlaces
- etc.

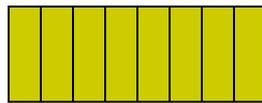
Teoria de Filas

- É uma das abordagens mais utilizadas no estudo de desempenho e dimensionamento de redes;

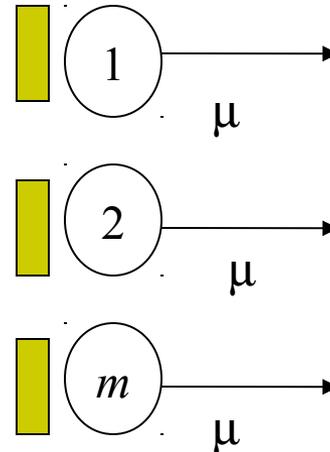
Chegada



Fila

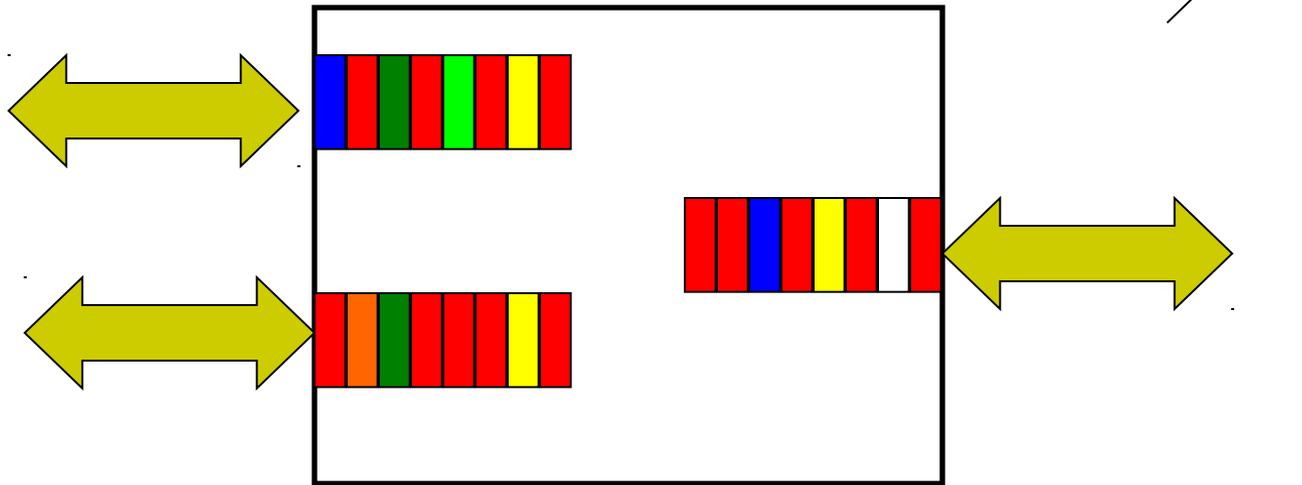


Serviço



Teoria de Filas

- Suponha um roteador:



- Os links são full duplex
- O processo de roteamento insere pacotes no buffer

Teoria de filas

- O desempenho de cada fila pode ser estudado individualmente
- Deve-se conhecer:
 - Caracterização da chegada de pacotes;
 - Caracterização do tamanho dos pacotes;
- Deseja-se determinar:
 - Taxa de transmissão dos enlaces;
 - Capacidade de buffer dos equipamentos.

Teoria de Filas

- Notação básica:
 - $\lambda \Rightarrow$ taxa média de chegada
 - $\lambda=1/IC$, IC é o intervalo médio entre pacotes
 - $\mu \Rightarrow$ taxa média de atendimento
 - $\mu= 1/TA$, TA é o tempo médio de atendimento
 - TF, TS, TA: Tempo na fila, tempo no sistema e tempo de atendimento
 - $TS=TF+TA$

Teoria de Filas - Notação

- Para o estudo de filas, convencionou-se a seguinte notação: $A/S/m/B/K/SD$
 - A indica a distribuição de probabilidade do intervalo entre chegadas;
 - S indica a distribuição de probabilidade do tempo de atendimento;
 - M é o número de servidores;
 - B é a capacidade do buffer;
 - K é o tamanho da população;
 - SD é a disciplina da fila (ex. Fifo).

Teoria de Filas - Notação

- As distribuições são indicadas por:
 - M – Exponencial
 - E – Erlang
 - H – Hyperexponencial
 - D – Determinística
 - G – Geral

M/M/1 com população infinita

$$NF = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$TF = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$NS = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

$$TS = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

$$P_n = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$$

P_n é a probabilidade de existirem n clientes no sistema

Exemplo

- Suponha uma interface de um roteador, transmitindo uma média de 100 pacotes/segundo. O tamanho médio do pacote é de 1000 bytes. A taxa de transmissão do enlace é de 1M b/s. Considerando que o intervalo entre chegadas e o tamanho do pacote podem ser modelados utilizando a distribuição exponencial (sistema M/M/1), determine:
 - O tempo médio de atraso dos pacotes devido à fila no roteador e o tempo médio entre a recepção do pacote e sua transmissão (atraso no enlace);
 - O número médio de pacotes no buffer;
 - Se o buffer foi dimensionado para suportar o número médio de pacotes, qual será a probabilidade de perda de pacote?

Resposta

- Com 100 p/s com tamanho médio do pacote de 1000 bytes, temos uma taxa de transmissão de $100 * 1000 * 8 = 800.000$ b/s;
- Como a taxa de transmissão do enlace é de 1M b/s, o tempo médio de atendimento será de $TA = 1000 * 8 / 1M = 8ms$;
- Das equações do modelo M/M/1, calculamos $TF = 0,032s$ e $TS = 0,04s$; $NF = 3,2$ pacotes;
- Se o buffer for de 3200 bytes, calculamos $P_0 = 0,2$; $P_1 = 0,16$; $P_2 = 0,128$ e $P_3 = 0,1024$. Logo, $P_{n>3} = 1 - (P_0 + P_1 + P_2 + P_3) = 0,41$
Se o buffer for dimensionado desta maneira, 41% dos pacotes serão descartados.
- Note que a rede não está completamente congestionada, mas apresenta um desempenho muito ruim: na prática, esta quantidade de descarte provoca o colapso do enlace.

M/M/c com população infinita

- As fórmulas para o modelo M/M/c são relativamente complexas;

$$TF = TA \left[\frac{1 - A}{M(1 - \rho)(1 - \rho A)} \right]$$

$$A = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \frac{(M\rho)^i}{i!}}{\sum_{i=0}^M \frac{(M\rho)^i}{i!}}$$

- Normalmente, utiliza-se a abordagem gráfica para resolução de problemas.

M/M/c com população infinita

- As fórmulas para o modelo M/M/c são relativamente complexas;

$$TF = TA \cdot \frac{1 - A}{(1 - \rho)(1 - \rho A)}, \quad A = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \frac{(M\rho)^i}{i!}}{\sum_{i=0}^M \frac{(M\rho)^i}{i!}}$$

- Normalmente, utiliza-se a abordagem gráfica para resolução de problemas.

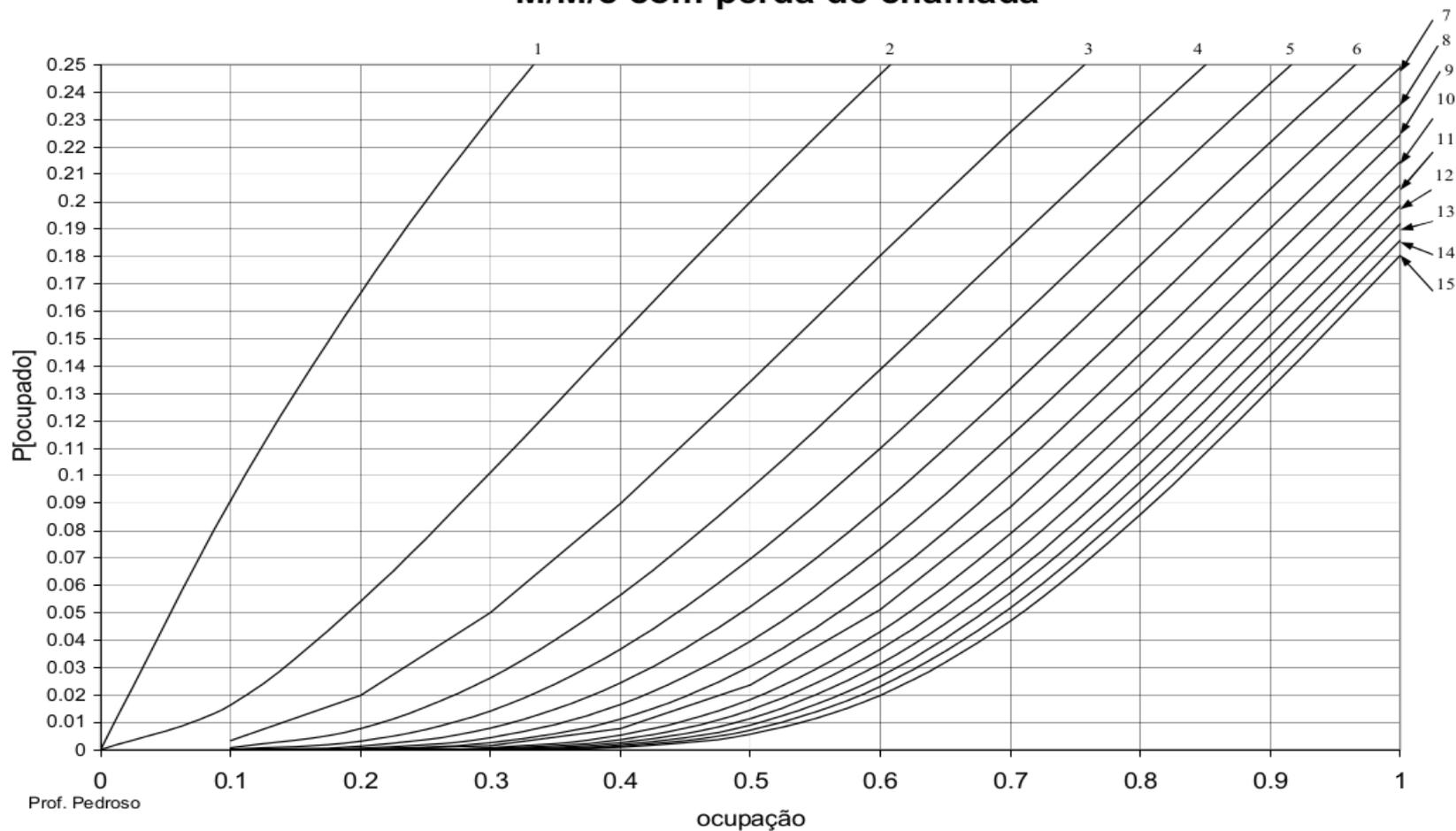
M/M/c com perda de chamada

- Para o sistema M/M/c com perda de chamada temos:

$$P[\textit{ocupado}] = \frac{(M\rho)^M / M!}{\sum_{i=0}^M \frac{(M\rho)^i}{i!}}$$

M/M/c com perda

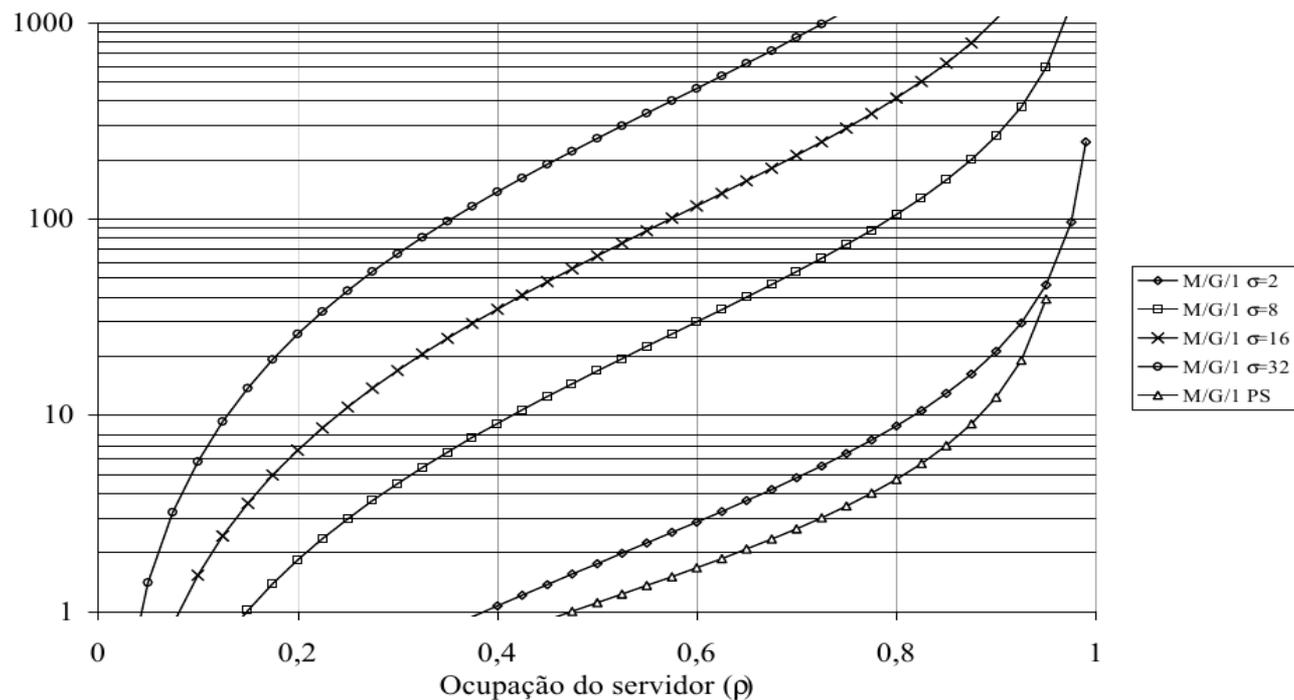
M/M/c com perda de chamada



Exemplo

- Suponha um provedor de acessos a Internet que recebe uma média de 20 requisições/hora. O tempo médio de conexão é de 10 minutos. Qual a quantidade de modems necessária para oferecer uma boa qualidade aos usuários?

M/G/1



$$\bar{N}_S = \frac{\rho^2}{2 \cdot (1 - \rho)} \cdot \left[1 + \frac{\sigma^2}{TA^2} \right] + \rho, \quad \rho < 1$$



Outros modelos

A literatura apresenta uma série de modelos prontos:

- Consultar:
 - “The Art of Computer Systems Performance Analysis”, Raj Jain.
 - “Discrete Event System Simulation”, Jerry Banks.