

# UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA AVALIAR O DESEMPENHO DE REDES DE COMPUTADORES

*Marcos Antônio Gonçalves Brasileiro†*

*Maria Izabel Cavalcanti Cabral‡*

*Hélio de Menezes Silva‡*

Departamento de Engenharia Elétrica†  
Departamento de Sistemas e Computação‡  
Universidade Federal da Paraíba

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma ferramenta amigável para auxiliar os usuários de sistemas que exibem contenção de recursos na avaliação do desempenho desses sistemas. Esta ferramenta, denominada SAVAD, constitui-se de um sistema especialista que permite facilmente construir e solucionar modelos de redes de computadores com integração de serviços. Destaca-se neste trabalho, principalmente, a utilização do elemento denominado ponto escalonador, especialmente projetado para facilitar a modelagem de redes locais de computadores.

## ABSTRACT

Solving models for networks of queues is not an easy task. Usually, only experts on performance evaluation are acquainted with this kind of work. This paper shows a friendly tool that can be used by its users while evaluating the performance of systems that can be modelled by a network of queues. This tool, named SAVAD, is an expert system that can be easily used for solving computer network models that exhibit integration of services. Mainly, this paper focuses on a particular element called scheduler point, specially designed for modelling Local Area Computer Networks (LANs), under integrated loads (e.g. voice and data).

## 1. INTRODUÇÃO

Avaliar o desempenho de uma Rede de Computadores na sua fase de projeto pode não ser uma tarefa simples. Geralmente exigem-se a construção de um modelo e a escolha de técnicas matemáticas não triviais que possam solucionar esse modelo.

Redes de Computadores são sistemas que apresentam contenção de recursos, sendo geralmente analisadas através do paradigma de redes de filas [1]. Uma rede de filas é um modelo onde se considera a existência de múltiplos sistemas de filas operando assíncrona e concorrentemente, e interconectados segundo uma topologia específica.

○ Solucionar modelos de redes de filas ainda é uma tarefa complexa, executada apenas por aqueles que possuem amplo conhecimento das técnicas disponíveis na literatura especializada. Essas técnicas podem ser *exatas*, substanciadas pela Teoria das Filas [2], e podem ser *aproximadas* [3]. As técnicas aproximadas geralmente utilizam métodos numéricos para solucionar modelos de redes de filas. A simulação digital é a técnica aproximada mais usada, onde um programa de computador simula o funcionamento do sistema. GPSS [4], SIMULA [5], SIMSCRIPT [6] e RESQ [7] são alguns exemplos dessas linguagens.

Este trabalho apresenta o Sistema de Avaliação de Desempenho de Redes de Filas (SAVAD) como uma ferramenta para avaliar o desempenho de sistemas de redes de filas. Essa ferramenta constitui-se de um sistema especialista onde, a partir de um modelo de redes de filas submetido pelo usuário, este procura uma solução para o modelo e fornece as medidas de desempenho solicitadas. Para isto, este sistema deve escolher adequadamente as técnicas a serem utilizadas, sejam estas exatas ou aproximadas.

O SAVAD permite a construção de modelos com múltiplas classes de clientes, i.e., clientes com atributos distintos. Esta opção do SAVAD permite construir com facilidade modelos de redes de computadores com integração de serviços. Destaca-se neste trabalho, principalmente, o emprego de um elemento do SAVAD denominado **ponto escalonador**, especialmente projetado para a construção de modelos de redes locais e de redes a longa distância. Devido à versatilidade desse elemento, a modelagem da integração de serviços em redes de computadores é prontamente simplificada. Neste sentido, este artigo apresenta a modelagem da integração de voz e dados em redes locais usando o ponto escalonador citado.

O SAVAD, atualmente em fase de prototipagem usando a metodologia orientada a objeto, é um projeto multidisciplinar da UFPB envolvendo seus grupos de pesquisas das áreas de redes de computadores e inteligência artificial. As demais seções deste trabalho são as seguintes: a seção 2 apresenta uma visão geral do SAVAD mostrando os módulos básicos que o configuram e os elementos que permitem aos seus usuários construir modelos de redes de filas para serem submetidos a este sistema; a seção 3 apresenta a modelagem da integração de voz e dados em redes locais com passagem de ficha e CSMA/CD, destacando nessa modelagem, a utilização do elemento do SAVAD denominado ponto escalonador, finalmente, a seção 4 apresenta a conclusão deste trabalho.

## 2. O SAVAD

O SAVAD é um sistema especialista numérico voltado para auxiliar os usuários na avaliação de desempenho de sistemas que apresentam contenção de recursos. Sistemas de computadores, sistemas de redes de computadores, sistemas de manufaturas são alguns exemplos de sistemas que exibem esta característica. Devido à facilidade de utilização do SAVAD, seus usuários não precisam necessariamente ser especialistas em modelagem e avaliação de desempenho desses sistemas.

O SAVAD, atualmente na fase de prototipagem usando a metodologia de programação orientada a objeto, está sendo implementado em ambiente compatível com microcomputadores IBM-PC, usando a linguagem C++ [8].

Esta seção apresenta os módulos básicos que compõem o SAVAD como também a descrição dos elementos que permitem aos seus usuários a construção de modelos de redes de filas que serão avaliados por este sistema.

## 2.1 Módulos Básicos

Apresenta-se a seguir, uma descrição sucinta das funções de cada um dos módulos básicos que configuram o SAVAD. A figura 1 mostra como esses módulos interagem.

- **Interface:** permite uma fácil interação entre o usuário e o sistema especialista. Esse módulo habilita o usuário a especificar o seu modelo, solicitar as medidas de desempenho desejadas ou mesmo solicitar ao sistema informações sobre a escolha de uma técnica usada na solução de um modelo. É também através deste módulo que o usuário recebe as informações fornecidas pelo SAVAD.
- **Base de Fatos:** é um modelo da rede específica a ser avaliada. A definição deste modelo é feita através da instanciação de objetos cujas classes já estão definidas em SAVAD, conforme os elementos apresentados na seção 2.2.
- **Base de Conhecimento:** é constituída por regras. Um exemplo destas regras é dado a seguir.

*SE* a rede (ou parte dela) casa com o padrão P apropriado para o método M de solucionamento,

*E* sabe-se que, após este eventual solucionamento, a [sub]rede pode ser reduzida,

*ENTÃO* acione o método M e reduza a [sub]rede.

- **Motor de Inferência:** a cada iteração, percorre as regras, no sentido do método mais simples (sistema M/M/1) para o mais complexo (simulador), procurando disparar uma delas.
- **Explicação:** permite, desde que solicitado pelo usuário, explicar os motivos que levaram o sistema especialista a escolher uma solução para um modelo proposto, ou mesmo explicar porque um determinado modelo não pode ser solucionado por esse sistema.

- **Solução:** tem a finalidade de solucionar os modelos de redes de filas propostos pelos usuários, usando para isto as soluções indicadas pelo motor de inferência. Esse módulo divide-se em duas partes: a primeira, composta de rotinas implementadas com a finalidade de solucionar modelos de redes de filas usando técnicas exatas (e também aproximadas) baseadas na Teoria das Filas. A segunda parte, composta de um programa simulador cujo objetivo é solucionar modelos de redes de filas que apresentem restrições que invalidam ou dificultam a utilização das soluções disponíveis na primeira parte deste módulo.

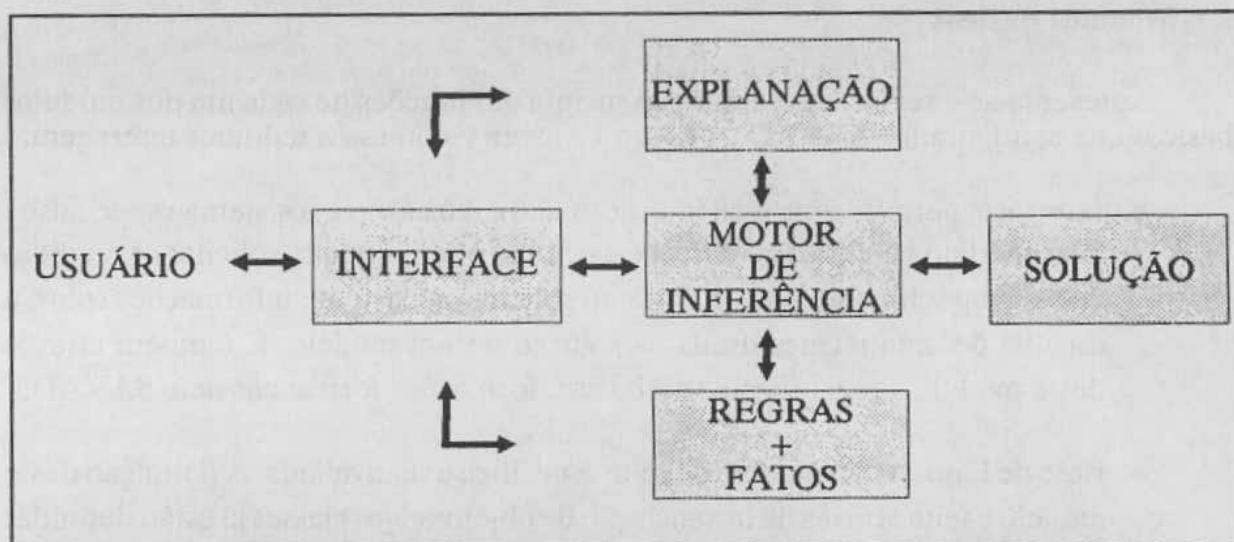


Figura 1: Módulos do SAVAD

## 2.2. Elementos do SAVAD

Os elementos disponíveis pelo SAVAD permitem a construção de modelos de redes de filas de sistemas que apresentam contenção de recursos. Esses elementos foram particularmente projetados para facilitar a modelagem de sistemas de redes de computadores com integração de serviços. Seguem as descrições desses elementos, ressaltando-se algumas de suas aplicações em modelos de redes de computadores.

### ● Clientes

Clientes são as entidades temporárias que circulam através dos nodos (elementos) do modelo solicitando serviços. Clientes podem representar processos em um sistema de computadores, usuários em terminais, mensagens, pacotes em uma rede de computadores ou mesmo um produto em um sistema de manufatura.

O caminho a ser seguido por um cliente é denominado **rota**. Clientes de uma mesma classe possuem os mesmos atributos (e.g., tipo de mensagens, nível de prioridade).

### ● Estações de Serviço

Estações de serviço representam os recursos ou as entidades permanentes de um modelo de redes de filas. Servidores de arquivos e canais de transmissão de informação são exemplos de estações de serviço em modelos de redes de computadores. Estações de serviço podem ser constituídas de um ou mais servidores, que são entidades permanentes que atendem os clientes, um de cada vez.



Uma sequência de clientes chega a uma estação de serviço de acordo com um padrão ou processo estocástico de chegada. Se o cliente recém-chegado encontrar a estação ocupada, ele entra na fila de espera. A um certo tempo será selecionado para serviço, de acordo com alguma **disciplina de escalonamento**. O cliente é então servido (usa a estação por um período de tempo segundo uma distribuição de probabilidades ou por um número de unidades de tempo especificado pelo usuário), após o que deixa a estação.

Clientes que solicitam serviços a uma estação de serviço podem pertencer à classes diferentes. Clientes de mesma classe possuem iguais distribuições de probabilidades de tempos de serviço, médias, disciplinas de escalonamento e prioridades.

As distribuições de probabilidades permitidas para os tempos de serviços podem ser dos seguintes tipos: **uniforme** (distribuída uniformemente num intervalo dado), **exponencial** (com média especificada pelo usuário), **determinística** e **geral** (definida pelo usuário).

As disciplinas de escalonamento disponíveis são as seguintes: "First Come First Served" - FCFS (Primeiro que Chega, Primeiro é Servido), "Last Come First Served" - LCFS (Último que Chega, Primeiro é Servido).

O SAVAD permite os seguintes tipos de estações de serviço:

- a) **Servidor Simples:** Estação de serviço com uma fila, uma ou mais classes de clientes e um servidor único.
- b) **Servidor Múltiplo:** Estação de serviço com uma fila, uma ou mais classes de clientes e múltiplos servidores com iguais distribuições de tempo de serviço.
- c) **Servidor Infinito:** Estação de serviço com um número não limitado de servidores, i.e., para cada cliente que chega a esta estação de serviço, há um servidor disponível para servi-lo. O elemento servidor infinito pode ser usado, por exemplo, em modelos de sistemas de computadores com um número fixo de usuários usando estes sistemas iterativamente.

As filas dos servidores simples e dos servidores múltiplos podem ter comprimentos limitados ou ilimitados. Se uma fila de um desses servidores apresentar limitação de comprimento, esta deverá ser indicada através do parâmetro **k** associado a esta fila. Se este parâmetro não é utilizado, o SAVAD assume como "default" um comprimento de fila ilimitado.

A figura 2(a) mostra a representação gráfica das estações de serviço acima descritas, onde os retângulos representam as filas e os círculos representam os servidores.

#### ● Pontos de Controle

Denominam-se **pontos de controle** aos nodos que permitem controlar o fluxo de clientes nos modelos de redes de filas. Esses elementos foram particularmente projetados para facilitar a modelagem de sistemas de redes de computadores, especialmente redes locais e redes a longa distância com integração de serviços. O SAVAD dispõe dos seguintes pontos de controle:

- 1) **Ponto de Duplicação:** Possibilita a duplicação de clientes que chegam a este nodo. Possui uma entrada e duas saídas que podem pertencer a rotas distintas. Pontos de duplicação aplicam-se, por exemplo, a modelos de redes de comutação de pacotes

que utilizam um mesmo pacote para enviar dados e informações de controle (reconhecimento de pacotes recebidos). No nodo de destino, esses pacotes são interpretados (a nível de modelo estes pacotes são duplicados em pacotes de dados e pacotes de reconhecimentos) e ações distintas são executadas.

- 2) **Ponto de Fusão:** Faz a fusão de dois ou mais clientes em um único cliente. Clientes que chegam a um mesmo ponto de fusão devem pertencer a uma mesma classe. Associado a esse nodo existe um parâmetro  $n$  que determina o número de clientes que devem ser fundidos. Pontos de duplicação e pontos de fusão podem ser usados conjuntamente em modelos de redes de comutação de pacotes em que mensagens são quebradas em pacotes numa entidade de transporte de referência, sendo reconstituídas na respectiva entidade de transporte par.
- 3) **Ponto de Sincronização:** Pode bloquear clientes, num modelo de redes de filas, até que uma dada condição seja satisfeita, quando então libera esses clientes com uma disciplina de liberação determinada pelo usuário. Um ponto de sincronização pode possuir:
  - a) duas entradas com duas saídas correspondentes;
  - b) duas entradas com somente uma saída correspondente a uma das entradas, e,
  - c) uma entrada com uma saída correspondente.

Nas alternativas (a) e (b), a condição para a liberação de clientes depende das filas de entrada do ponto de sincronização alcançarem ambas os limites impostos pelo usuário. Esses limites são definidos através dos parâmetros  $n_1$  e  $n_2$ , respectivamente associados às entradas 1 e 2. A disciplina de liberação de clientes é também definida por esses parâmetros, cujos possíveis valores são mostrados a seguir:

$n_1$  (ou  $n_2$ ): inteiro positivo (libera  $n_1$  (ou  $n_2$ ) clientes, um de cada vez).

$-n_1$  (ou  $-n_2$ ): inteiro negativo (libera até  $n_1$  (ou  $n_2$ ) clientes, um de cada vez). Nesta opção, a fila correspondente à entrada 2 (ou 1) deve ter  $n_2$  (ou  $n_1$ ) clientes.

Um ponto de sincronização com apenas uma entrada e sua saída correspondente (alternativa c), possui apenas um parâmetro  $n$  a ele associado. Nessa alternativa, a condição de liberação de clientes resume-se ao número de clientes na fila de entrada alcançar o valor (ou um dos valores) definido pelo parâmetro  $n$  (atribui-se para  $n$  os mesmos possíveis valores apresentados para  $n_1$  (ou  $n_2$ )).

Pontos de sincronização são elementos poderosos na modelagem de funções e de serviços das camadas de uma arquitetura de redes de computadores. Pode-se citar como exemplos, a função controle de fluxo da camada de transporte, os serviços gerência de interação e quarentena de dados da camada de sessão. Em [9], encontra-se um exemplo da utilização do ponto de sincronização na modelagem da função controle de fluxo da camada de transporte usando o protocolo janela deslizante.

- 4) **Ponto Escalonador:** escalona clientes conforme uma disciplina estabelecida pelo usuário. Um ponto escalonador pode possuir uma ou mais filas de clientes, conforme determinado pelo parâmetro  $n$  associado a este elemento. Os clientes de

uma fila devem pertencer a uma mesma classe, contudo, filas distintas podem ter clientes de mesma classe.

Da mesma forma, já descrito para as filas do ponto de sincronização, as filas do ponto escalonador podem ter comprimento limitado ou não. No primeiro caso, este comprimento deve ser indicado através do parâmetro  $k$  associado a cada uma das filas do ponto escalonador. Se este parâmetro não for indicado, o SAVAD assume como "default" um comprimento de fila sem limite.

O ponto escalonador torna-se ativo quando o elemento do modelo que o segue não está bloqueado, isto é, este pode receber um cliente do ponto escalonador. Um ponto escalonador ativo escalona uma de suas filas podendo liberar um cliente desta fila de cada vez. Os clientes de uma fila são liberados conforme disciplina FCFS. Se uma fila escalonada não contiver um cliente, o ponto escalonador passa então para uma outra fila. O escalonamento de filas ocorre conforme uma das seguintes disciplinas:

- a) **Cíclica:** filas são escalonadas conforme um vetor contendo os seus números associados. Nesta disciplina, um número de uma fila pode constar mais de uma vez neste vetor, e, após o escalonamento da fila correspondente ao último número, o escalonamento volta a ser feito a partir da fila associada ao primeiro número deste vetor.

A possibilidade de repetição de um número associado a uma dada fila no vetor possibilita um escalonamento de uma fila com liberação de seus clientes de forma exaustiva, isto é, somente após a liberação de todos os clientes desta fila, é que o ponto escalonador passa à fila seguinte, conforme disposição do vetor a ele associado.

O "default" para a disciplina cíclica é o escalonamento de filas de forma sequencial, liberando apenas um cliente de cada fila escalonada (disciplina de liberação de clientes não exaustiva). A seguir, apresentam-se exemplos de vetores de escalonamento, supondo que há quatro filas associadas a um ponto de escalonamento.

- (1,3,2,4): o escalonamento das filas ocorre conforme a ordem apresentada pelo vetor (liberação não exaustiva).
- (1,1,2,3,4): a fila "1" quando escalonada, pode ser contemplada com a liberação de até dois clientes (caso o ponto escalonador continue ativo após a liberação do primeiro cliente), as demais filas somente têm seus clientes liberados um de cada vez.
- (1.,2,3,4): a fila "1" quando escalonada libera um a um todos os seus clientes (liberação exaustiva), as demais filas quando escalonadas somente podem liberar um cliente de cada vez.
- (1-4): este exemplo corresponde ao "default" desta disciplina, i.e., o escalonamento é feito sequencialmente da fila "1" à fila "4", liberando um cliente de cada vez.

- b) **Randômica:** nesta disciplina uma fila é escalonada de forma randômica, somente podendo liberar um cliente de cada vez. Um exemplo para este tipo



de disciplina é a modelagem de uma aplicação envolvendo um multiplexador estatístico, no tempo.

- c) **Livre:** nesta disciplina, quando o ponto escalonador é ativado, qualquer fila que não estiver vazia pode tentar liberar um cliente. Se ocorrer colisão de clientes (dois ou mais clientes de filas distintas tentam a liberação em um mesmo tempo), estes ficam bloqueados nas respectivas filas por um intervalo de tempo determinado por um algoritmo de retransmissão ("backoff"). Os algoritmos de retransmissão mais comuns usados em modelos de redes locais são: exponencial, em aplicações de dados e o exponencial polarizado, em aplicações da integração de voz e dados com protocolos de acesso do tipo CSMA/CD [10].

Pontos escalonadores são elementos particularmente voltados à modelagem de redes locais de computadores com integração de serviços. As opções de disciplinas de escalonamento cíclica e livre, atendem naturalmente à modelagem de redes locais com protocolos de acesso ao meio, respectivamente Passagem de Ficha e CSMA/CD. A próxima seção apresenta um exemplo da utilização do ponto escalonar na citada modelagem.

A figura 2(b) mostra as representações gráficas para os tipos de pontos de controle acima descritos.

- **Fontes**

Fontes são responsáveis pela geração de tráfego nos modelos de redes abertas de filas. Fontes geram clientes com tempos de interchegada definidos por uma distribuição de probabilidade ou por uma função que melhor se aplique ao modelo. As opções para essas distribuições de probabilidade, disponíveis pelo SAVAD, são iguais àquelas já apresentadas para a distribuição dos tempos de serviço das estações de serviço já mencionadas (uniforme, exponencial, determinística e geral).

Em modelos de redes abertas de filas, o processo de geração de clientes de uma fonte pode ser interrompido caso não haja espaço na fila do nodo que segue a fonte. Logo que exista esse espaço, o processo de geração de clientes volta a ser ativado. A ativação / desativação da geração de clientes torna-se necessária em modelos de redes de filas que têm restrições no comprimento de fila de alguns de seus nodos (servidores simples, servidores múltiplos, e pontos de sincronização).

A figura 2(c) mostra a representação gráfica de uma fonte. Nessa figura, a seta indica o sentido do escoamento do fluxo de tráfego gerado.

- **Sorvedouros**

Sorvedouros são nodos que eliminam clientes de um modelo. Normalmente sorvedouros são usados em modelos de redes abertas de filas onde clientes eventualmente abandonam o modelo. Este nodo não possui parâmetros, possui apenas uma entrada. A representação gráfica do sorvedouro é mostrada na figura 2(d).

- **Classes**

Na definição de um modelo de redes de filas há a necessidade de definir as classes de clientes que circulam pelo modelo. Associado a uma classe de clientes há um nome e



uma ou mais rotas. Se uma rota representa uma rede fechada de filas, a população desta rede é fixa, i.e., a classe tem um número fixo de clientes. Neste caso, o modelo deve informar sobre a população desta rede.

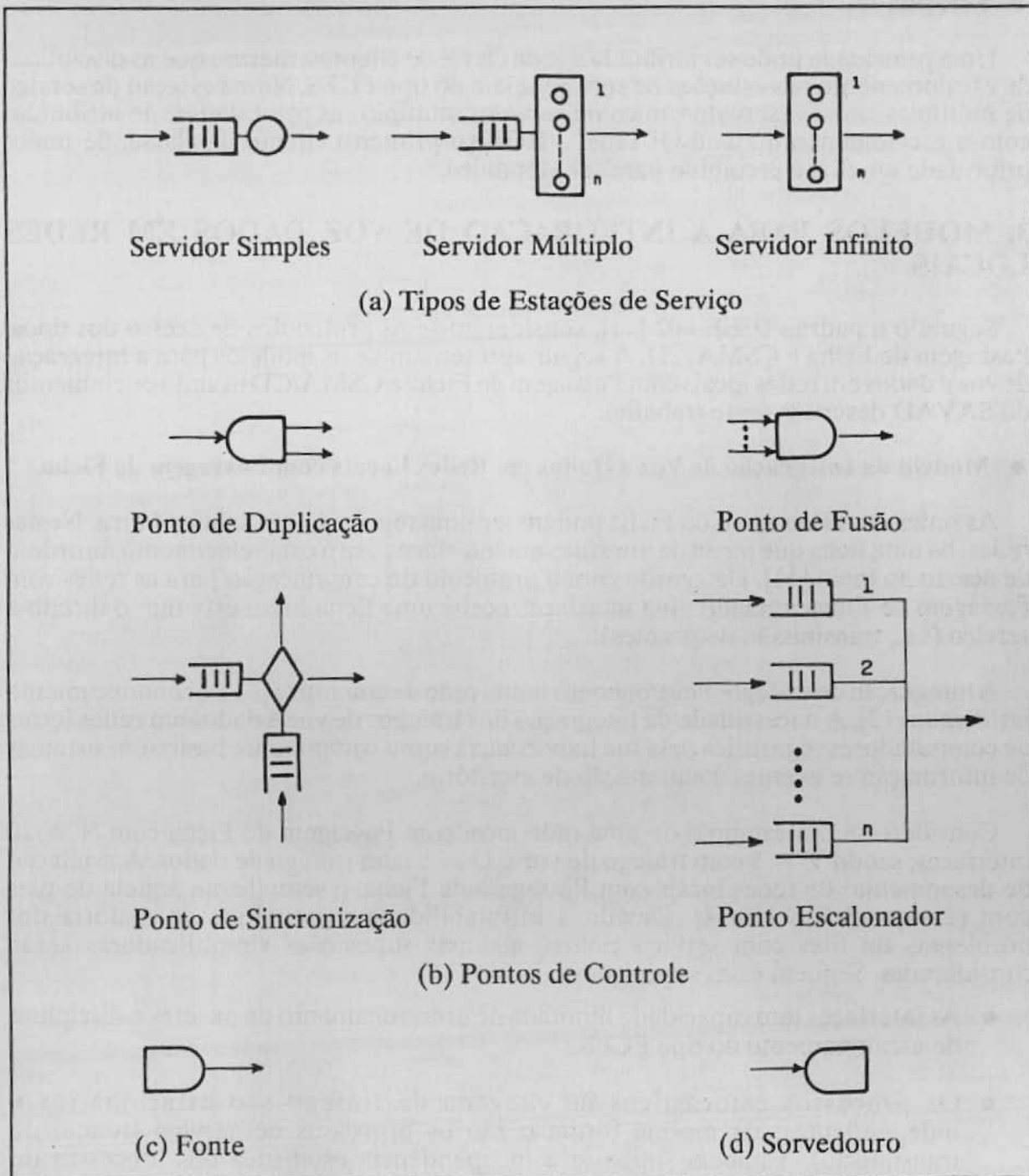


Figura 2: Elementos do SAVAD

Na versão atual do SAVAD, o roteamento de clientes é fixo, sendo definido através de um conjunto de probabilidades fixas associadas a cada rota, i.e., cada cliente que parte de um nodo seleciona uma ou mais possíveis destinos de acordo com as probabilidades prefixadas. Clientes de rotas distintas podem compartilhar seus nodos (exceção do nodo fonte que somente gera clientes para uma rota). Outros tipos de roteamento serão

considerados em versões futuras do SAVAD, como por exemplo, o roteamento adaptativo, utilizado em projetos de sub-redes de comunicação de dados.

- **Prioridades**

Uma prioridade pode ser atribuída a cada classe de clientes, mesmo que as disciplinas de escalonamento nas estações de serviço sejam do tipo FCFS. Numa estação de serviço de múltiplas classes (servidor único ou servidor múltiplo) as prioridades são atribuídas com o escalonamento "Head Of Line" - HOL (o primeiro cliente da classe, de maior prioridade em fila, é escolhido para ser atendido).

### **3. MODELOS PARA A INTEGRAÇÃO DE VOZ E DADOS EM REDES LOCAIS**

Segundo o padrão IEEE 802 [11], consideram-se os protocolos de acesso dos tipos: Passagem de Ficha e CSMA/CD. A seguir apresentam-se os modelos para a integração de voz e dados em redes locais com Passagem de Ficha e CSMA/CD usando os elementos do SAVAD descritos neste trabalho.

- **Modelo da Integração de Voz e Dados em Redes Locais com Passagem de Ficha.**

As redes com Passagem de Ficha podem ter uma topologia em anel ou barra. Nestas redes, há uma ficha que passa de interface em interface para o estabelecimento da ordem de acesso ao meio [11]. De acordo com o protocolo de comunicação para as redes com Passagem de Ficha, quando uma interface recebe uma ficha livre, esta tem o direito a serviço (i.e., transmissão de pacotes).

A integração de tráfegos heterogêneos numa rede de comunicação é economicamente justificada [12]. A necessidade da integração dos tráfegos de voz e dados em redes locais de computadores se justifica pela sua importância como componente básico em sistemas de informação relevantes à automação de escritório.

Considere-se um exemplo de uma rede local com Passagem de Ficha com  $N = 10$  interfaces, sendo  $V = 5$  com tráfego de voz e  $D = 5$  com tráfego de dados. A avaliação de desempenho de redes locais com Passagem de Ficha, é semelhante àquela de filas com serviço cíclico [13,14]. Devido à intratabilidade matemática da maioria dos problemas de filas com serviço cíclico, algumas suposições simplificadoras serão consideradas. Seguem essas suposições:

- As interfaces têm capacidade ilimitada de armazenamento de pacotes e disciplina de escalonamento do tipo FCFS.
- Os processos estocásticos de chegada de tráfego são estacionários e independentes; da mesma forma o são os processos de serviço (tempo de transmissão). Também supõe-se a independência estatística dos processos de chegada de tráfego e serviço.
- O processo de geração de pacotes de um interlocutor (fonte de voz) durante uma conversação é uma sequência de pacotes de comprimento fixo, espaçados de  $T_p$  segundos (gerados durante um surto de conversação), seguida de um intervalo de quietude equivalente ao comprimento do intervalo de silêncio. Esta sequência de pacotes e intervalos de quietude, alternam no tempo. A distribuição dos tempos de interchegada de pacotes de voz é do tipo geral, definida pelo usuário, conforme [16]. A taxa média de geração de pacotes é especificada por  $\lambda_v$  pacotes por segundo.

- O tráfego de dados é gerado conforme um Processo de Poisson com parâmetro  $\lambda_d$  pacotes por segundo.
- Para cada interface, a distribuição do tempo de transmissão de um pacote na sub-rede de comunicação é definida pelo usuário, de acordo com a natureza do tráfego. Portanto para o tráfego de voz (pacotes de comprimento fixo), o tempo de transmissão é fixo, definido por  $T_v$  segundos, enquanto para o tráfego de dados a distribuição do tempo de transmissão é exponencial com média  $\mu_d$  pacotes por segundo.
- Neste modelo, as medidas de desempenho de interesse são uma estimativa da probabilidade de perda de pacotes de voz (cauda da distribuição do atraso fim-a-fim) e atraso médio fim-a-fim (tempo médio de espera na fila adicionado ao tempo médio de transmissão na sub-rede de comunicação) para ambos os tipos de tráfego.

A figura 3 apresenta o modelo de redes de filas na integração dos tráfegos de voz e dados, em redes locais com Passagem de Ficha, usando os elementos disponíveis pelo SAVAD.

Na figura acima,  $f_{-V_i}$  ( $f_{-D_i}$ )  $i = 1,2,3,4,5$ , representam as fontes de geração de pacotes de voz (dados), conforme o processo de geração de pacotes já mencionado. Os "buffers" em cada interface e o protocolo de acesso de uma rede local com Passagem de Ficha são conjuntamente modelados por um ponto escalonador com 10 filas e disciplina de escalonamento cíclica não exaustiva. Os pacotes que chegam a cada fila do ponto escalonador, oriundos da fonte  $f_{-V_i}$  ( $f_{-D_i}$ ) pertencem à classe voz  $cl_V$  (classe dados  $cl_D$ ). Nas redes locais com Passagem de Ficha, quando uma ficha livre chega a uma interface, esta tem o direito de transmitir um pacote (disciplina não exaustiva) na sub-rede de comunicação. Estas ações correspondem ao ponto escalonador retirar um pacote da respectiva fila (interface receptora da ficha livre) e transferi-lo para o servidor

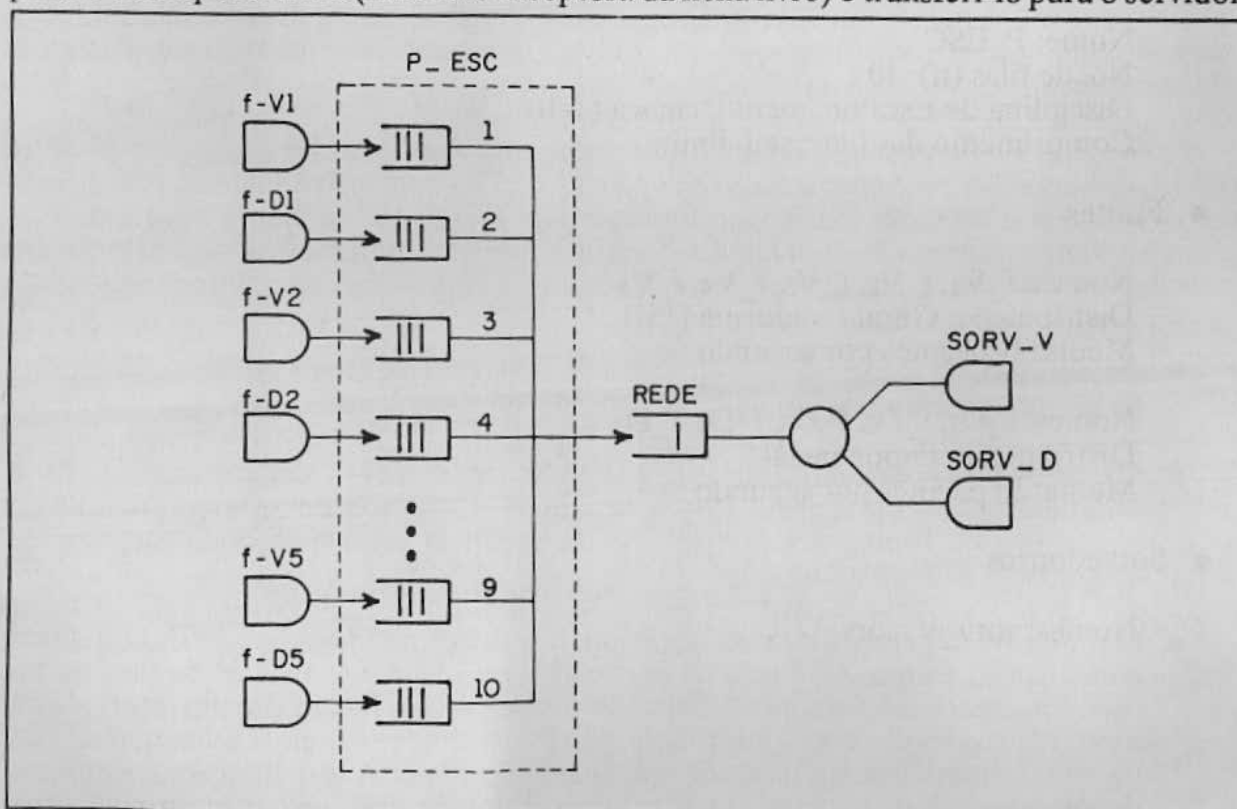


Figura 3: Rede de Filas para o Modelo de Int. de Voz e Dados



simples (nodo REDE) com fila de tamanho igual a 1 ( $k = 1$ ). Neste servidor o pacote é servido imediatamente segundo uma distribuição geral do tempo de serviço especificado para cada classe. Observe-se que o tempo de serviço corresponde ao tempo na respectiva fila do ponto escalonador adicionado ao tempo de transmissão do pacote na sub-rede de comunicação. A obtenção das distribuições do tempo de serviço, para ambos os tráfegos, é mostrada em [15]. Após o serviço desse pacote, o ponto escalonador direciona-se para uma outra fila segundo a sua disciplina de escalonamento. Os pacotes de voz (dados) servidos pelo nodo REDE entram no nodo sorvedouro  $sorv\_V$  ( $sorv\_D$ ), onde são eliminados do modelo, significando que estes pacotes foram transmitidos pela sub-rede de comunicação e entregues aos seus respectivos destinos.

Os elementos do modelo de integração de voz e dados em redes locais com Passagem de Ficha com seus respectivos parâmetros são sumarizados a seguir:

- Clientes: correspondem aos pacotes. Há dois tipos de pacotes: voz e dados.

- Servidor Simples:

Nome: REDE

Disc. de Escalonamento: FCFS

Comprimento de fila ( $k$ ): 1

No. de classes: 2

Classe 1: Nome:  $cl\_V$

Distribuição de Serviço: Geral (conforme [15])

Classe 2: Nome:  $cl\_D$

Distribuição de Serviço: Geral (conforme [15])

- Ponto Escalonador

Nome: P ESC

No. de filas ( $n$ ): 10

Disciplina de Escalonamento: cíclica (1-10)

Comprimento das filas: sem limite

- Fontes

Nomes:  $f\_V1, f\_V2, f\_V3, f\_V4, f\_V5$

Distribuição: Geral (conforme [15])

Média:  $\lambda_v$  pacotes por segundo

Nomes:  $f\_D1, f\_D2, f\_D3, f\_D4, f\_D5$

Distribuição: Exponencial

Média:  $\lambda_d$  pacotes por segundo

- Sorvedouros

Nomes:  $sorv\_V, sorv\_D$

- Classes

Nome: cl V

Rotas: f<sub>V1</sub> -> P<sub>ESC</sub> (1) -> REDE -> SORV<sub>V</sub>  
f<sub>V2</sub> -> P<sub>ESC</sub> (3) -> REDE -> SORV<sub>V</sub>  
f<sub>V3</sub> -> P<sub>ESC</sub> (5) -> REDE -> SORV<sub>V</sub>  
f<sub>V4</sub> -> P<sub>ESC</sub> (7) -> REDE -> SORV<sub>V</sub>  
f<sub>V5</sub> -> P<sub>ESC</sub> (9) -> REDE -> SORV<sub>V</sub>

Prioridade: não há (prioridade = 0)

Nome: cl D

Rotas: f<sub>D1</sub> -> P<sub>ESC</sub> (2) -> REDE -> SORV<sub>D</sub>  
f<sub>D2</sub> -> P<sub>ESC</sub> (4) -> REDE -> SORV<sub>D</sub>  
f<sub>D3</sub> -> P<sub>ESC</sub> (6) -> REDE -> SORV<sub>D</sub>  
f<sub>D4</sub> -> P<sub>ESC</sub> (8) -> REDE -> SORV<sub>D</sub>  
f<sub>D5</sub> -> P<sub>ESC</sub> (10) -> REDE -> SORV<sub>D</sub>

Prioridade: não há (prioridade = 0)

Nesse exemplo, as medidas de desempenho de interesse são obtidas diretamente pelo SAVAD. Para a classe de pacotes de voz (dados), estas medidas podem ser obtidas a partir da solução do sistema G/G/1 (M/G/1) [2]. Uma outra alternativa para solucionar esse modelo é através do uso da técnica da Simulação, disponível no módulo solução do SAVAD. A escolha da solução mais adequada para esse exemplo recairá na primeira opção, uma vez que esta exige um menor esforço computacional na sua execução. Opcionalmente, o usuário pode solicitar ao SAVAD a segunda alternativa.

- Modelo de Integração de Voz e Dados em Redes Locais CSMA/CD

As redes com protocolo de acesso tipo CSMA/CD têm topologia em barramento. Nessas redes, todas as estações "escutam" a linha e somente transmitem pacotes (mensagens) quando detectam a linha livre. Cada estação escuta a linha enquanto envia um pacote. Se ocorrer uma colisão de pacotes na linha, a estação interrompe a transmissão e, após um intervalo aleatório, fornecido pelo algoritmo de retransmissão ("backoff"), tenta a transmissão novamente.

Para esse exemplo, as suposições e medidas de desempenho são aquelas já mencionadas no modelo para redes locais com Passagem de Ficha. Devido à versatilidade do ponto escalonador, o modelo de filas usando os elementos do SAVAD é o mesmo mostrado na figura 3. No tocante à especificação dos elementos nesse modelo, observa-se uma modificação apenas no elemento ponto escalonador, que apresenta-se a seguir:

- Ponto Escalonador

Nome: P<sub>ESC</sub>

Número de Filas (n): 10

Disciplina de Escalonamento: Livre (composição dos processos: geração de pacotes e algoritmo de retransmissão das duas classes)

Para atender às medidas de desempenho solicitadas pelo usuário, o SAVAD escolhe a técnica da Simulação Digital. Esta escolha, deve-se à especificação da disciplina de escalonamento do tipo livre, no ponto escalonador, que inviabiliza a utilização de uma solução analítica para esse modelo.

## 4. CONCLUSÃO

Apresentou-se neste trabalho, uma ferramenta amigável para avaliar o desempenho de sistemas que exibem contenção de recursos. Essa ferramenta, denominada SAVAD, utiliza técnicas de Inteligência Artificial, e possui elementos de modelagem especificamente projetados para facilitar a modelagem de sistemas de redes de computadores.

Este trabalho enfatizou, principalmente, a versatilidade do elemento denominado ponto escalonador, particularmente projetado para modelar redes locais com integração de serviços. Esta versatilidade ficou evidenciada através de exemplos, que apresentaram modelos para a integração dos tráfegos de voz e dados em redes locais com protocolo de acesso: Passagem de Ficha e CSMA/CD. Esses exemplos mostraram a facilidade do uso dos elementos do SAVAD na avaliação do desempenho dessas redes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kreutzer, W.; **System Simulation Programming Styles and Languages**, Addison-Wesley Pub. Comp., Inc., 1986.
- [2] Kleinrock, L.; **Queueing Systems**, Vol 1: Theory, Wiley, Interscience, N.Y., 1975.
- [3] Sauer, C.H. & Chandy, K.M.; **Computer Systems Performance Modeling**, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1981.
- [4] Schriber, T.J.; **Simulation Using GPSS**, John Wiley & Sons, 1974.
- [5] Birtwistle, G.M. et alli; **Simula Begin**, AUERBACH Publisher Inc. Philadelphia, Pa., 1973.
- [6] Bulgren, W.G.; **Discrete System Simulation**, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1982.
- [7] MacNair, E.A. & Sauer, C.H.; **Elements of Practical Performance Modeling**, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1980.
- [8] Stroustrup, B.; **The C + + Programming Language**; Addison-Wesley Pub. Comp., 1987.
- [9] Cabral, M.I.C., Brasileiro, M.A.G. & Silva, H.M.; **SAVAD - Uma Ferramenta para Avaliar o Desempenho de Sistemas Distribuídos**; Anais do Seminário Franco-Brasileiro de Sistemas Distribuídos, Florianópolis, SC, de 11 a 14 de setembro de 1989.
- [10] Nutt, G.I. & Bayer, D.L.; **Performance of CSMA/CD Networks under Combined Voice and Data Loads**; IEEE Trans. Comm. Vol. Com-30, N. 1, Jan. 1982.
- [11] **IEEE Project 802 Local Area Network Standards**, Draft D, 1982.
- [12] Gitman, I. & Frank, H.; **Economic Analysis of Integrated Voice and Data Networks: A case Study**; Proc. IEEE, Vol. 66, N. 11, Nov. 1978.
- [13] Hashida, O.; **Analysis of Multiqueue**; Reviw of Elect. Comm. Laboratories, Nipon Telegraph and Telephone Public Corp., 1972.



- [14] Kuehn, P.J.; **Multiqueue System with Nonexhaustive Cyclic Service**; B. S. T. J., Vol. 58, N. 3, Mar. 1979.
- [15] Brasileiro, M.A.G.; **Modelagem de Aplicações Críticas no Tempo em Redes Locais com Passagem de Ficha**; Tese de Doutorado, DEE da UFPB, 1987.