

*ANÁLISE DE UMA CENTRAL DE COMUTAÇÃO
DE PACOTES COM ARQUITETURA EM ANEL*

MARFIZA VILAS BÓAS

Orientador

Prof. Dr. ROBERTO GADELHA PINHEIRO

Dissertação apresentada no Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação da Universidade Estadual de Campinas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Matemática Aplicada.

Agosto/ 82

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

AGRADECIMENTOS

Ao Gadelha pela orientação segura, incentivo, tolerância e pela proposta deste trabalho.

Ao Cláudio pela compreensão e apoio em todos os momentos.

À Valéria e à Cheti pela amizade e ajuda durante este período de estudos.

Aos colegas do CPqD pela colaboração que me deram principalmente durante a coleta de informações a respeito do problema considerado.

A todos que direta ou indiretamente ajudaram na elaboração deste trabalho.

Ao LABMA pelo apoio financeiro.

ÍNDICE

Sumário	viii.
<u>Capítulo 1</u> - Comunicação de Dados	1
1.1 - Rede de Comunicação de Dados	1
1.1.1 - Elementos de uma Rede	1
1.1.2 - Técnicas de Multiplexação	3
1.1.3 - Técnicas de Comutação	5
1.2 - Central de Comutação de Pacotes	18
<u>Capítulo 2</u> - Central de Comutação de Pacotes com Arquitetu- ra em Anel	27
2.1 - Descrição da Central de Comutação Consi- derada	27
2.2 - Protocolo de Comunicação Utilizado na Central	32
2.2.1 - Visão Geral do X.25	33
2.2.2 - Tipos de Pacotes Manipulados pe- lo X.25	35
2.2.3 - Tipos de Pacotes e Mensagens Con- siderados em Trânsito na Central	40
<u>Capítulo 3</u> - Cálculo dos Tempos de Retardo de um Pacote numa Central	51
3.1 - Modelo Analítico	52
3.1.1 - Cálculos Relativos à Fila A de cada Estação	58

3.1.2 - Cálculos Relativos à Fila B de cada Estação	61
3.1.3 - Considerações do Modelo Analítico co	62
3.1.4 - Cálculo do Tempo Médio de Espera de um Pacote na Fila A de cada Estação	64
3.1.5 - Cálculo do Tempo Médio de Espera de uma Mensagem na Fila B de ca- da Estação	66
3.1.6 - Cálculo do Retardo Médio de um Pacote numa Central	68
3.2 - Modelo de Simulação	73
3.3 - Apêndice A	79
3.4 - Apêndice B	80
<u>Capítulo 4</u> - Descrição dos Programas Implementados	82
4.1 - Descrição do Programa Relativo ao Modelo Analítico - RETARD.PAS	82
4.1.1 - Estrutura de Dados Adotada	82
4.1.2 - Descrição Detalhada dos Procedi- mentos	83
4.2 - Descrição do Programa Relativo ao Modelo de Simulação - RETARD.SIM	87
4.2.1 - Estrutura de Dados Adotada	87
4.2.2 - Classes, Processos e Procedimen- tos do Programa RETARD.SIM	89

<u>Capítulo 5</u> - Experiência Computacional.....	95
5.1 - Comparações entre Resultados Obtidos Pelo Modelo Analítico e pelo Modelo de Simula- ção	95
5.1.1 - Variação do Número de Pacotes de Dados Enviados por Chamada	99
5.1.2 - Variação do Tamanho dos Pacotes de Controle	106
5.1.3 - Variação do Tamanho dos Pacotes de Dados	111
5.1.4 - Variação do Tamanho das Mensagens	113
5.1.5 - Variação das Taxas de Solicitação de Chamadas Correspondentes às Estações IL	116
5.1.6 - Variação do Número de Estações CV's presentes na Central	120
 <u>Capítulo 6</u> - Conclusões e Sugestões para Futuras Pesquisas .	124
6.1 - Margem de Confiabilidade do Modelo Analí- tico	126
6.2 - Otimização Usando-se o Modelo Analítico .	126
6.2.1 - Localização Ótima de uma Estação CV	126
6.2.2 - Limiar de Estações CV's numa Cen- tral	128
6.3 - Outro Modelo Analítico Estudado	129
6.4 - Futuros Trabalhos	130
 <u>Apêndice</u> - Manual do Usuário	132

1 - Execução do Programa RETARD.PAS (modelo analítico).....	132
2 - Execução do Programa RETARD.SIM (modelo de simulação)	137
<u>Bibliografia</u>	139

SUMÁRIO

O objetivo deste trabalho é estabelecer um método de avaliação de desempenho de centrais de comunicação de dados por comutação de pacotes com estrutura multiprocessador, baseada em um anel de interconexão.

O interesse nesse trabalho está associado diretamente à importância crescente das redes de comunicação de dados na vida do homem atual. É notável o empenho empregado nos projetos e desenvolvimentos das redes de comunicação de dados nos últimos anos.

O capítulo 1 apresenta algumas informações gerais sobre as tecnologias adotadas pelas redes de comunicação de dados atuais, enfatiza a tecnologia de comutação de pacotes, a cujo escopo está restrito esse trabalho.

O capítulo 2 descreve com detalhes uma central de comutação de pacotes, incluindo protocolo de comunicação e tipo de tráfego por ela manipulado.

Um dos parâmetros usuais para se avaliar o desempenho de uma rede com comutação de pacotes é o retardo médio de um pacote na mesma. Este retardo é função principalmente dos tempos de permanência do pacote nas centrais de comutação, os quais são aleatórios pois o pacote é sujeito à filas aleatórias. A fim de se calcular o tempo médio de permanência de um pacote numa central, desenvolvemos um modelo analítico de teoria de filas e um modelo de simulação, cujos detalhamentos são descritos no capítulo 3. No capítulo 4, apresentamos os dois programas implementados corres -

pendentes aos modelos. O capítulo 5 apresenta a experiência computacional com os dois programas, através de uma série de comparações entre resultados obtidos pelos dois programas. No capítulo 6 apresentamos as conclusões retiradas e as sugestões para futuras pesquisas. O apêndice se constitui de um manual para o usuário dos dois programas.

CAPÍTULO 1

COMUNICAÇÃO DE DADOS

1.1 - Rede de Comunicação de Dados

O interesse em redes de comunicação de dados cresceu enormemente nos últimos anos, com base na variedade de áreas de aplicações. A indústria financeira, por exemplo, incluindo bancos e companhias de seguro, apresentou uma grande necessidade de processamento de dados remotos. No campo da saúde e medicina impera a existência de grandes bancos de informações com acesso remoto. Táticas militares requerem trocas de informações remotas de um modo cada vez mais seguro, rápido e confiável. E assim em quase todas as atividades da vida humana, torna-se cada vez mais imperativa a troca de informações entre locais distantes.

Uma rede de comunicação de dados é um conjunto de recursos de comunicação que possibilita a troca de informações entre usuários remotos.

1.1.1 - Elementos de uma Rede

A figura 1.1.1.1 apresenta a estrutura básica de uma rede de comunicação de dados [Proc. IEEE, 1978], na qual podemos identificar três tipos de recursos:

- 1) computadores: elementos que prestam serviços (processamento de informações, transações, armazenamento de dados)
- 2) terminais: dispositivos que permitem a comunicação entre os usuários e a rede. Podem estar ligados direta ou indiretamen-

te à rede.

3) Subrede: consiste de troncos (linhas de alta velocidade de transmissão) e centrais de comutação, cuja função é providenciar o serviço necessário à troca de informações entre os outros recursos.

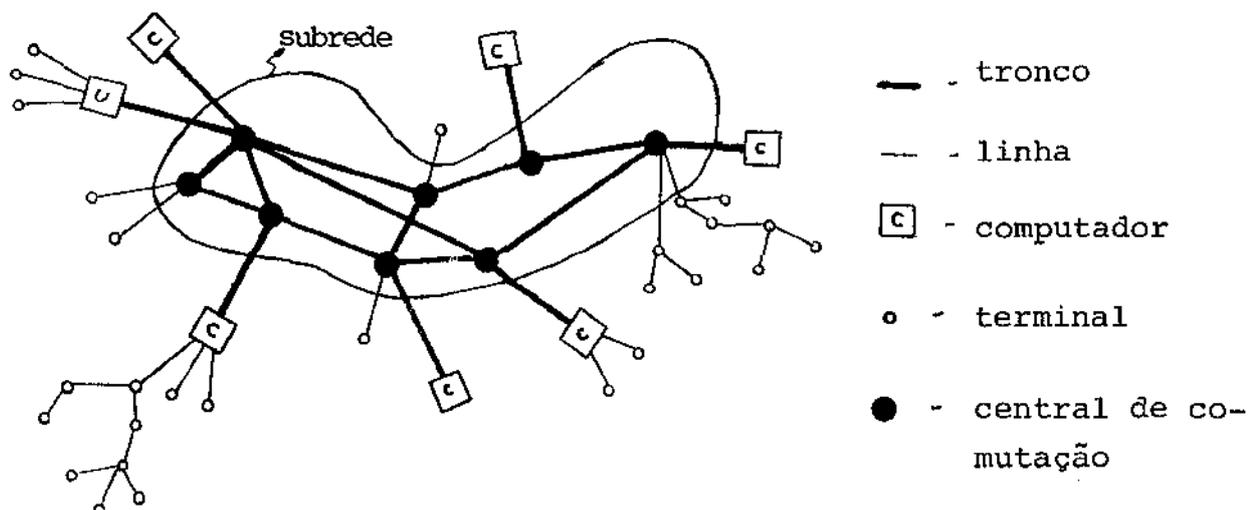


Figura 1.1.1.1 - Recursos de uma Rede de Comunicação de Dados

Redes modernas tendem a ser cada vez mais heterogêneas, usando computadores e terminais de muitos fabricantes. A diversidade de equipamento gera complexidade de comunicação, razão pela qual grande parte dos projetos ser dedicada à formalização das maneiras de interação entre os componentes de uma rede.

Geralmente os terminais dos usuários não são uniformemente distribuídos numa área grande, mas dispõem-se em grupos. Quando um grupo de terminais fica distante da central mais próxima e o uso das linhas que os ligam à central assume uma propor-

ção baixa ($\leq 10\%$), torna-se mais econômico construir um concentrador entre os terminais e a central, de modo a concentrar o tráfego total e retransmiti-lo à central. O concentrador não possui a função da central, pois ele não é capaz de fazer uma conexão entre dois de seus terminais. Veja a figura 1.1.1.2. [Davies, 1979, (1)].

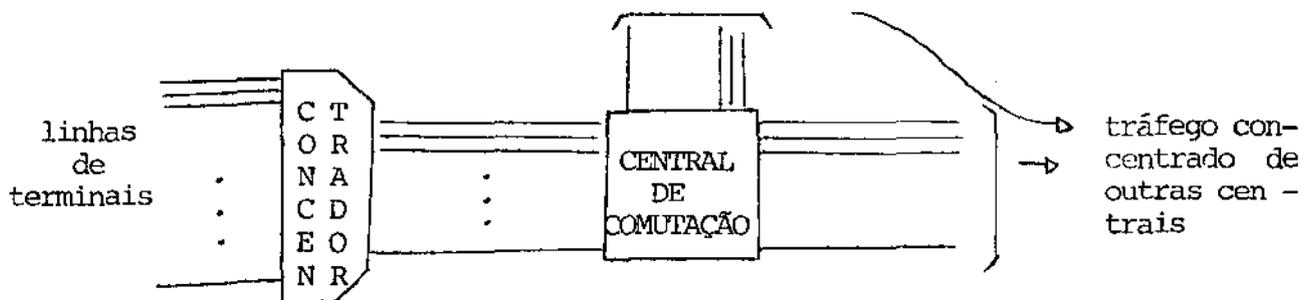


Fig. 1.1.1.2. - Concentrador

1.1.2. - Técnicas de Multiplexação

Os troncos que interligam as centrais de comutação constituem os recursos mais caros da rede. Daí apelar-se para técnicas de compartilhamento desses recursos entre os elementos. As técnicas de multiplexação mais conhecidas são [Doll, 1972]:

- FDM (multiplexação por divisão de frequência) parti - ciona a banda passante de um canal de comunicação em bandas independentes de menor largura. Quando FDM é utilizada num canal de voz, cada subcanal transmitindo dados assincronicamente alcança a velocidade de 150 bits/seg, sendo que o número de subcanais varia de 12 a 13, totalizando uma taxa de 1800 a 2000 bits/seg.

- **STDM** (multiplexação síncrona por divisão de tempo) cria um intervalo fixo de tempo em que o canal fica disponível ciclicamente para cada elemento que o compartilha, tenham ou não esses elementos algo para enviar. STDM aplicada a um canal de voz pode atingir velocidade de 9600 bits/seg. Os elementos remetentes dos dados são identificados pela ordem em que os mesmos são inseridos no canal.

- **ATDM** (multiplexação assíncrona por divisão de tempo) aloca dinamicamente períodos de tempo para os elementos compartilhantes, somente quando possuem dados para enviar, evitando dessa forma desperdícios do recurso de comunicação. A desvantagem dessa técnica é que os custos crescem devido a necessidade de enviar junto com os dados o endereço do elemento remetente. Veja na figura 1.1.2.1 uma comparação entre STDM e ATDM.

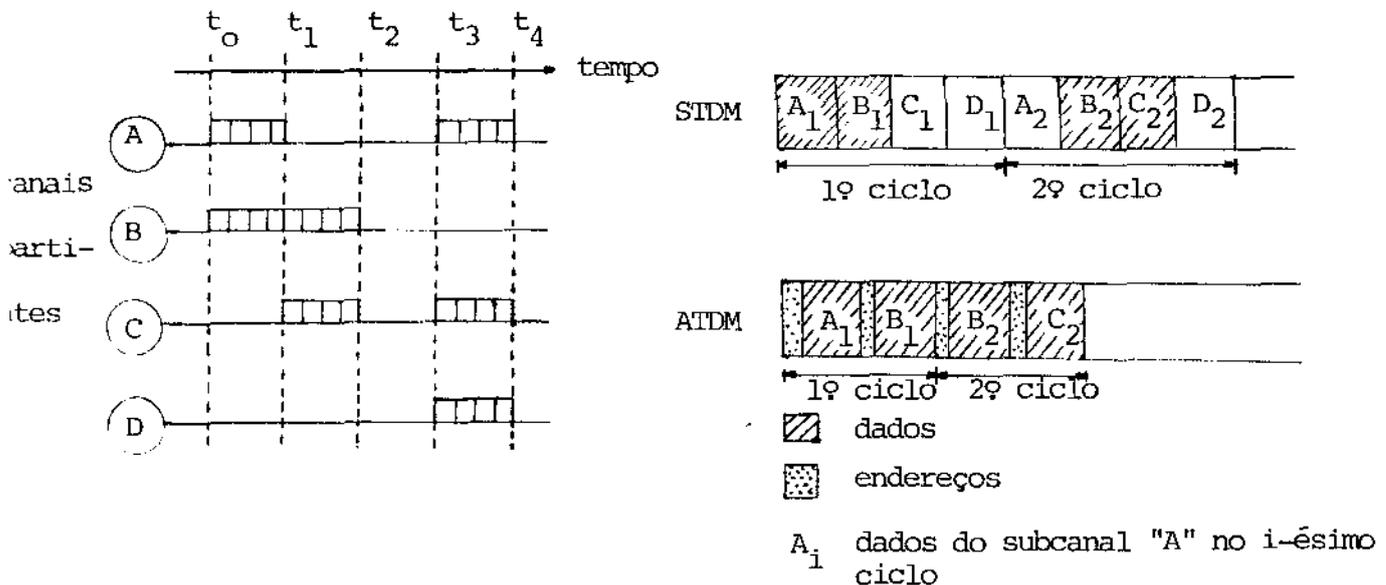


Fig. 1.1.2.1 - Comparação entre STDM e ATDM

1.1.3 - Técnicas de Comutação

De acordo com a técnica de comutação adotada numa rede pode-se classificá-la em:

a) Rede com Comutação de Circuitos: é análoga à rede telefônica. A fim de que haja uma troca de informações entre dois terminais, um caminho (circuito) com dois sentidos de tráfego, formado através de uma sequência de troncos adjacentes, é estabelecido, permanecendo dedicado àquela chamada ou conexão durante sua duração. Neste tipo de comutação não há armazenamento nas centrais, portanto não há formação de filas de dados nas mesmas. Um bit que vai de um terminal a outro, gasta somente o tempo de propagação. A função de uma central aqui é estabelecer e desconectar os circuitos. O controle de fluxo fica sob a responsabilidade dos usuários.

A comutação por circuito é interessante quando o período de transferência de dados é grande em relação aos períodos de conexão e desconexão. As técnicas FDM e STDM são amplamente utilizadas em redes de comutação de circuitos nos troncos entre centrais.

A seguir apresentamos um exemplo de rede comutação de circuitos.

Rede Pública Nórdica de Comunicação de Dados (RPNCD)

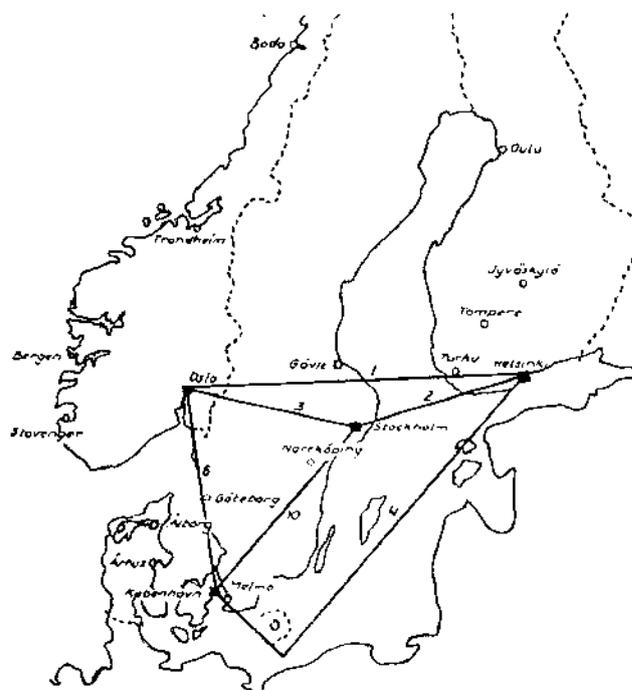


Fig. 1.1.3.1 - Rede Nórdica de Comunicação de Dados em 1980

A rede pública nórdica é fruto da cooperação conjunta das companhias de telecomunicação da Dinamarca, Finlândia, Noruega e Suécia (veja figura 1.1.3.1) [Svendsten, 1976]. [Allonen, 1976]

O objetivo da RPNCD é fornecer um bom serviço de comunicação de dados, durante o período do final da década de 1970 até por volta do ano 2000. A capacidade de transmissão e o número de facilidades adicionais seriam limitados em estágios iniciais. A rede se ampliaria gradualmente, acrescentando facilidades adicionais. A RPNCD usa as redes telefônicas e a de telex para transmissão dos dados.

As facilidades oferecidas pela rede podem ser classificadas em dois grupos: facilidades básicas e facilidades adicionais.

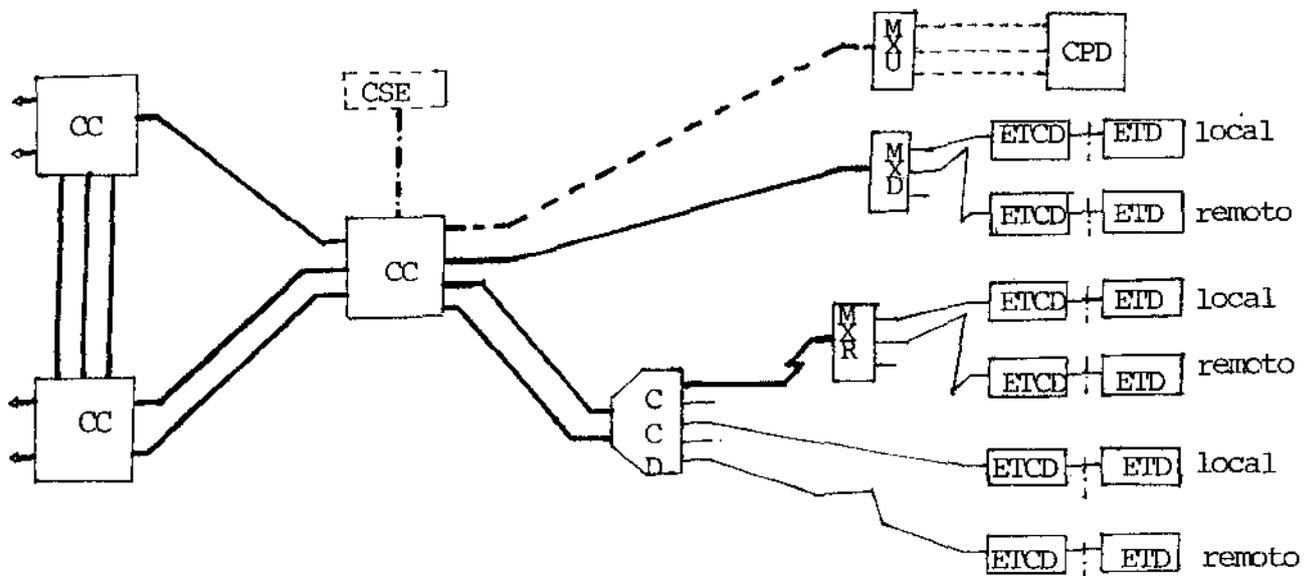
As facilidades básicas são:

- método de conexão: o equipamento terminal de dados (ETD, do usuário) é conectado à rede através do protocolo X.21 da CCITT ou de uma interface equivalente X.21 bis (X.20 bis). A conexão é feita através de um equipamento de terminação de circuito de dados (ETCD), providenciado pela administração.
- full duplex: os dados são transferidos segundo a mesma taxa nas duas direções simultaneamente.
- sincronização: todo equipamento síncrono conectado à rede é sin cronizado pela rede, isto é, a rede fornece pulsos para cada bit de dados.
- taxas de dados: o usuário pode trabalhar com as taxas síncronas de dados de 600, 2400, 4800 ou 9600 bps.
- chamada: uma chamada pode ser iniciada manualmente por um ETD ou ETCD ou automaticamente por um ETD, dependendo do tipo de interface empregada. Depois que a rede indica que o circuito foi estabelecido o ETD pode transmitir dados
- tempo de estabelecimento de chamada: o tempo entre o instante do pedido de chamada enviado pelo ETD origem e o instante em que a rede indica que a transmissão de dados pode ser iniciada é especificado como: menor que 100 ms para 90% das chamadas, menor que 500 ms para 99% das chamadas e menor que 2 s para 100% das chamadas
- tempo de finalização de chamada o período de tempo entre o instante do pedido de finalização de chamada e o instante em que a rede desfaz o circuito é especificado como: menor que

50 ms para 90% das chamadas e menor que 200 ms para 100% das chamadas.

As facilidades adicionais incluem limitação das capacidades de conexão com um usuário (medida de proteção), procedimento simplificado de chamadas, métodos diferentes de cobrança, etc.

A rede é composta por um número de componentes interconectados de acordo com a figura 1.1.3.2.



- CC - central de comutação
- CCD - concentrador de circuito de dados
- MXD - multiplexador de dados
- ETCD - equipamento de terminação de circuito de dados
- ETD - equipamento terminal de dados
- MXR - multiplexador remoto de dados
- MXU - multiplexador de dados do usuário
- CSE - centro de serviço especial
- CPD - centro de processamento de dados
- - linha
- - tronco

Fig. 1.1.3.2 - Principais componentes da Rede Pública Nórdica de Comunicação de Dados

Os principais componentes da rede são:

. Central de Comutação (CC)

As centrais controlam os estabelecimentos e finalizações das chamadas e monitoram as conexões e as funções da rede. Uma central é capaz de manipular até 100 chamadas por segundo. As centrais são interconectadas através de circuitos TDM, através de grupos de linhas cuja taxa total é 64 kbit/seg.

. Concentrador de Circuito de Dados (CCD)

Um concentrador reúne tráfego de um grupo de usuários e os retransmite por um tronco, usando a técnica TDM, a uma central próxima. Os concentradores são controlados e supervisionados pelas centrais.

. Multiplexadores (MXD, MXR)

Um multiplexador intercala dados de várias linhas de usuários, numa única linha através de multiplexação por divisão de tempo. O multiplexador pode estar conectado diretamente a uma CC ou a um CCD, o qual retransmite o tráfego a uma CC.

. Equipamento de Terminação de Circuito de Dados (ETCD)

O equipamento terminal de dados (ETD) de um usuário é conectado à rede através de um equipamento de terminação de circuito de dados (ETCD). Os ETCDs são instalados pela administração da rede e constituem o ponto final da rede para o usuário. Um ETCD é conectado a um CCD ou MXD/MXR por um circuito ponto-a-ponto.

. Equipamento Terminal de Dados (ETD)

O ETD é o equipamento do usuário. Pode ser uma impressora, um terminal display, um computador, etc. Há portanto, muitos ti -

pos de ETD para diferentes funções. A rede os distingue somente pelas suas diferentes velocidades e o número variável de facilidades adicionais requisitadas por eles.

. Multiplexador de Dados do Usuário (MXU)

Um MXU é útil para conectar, por exemplo, um centro de computação com um grande número de conexões com a rede. É idêntico em certos aspectos a um MXD/MXR, com diferença de que ele deixa sob a responsabilidade do usuário as funções de multiplexar e de demultiplexar.

. Centro de Serviço Especial (CSE)

O CSE deve providenciar serviços que requeiram muito processamento e armazenamento, tais como armazenamento de mensagens e comutação de pacotes. Um CSE pode ser parte de uma CC, se estiver capacidade suficiente ou ele pode ser um centro separado conectado a uma ou mais CCs.

. Centro de Processamento de Dados (CPD)

Os CPDs são tratados da mesma maneira que os ETDs pela rede. Em 1976 previa-se que os CPDs seriam os equipamentos que mais usariam conexões por MXU. Em 1976 era previsto que em 1980 a rede teria 4 CCs (uma em cada país), 84 CCDs, 59 multiplexadores, 764 "modems" e 11400 ETCDS.

b) Rede com Comutação de Mensagens ou Pacotes: em uma rede com comutação de mensagens, uma mensagem vai da origem a uma central próxima, a qual após o seu recebimento completo, escolhe o próximo tronco ou linha por onde deve enviá-la ("store-and-forward"). Se o tronco (ou linha) selecionado não estiver disponí -

vel, a mensagem espera numa fila até o tronco (ou linha) se liberar. Dessa forma, a mensagem é transmitida de central a central, alocando um tronco somente durante a sua transmissão. Uma rede com comutação de pacotes comporta-se analogamente, exceto que as mensagens são decompostas em segmentos menores de tamanho máximo fixo, chamados pacotes. Um pacote é constituído de um cabeçalho que contém informações de controle e uma parte dos dados propriamente ditos. Pacotes de uma mesma mensagem podem estar em transição na rede simultaneamente. A comutação de mensagens e de pacotes utilizam a técnica ATDM, envolvendo a multiplexação de mensagens ou pacotes inteiros. [Schwartz,1977].

A seguir apresentamos dois exemplos de rede com comutação de pacotes, ARPANET e DATAPAC.

ARPANET

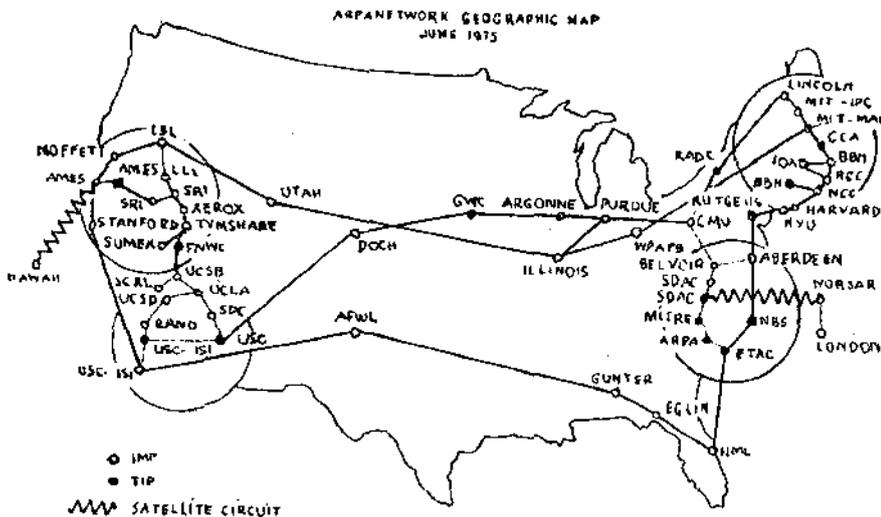


Fig. 1.1.3.3 - ARPANET em 1976.

Projetada pela Advanced Research Projects Agency do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, como uma rede experimental de compartilhamento de recursos computacionais. Iniciada em 1969, em 1975 interconectava mais de 100 computadores geograficamente espalhados pelos Estados Unidos e através de satélites no Havaí e na Europa (figura 1.1.3.3). Cada computador ("HOST") é conectado por linha assíncrona serial de 100 kbps a uma central, que é um minicomputador chamado de Processador Interface de Mensagem (PIM) (central). Os PIMs são interligados por linhas síncronas full-duplex de 50 kbps. Para ligar terminais de usuário diretamente à subrede, criou-se o chamado Processador Terminal de Interface de Mensagens (PTIM). Em 1976 a rede possuía 23 PTIMs e 33 PIMs. [Schwartz, 1977] ; [Kleinrock, 1976].

Um HOST quando quer se comunicar com outro HOST, manda uma mensagem, que inclui o endereço do HOST destinatário a um PIM próximo, que divide a mensagem em pacotes. Os PIMs da subrede determinam a rota, fazem o controle de erros, armazenam e enviam os pacotes e no final notificam o HOST remetente do eventual recebimento da mensagem. O tamanho máximo de uma mensagem é 8063 bits (mais 32 bits usados no cabeçalho de HOST para HOST). O tamanho máximo de um pacote é 1008 bits, portanto uma mensagem forma no máximo 8 pacotes. Os pacotes de uma mensagem são transmitidos independentemente ao PIM destino (último na rota, conectado ao HOST destino), o qual remonta a mensagem original e a envia ao HOST destino, que manda uma mensagem de reconhecimento (ACK) ao HOST origem. No seu trajeto na subrede um pacote é transmitido de PIM a PIM adjacentes. Se o PIM vizinho aceita o pacote, en

tão um pacote de reconhecimento de PIM para PIM, é retornado. Se um PIM manda um pacote a outro PIM adjacente e não recebe o pacote de reconhecimento dentro de 125 ms, ele retransmite novamente o pacote.

Cada PIM possui uma tabela de rotas, que é dinamicamente atualizada, considerando caminhos de menor atraso, baseados na disponibilidade dos troncos e comprimento das filas. Esta estratégia de roteamento com controle distribuído, foi uma das causas do grande sucesso da ARPANET.

O tempo de resposta de pequenas mensagens, que é medido do instante em que a mensagem entra na subrede até o instante em que o HOST remetente recebe a mensagem de reconhecimento, varia de 50 a 250 ms.

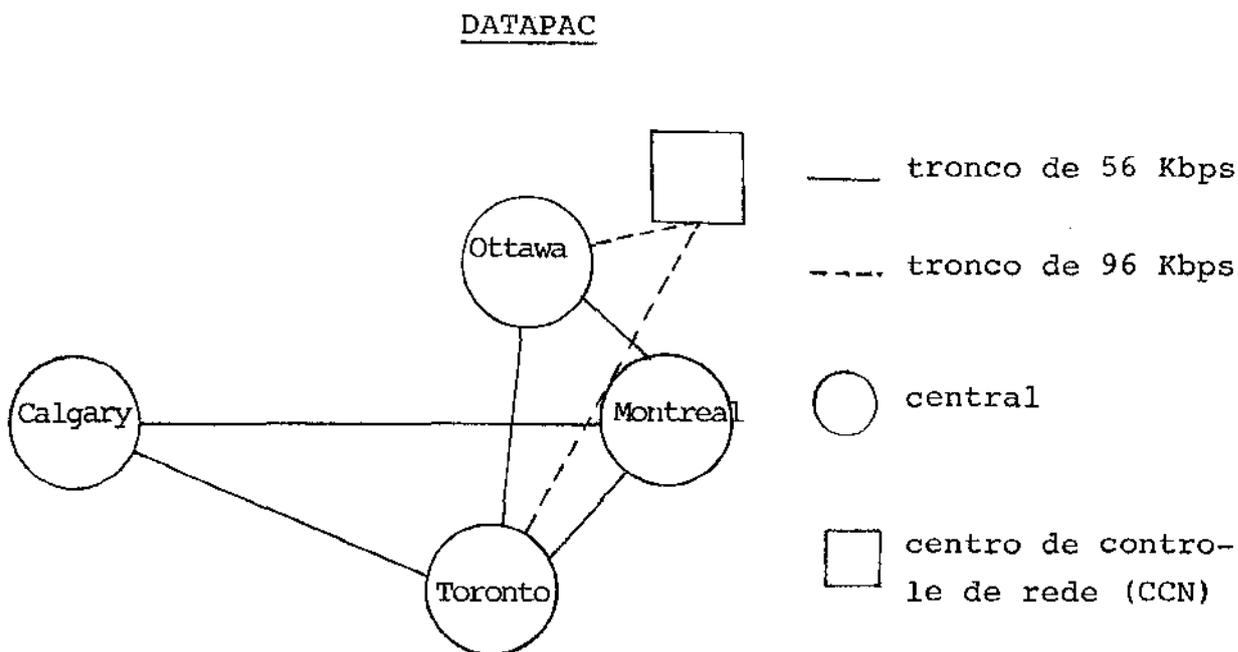


Fig. 1.1.3.4.a - Datapac em 1976

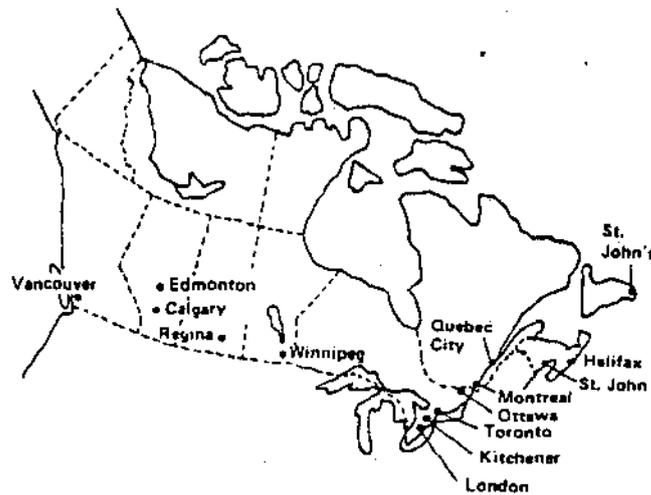


Fig. 1.1.3.4.b - Datapac planejada para 1980

Datapac é uma rede pública de comunicação de dados, que se estende por todo o Canadá, operada pelo Sistema Telefônico Canadense (TCTS). A rede inicialmente (1976), consistia de 4 centrais localizadas nas principais cidades do Canadá: Calgary, Toronto, Ottawa e Montreal, duplamente conectadas por troncos de 56 kbps. A rede é monitorada pelo Centro de Controle de Rede (CCR), localizado em Ottawa, conectado às centrais de Ottawa e Toronto (fig. 1.1.3.4.a). Para 1978 previa-se que a rede teria 10 centrais e para 1980 teria 20 centrais. (fig. 1.1.3.4.b) [Clipsham, 1976] [Twyver, 1977].

A Datapac prevê além de conexões por circuitos virtuais, conexões permanentes. Numa conexão permanente um circuito virtual é estabelecido pelo tempo previsto no acordo feito entre o usuário e a administração da rede. Uma conexão permanente possui todas as características de um circuito virtual, sem os procedi -

mentos de estabelecimento e finalização de chamada.

Dois tipos de serviços são previstos: serviços com prioridade e serviços normais. Serviços com prioridade são destinados à aplicações interativas ou do tipo pergunta-resposta, quando respostas rápidas forem importantes. Serviços normais são destinados à aplicações em horas menos críticas. O tamanho máximo de um pacote é 128 bytes para serviços com prioridade e 256 bytes para serviços normais.

Dois protocolos de usuários são disponíveis o "Standard Network Access Protocol" (SNAP), o qual obedece as especificações do X.25 da CCITT e a "Interactive Terminal Interface" (ITI), a qual é compatível com as recomendações X.3, X.28 e X.29 da CCITT. SNAP é destinado para uso de computadores e terminais inteligentes e ligados diretamente à rede. SNAP providencia a operação simultânea de várias chamadas numa linha síncrona. Terminais que não são capazes de implementar o SNAP, podem ser conectados à rede através de uma Máquina de Interface de Rede (MIR). A interface inicial providenciada pelas MIRs é a ITI. A ITI fornece suporte para terminais assíncronos, usados em aplicações de "time-sharing", pergunta-resposta e mensagens. As MIRs fazem o controle das chamadas, funções de armazenamento e transformação das mensagens em pacotes para os terminais.

As centrais usadas pela Datapac são as SL-10. Uma SL - 10 tem uma arquitetura modular, com multiprocessadores, cujas funções são: gerenciamento de circuitos virtuais, roteamento dos pacotes, execução de tarefas administrativas tais como contabilidades e estatísticas.

O retardo médio de trânsito de um pacote na Datapac , que é o intervalo de tempo entre a recepção correta do último bit do pacote na central origem e a sua completa recepção na central destino, é 0.36 seg para serviço normal e 0.13 seg para serviço com prioridade.

Bits redundantes para teste de erro são utilizados em todos os pacotes, nas linhas ou troncos. Erros de transmissão são corrigidos por retransmissão em cada tronco ou linha. Os pacotes são enumerados, de maneira que possa haver detecção de erros e recuperação. Cada central é conectada com pelo menos duas outras, de maneira que em caso de falha de algum equipamento, haja caminhos alternativos.

O centro nervoso da Datapac é o CCR em Ottawa, onde o estado da rede é constantemente monitorado e exibido. O CCR está em comunicação contínua com as centrais e reúne informações de contabilidade para cada chamada, estatísticas de tráfego e alarmes de falha.

A disponibilidade da rede é de 99,963%, onde a disponibilidade é definida como a fração de tempo em que o sistema pode transmitir dados. (*)

A comutação de pacotes pode ser mais econômica que a comutação de circuito no uso das linhas de transmissão, pois a primeira técnica intercala pacotes de diferentes fontes de acordo com a demanda. Esta economia, entretanto, é limitada pela imposição de uso de cabeçalhos nos pacotes e uso de pacotes de controle. Este processo de intercalação de pacotes de várias fontes numa linha de acordo com a demanda é ilustrado na figura 1.1.3.5.

Terminal D está conectado com os terminais A, B e C, através de um único enlace físico com a central mais próxima. [Davies, 1979 (2)]

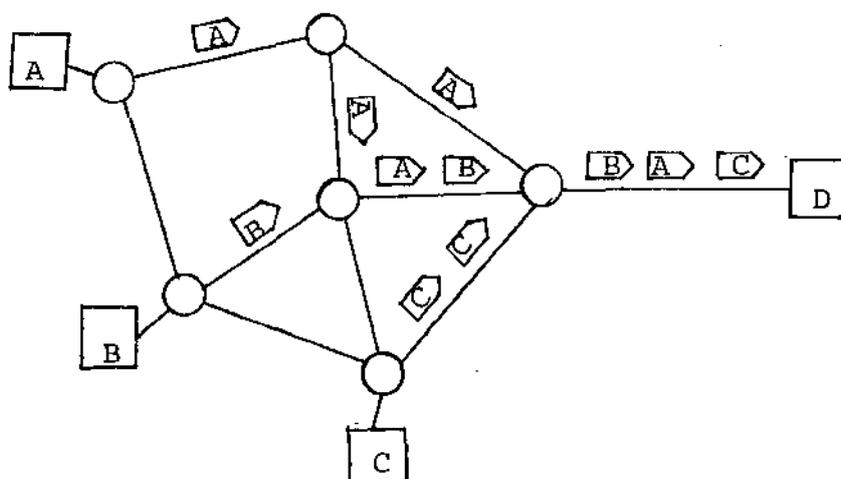


Fig. 1.1.3.5 - Intercalação de Pacotes na Comutação de Pacotes

A comparação de comutação de pacotes com comutação de mensagens é também interessante. A maior diferença entre ambas reside na natureza interativa da comutação de pacotes, enquanto que a comutação de mensagens transmite uma única mensagem por vez. Grandes espaços de memória são necessários para armazenar as mensagens nas centrais, o que causa longos atrasos e torna proibitivo o uso do sistema de comunicação. Há um compromisso entre as duas técnicas no sentido de que a comutação de mensagens implica numa transmissão mais confiável, enquanto que a comutação de pacotes implica numa transmissão mais rápida. [Davies, 1979] (3).

No nosso estudo consideraremos apenas redes com comutação de pacotes.

Daqui em diante chamaremos de terminal qualquer unidade conectada à subrede.

1.2 - Central de Comutação de Pacotes

Uma central de comutação de pacotes é uma estrutura baseada em processadores, à qual estão conectados linhas associadas a computadores e terminais e troncos associados a outras centrais. Veja figura 1.2.1

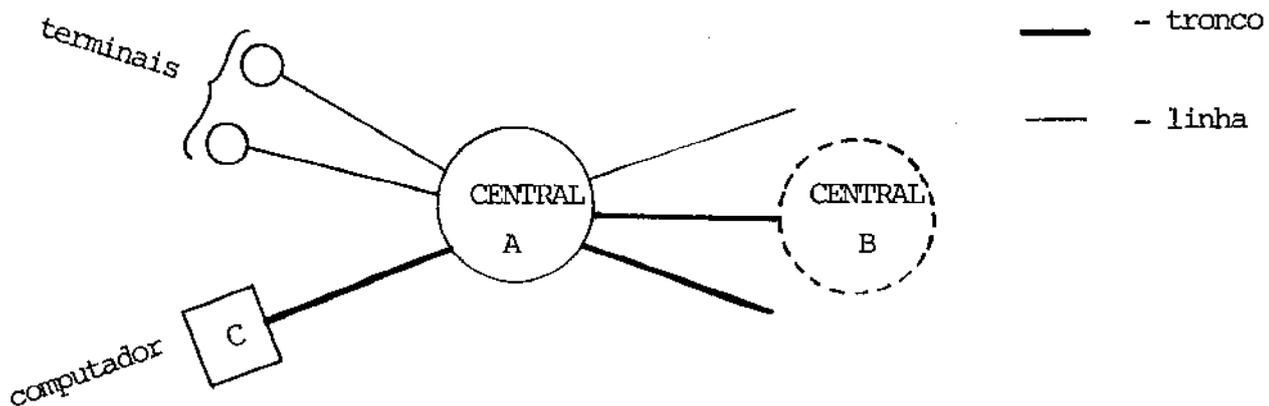


Fig. 1.2.1 - Central de Comutação de Pacotes

Para cada linha ou tronco há um sentido de transmissão e um sentido de recepção de pacotes bem definidos, que operam si multaneamente (operação "full duplex"). Há uma fila de transmissão associada ao sentido de transmissão e uma fila de recepção as sociada ao sentido de recepção. Um pacote emitido por um termi - nal, ao ser recebido por uma central é colocado na fila de recepção correspondente àquela linha de acesso. O seu cabeçalho é ana lisado para se determinar em qual linha ou tronco ele deve ser co locado para prosseguir seu caminho até o terminal destinatário . Determinado o tronco ou linha, o pacote é inserido na fila de

transmissão associada. A esta técnica de armazenamento e envio chama-se "store-and-forward".

Daqui para frente neste trabalho, chamaremos de enlace tanto uma linha como um tronco.

A figura 1.2.2 ilustra uma central com quatro enlaces e suas respectivas filas. Na central há um espaço de memória reservado para armazenagem de pacotes no caso de estouro da capacidade de uma fila. As linhas mais grossas indicam as ações tomadas pela central [Davies, 1979, (4)].

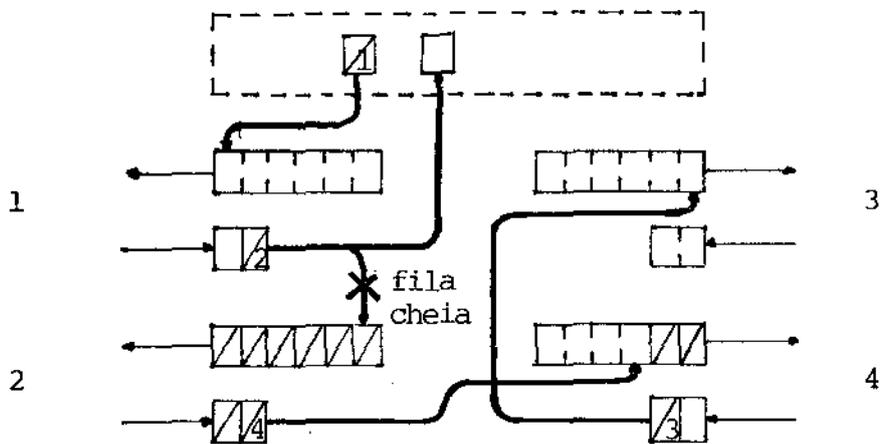


Fig. 1.2.2 - Sentidos de transmissão dos enlaces

Um enlace pode, em certo momento, estar sendo requisitado para enviar pacotes de outros enlaces. Numa rede com comutação de pacotes, esta alocação do recurso de transmissão é feita de modo análogo à técnica ATDM, envolvendo a multiplexação de um pacote cada vez que o recurso é alocado para um elemento demandan

te. A figura 1.2.3 mostra quatro enlaces cujos pacotes devem ser mandados para um quinto enlace. A central em geral, tenta dar prioridade aqueles enlaces cuja capacidade da fila recepção estiver completada.

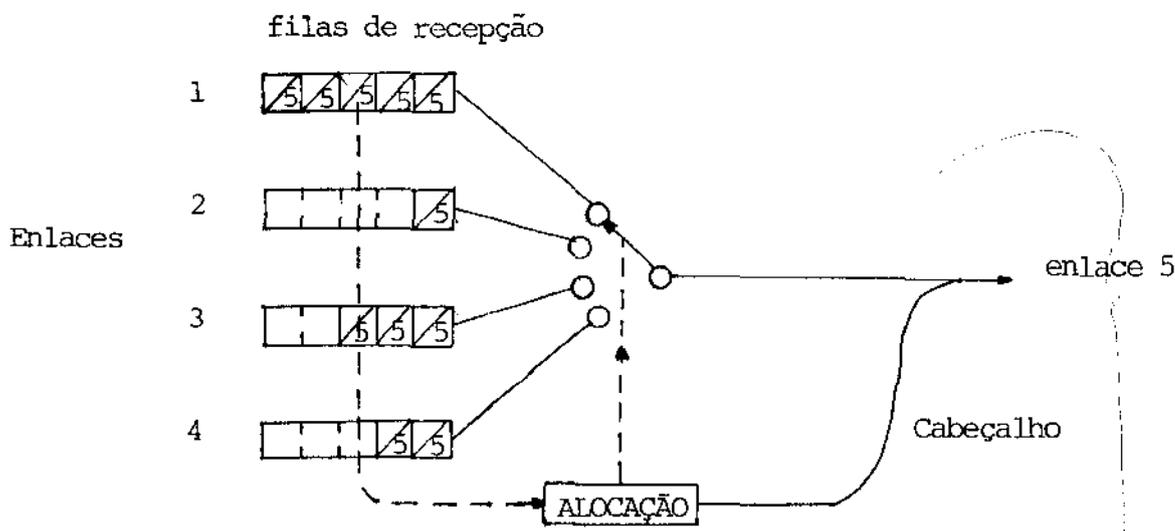


Fig. 1.2.3 - Alocação do Recurso de Transmissão de acordo com Demanda

Uma das funções essenciais da central de comutação de pacotes é o controle de erros. Bits redundantes, calculados como função dos bits do pacote, são colocados num campo que é acrescentado ao pacote antes de sua transmissão. Uma central ao recebê-lo, faz o mesmo cálculo com os bits do pacote recebido e compara o resultado com aquele recebido. Se forem iguais, é concluído que a transmissão foi correta e a central envia uma mensagem de recebimento ("acknowledge") à central que enviou o pacote. Se a central concluir que houve erro de transmissão, ela descarta o paco-

te. Se não receber o pacote de recebimento depois de um certo período pré-determinado de tempo, a central que emitiu o pacote o retransmite novamente.

Outra função da central é o roteamento dos pacotes através da subrede. A técnica mais comum é aquela em que decisões de rota são tomadas sequencialmente por cada central que o pacote passa, com fundamento no endereço destinatário do pacote e nas tabelas contidas em cada central.

Da escolha do algoritmo de estabelecimento de rotas, depende fortemente a operação de uma rede. O projetista deve escolher um algoritmo de modo a maximizar a utilização das linhas e minimizar os atrasos. O algoritmo deve prever também caminhos alternativos no caso de falhas de algumas partes da rede. A rede ARPA, por exemplo, utiliza um algoritmo de rotas adaptativas para cada central, baseado nas informações trocadas com as centrais vizinhas a cada segundo.

A figura 1.2.4 ilustra tabelas de rotas de duas centrais numa rede complexa. Para cada destino de pacote, a tabela associa o número do próximo enlace e o número de outro enlace como alternativo, no caso de ocorrer falhas de equipamento. Por exemplo, um pacote que chega na central A e cujo endereço é D deve tomar o enlace 2 de A no caso normal e no caso de falha o enlace 1. Este tipo de rota não leva em conta o histórico do pacote, mas somente o seu último destino [Davies, 1979, (5)].

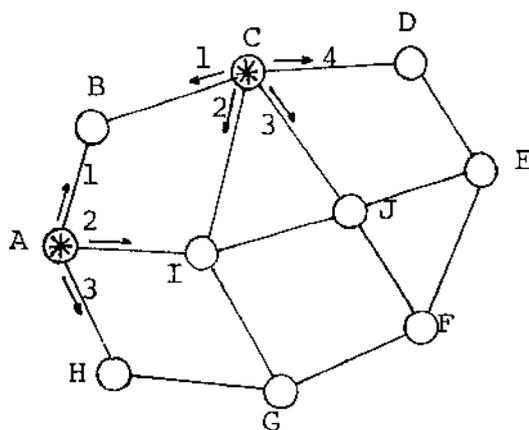


Tabela de A

DESTINO	ROTA	ALTERNATIVA
B	1	2
C	1	2
D	2	1
E	2	1
F	3	2
G	3	2
H	3	2
I	2	3
J	2	3

Tabela de C

DESTINO	ROTA	ALTERNATIVA
A	1	2
B	1	2
D	4	3
E	4	3
F	3	4
G	2	3
H	2	1
I	2	3
J	3	2

Fig. 1.2.4 - Exemplo de Tabela de Rota

O controle de fluxo é também feito pelas centrais. Os enlaces de uma central são geralmente de capacidades de transmissão diferentes. Por exemplo, um terminal de vídeo com capacidade 4800 bps pode comunicar-se com computador, que está conectado à rede através de um enlace de 56000 bps. Fica sob a responsabilidade da subrede o controle de fluxo, de modo que o terminal e o computador possam trocar informações sem problemas.

Um problema associado ao controle de fluxo é o congestionamento. Existem muitas técnicas para evitá-lo. Na rede

ARPA, por exemplo, somente uma mensagem pode estar em trânsito entre uma fonte e um destino, sendo que essa mensagem pode ter no máximo 8 pacotes de 1024 bits. Este controle é baseado no RFNM ("request for next message" - pedido para próxima mensagem). Os pacotes de uma mensagem são enviados por um terminal origem a um terminal destino. Quando o último pacote da mensagem é recebido pela central conectada ao terminal destino, a mensagem original é reconstituída e a central envia um pacote RFNM ao terminal origem, dando-lhe autorização para enviar outra mensagem.

Duas técnicas de transferência de pacotes numa rede, são conhecidas:

a) Datagrama: Os pacotes fazem seu caminho pela subrede independentemente, ou seja, cada pacote é uma entidade per si. Um pacote possui no seu cabeçalho o endereço destinatário, o qual é usado nas centrais para escolher o próximo enlace de sua rota de acordo também com as tabelas de rotas, não levando em conta se o pacote anterior da mensagem foi enviado ou não por aquele enlace. A rede francesa CYCLADES e a rede EIN ("European Informatics Network") usam esta técnica. A figura 1.2.5 mostra um formato possível para pacotes deste tipo de técnica. Os endereços do terminal origem e do terminal destino são incluídos no cabeçalho. O campo "facilidades" contém pedidos de serviços especiais da rede, como por exemplo a requisição de um pacote de controle que indique a correta recepção de um pacote ou um diagnóstico de entrega frustrada. O campo identificador é usado para identificar o pacote [Davies, 1979, (6)].

Terminal Origem	Terminal Destino	Facili- dades	Identifi- cador	DADOS
--------------------	---------------------	------------------	--------------------	-------

Fig. 1.2.5 - Formato possível do pacote usado em Datagrama

b) Circuito Virtual: é uma associação temporária entre dois terminais de uma rede através de um caminho lógico formado - por uma sequência de enlaces adjacentes, cujas extremidades são os terminais origem e destino. Uma conexão é feita em três fases: estabelecimento da chamada, transferência de dados e término da chamada.

Quando fazemos uma chamada telefônica é estabelecido um circuito. Ao discar o número desejado, estamos dizendo o endereço destinatário à rede. A rede então estabelece um circuito o qual é usado durante a chamada e que é desfeito no final da mesma, deixando os enlaces que o compunham disponíveis para outras chamadas. De modo análogo é estabelecido um circuito virtual. O terminal origem, aquele que inicia a chamada, manda um pacote à subrede pedindo uma conexão com um terminal destino, aquele que recebe o pedido de chamada. A subrede se encarrega de achar um caminho do terminal origem ao terminal destino para enviar o pedido de chamada. As centrais pertencentes a este caminho registram as associações de enlaces utilizados para aquele pacote, de maneira que se o terminal destino aceita a conexão, um pacote de aceitação é transmitido pelo mesmo caminho no sentido contrário percorrido pelo primeiro. Quando este pacote é recebido pelo terminal origem, está feita a chamada e pacotes dados podem ser trocados

entre os dois terminais. Para finalizar a chamada, qualquer um dos terminais manda um pedido de fim de chamada ao outro terminal e quando uma confirmação de fim de chamada é recebida por este terminal, termina a conexão.

Um enlace possui uma capacidade limitada de conexões - das quais ele pode participar num mesmo instante, isto é, é associado um canal lógico para cada conexão que ele pode fazer parte. Para cada conexão é estabelecido um circuito virtual, que é uma sequência de canais lógicos pertencentes a enlaces adjacentes da subrede. Veja na figura 1.2.6 uma ilustração de associações de canais lógicos armazenados nas centrais intermediárias de circuitos virtuais [Davies, 1979, (7)].

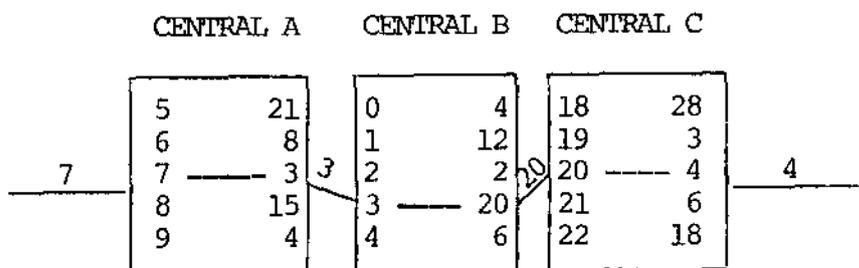


Fig. 1.2.6 - Circuito virtual formado por uma associação de canais lógicos

Quando a técnica datagrama é usada, os pacotes contêm o endereço completo do destinatário no seu cabeçalho o que não acontece em circuito virtual. Nesta última técnica com exceção do pacote de pedido de chamada, o pacote contém apenas o número do canal lógico utilizado. A central ao receber um pacote iden-

tifica o canal lógico utilizado, pesquisa sua tabela de associações de canais lógicos para determinar o canal lógico seguinte, substitui no pacote o número do antigo canal lógico pelo novo e coloca-o no enlace que contém aquele canal lógico. Há portanto, uma grande economia no endereçamento desses pacotes.

Um circuito virtual possui a mesma característica do circuito físico no que diz respeito à preservação da sequência dos pacotes de uma mensagem. Os pacotes são enviados segundo a ordem de geração e se algum deles não é bem recebido pelo terminal destino nenhum pacote que o segue pode ser entregue. A sub-rede deve prever tais situações e tomar providências necessárias ao restabelecimento da ordem.

Provavelmente devido à analogia entre circuito físico, a que as empresas operadoras já estão habituadas, e o circuito virtual, essa tecnologia tem sido mais bem aceita que a de datagrama.

Neste trabalho, ficaremos restritos à comutação de pacotes através da técnica circuito virtual.

CAPÍTULO 2

CENTRAL DE COMUTAÇÃO DE PACOTES COM ARQUITETURA EM ANEL

Devido ao barateamento dos custos dos processadores nos últimos anos, tem-se tornado cada vez mais interessante construir centrais de comutação, compostas por um conjunto de processadores. Uma central com arquitetura distribuída apresenta vantagens, tais como: alto desempenho devido à operações paralelas, grande capacidade de recuperação no caso de falhas de equipamento e simplificação de software.

2.1 - Descrição da Central de Comutação Considerada

A central de comutação aqui considerada é uma central com arquitetura distribuída composta pelos seguintes elementos:

. Estações: uma estação é uma estrutura baseada em um ou mais processadores, que deve realizar uma função bem específica de modo a aproveitar os possíveis paralelismos e minimizar trocas de mensagens entre ela e as outras.

. Ligações ponto a ponto: interligam as estações permitindo a comunicação entre elas num único sentido de tráfego, formando uma estrutura anelar. Possuem uma capacidade de transmissão constante.

. Enlaces: elementos de transmissão responsáveis pela comunicação entre a central e o restante da rede. Veja figura 2.1.1 os elementos de uma central de comutação.

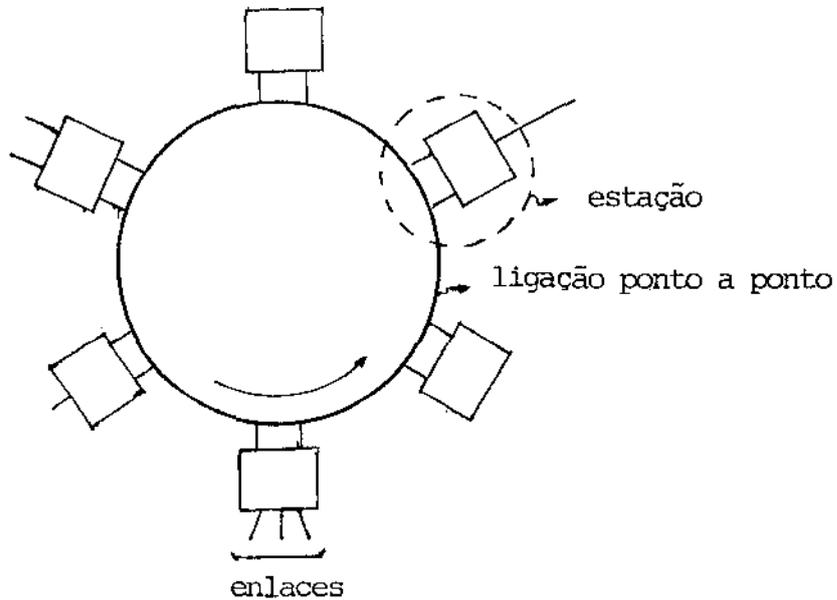


fig. 2.1.1 Elementos de uma central com arquitetura em anel

Um pacote ao chegar na central é processado e em seguida fragmentado em pedaços menores. A cada um dos fragmentos é acrescido um cabeçalho que contém o endereço da estação destino naquela mesma central. A este fragmento com cabeçalho denominaremos "mensagem". A razão desta fragmentação é o melhor aproveitamento do recurso anel, além da facilidade de se trabalhar com unidades menores. A estação encarregada de retransmitir o pacote da central, reúne as mensagens formadas pelo pacote e as recompõe no pacote original.

Para efeito deste trabalho é conveniente destacar os seguintes elementos componentes da estação:

- 1) Módulo Processador: responsável pelo processamento de todo pacote que chega de um enlace e de toda mensagem que chega do

anel.

- 2) Buffer de Entrada no Anel: memória onde as mensagens que são formatadas pelo módulo processador, aguardam em fila para entrar no anel. A ordem de entrada das mensagens no anel é a mesma que essas mensagens chegam no buffer de entrada. Como na figura 2.1.2, esse buffer será designado fila A.
- 3) Buffer de Trânsito no Anel: é o segmento do anel correspondente a esta estação, de capacidade limitada. Uma mensagem nesse buffer, está em trânsito no anel e o seu endereço destinatário não é o dessa estação. Chamaremos este buffer de fila B (figura 2.1.2).
- 4) Buffer de Saída do Anel: memória onde as mensagens que saem do anel aguardam em fila para serem processadas pelo módulo processador. Este buffer chamaremos de fila C (figura 2.1.2).
- 5) Lógica: situada antes da fila B e da fila C da estação no sentido do anel. É responsável pelo teste do endereço destinatário das mensagens, necessitando para isto uma memória do tamanho do cabeçalho da mensagem. Se o endereço for o da estação a mensagem é dirigida para a fila C e em caso negativo ela é inserida na fila B da estação.

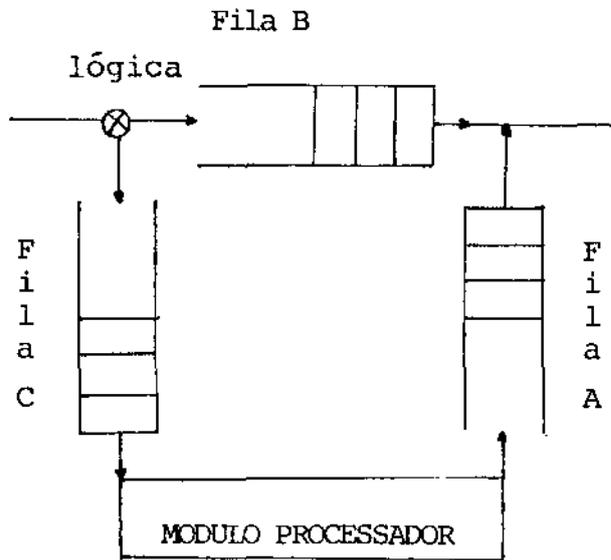


fig. 2.1.2 Elementos de uma estação

A manipulação de mensagens entre as estações é do tipo "check - and - forward", ou seja, uma mensagem em transição no anel ao passar por uma estação, tem o seu cabeçalho armazenado e testado pela lógica daquela estação. Caso o seu endereço destinatário seja o daquela estação, a mensagem é retirada de circulação e no caso contrário ela prossegue sua trajetória sem ser perturbada. Este sistema de comunicação entre as estações apresenta algumas vantagens, tais como: atrasos reduzidos, memória requerida pequena, ausência completa de algoritmo de rotas e simplificação de software.

Em cada estação, o anel é disputado pelas mensagens da fila B para continuar seu trânsito no anel e pelas mensagens da fila A para entrar no anel. A política de alocação deste recurso

é a seguinte: uma mensagem da fila A tem prioridade para entrar no anel se o espaço livre da fila B for maior ou igual ao seu tamanho, implicando num retardamento das mensagens da fila B. Dessa maneira, evita-se congestionamento no anel, pois a velocidade que ele recebe as mensagens da fila A é a mesma que ele recebe mensagens das estações anteriores, ou seja, no espaço livre da fi la B. Quando o espaço disponível da fila B for menor que o tamanho da primeira mensagem da fila A, o anel dá então prioridade de atendimento à primeira mensagem da fila B. Tal política de atendimento evita que uma mensagem da fila A de uma estação, situada entre duas outras que mantêm uma conversação ininterrupta, espere indefinidamente para entrar no anel. Esta política de aten dimento gera uma alternância de prioridades, de acordo com o esta do corrente do sistema [Liu, 1977].

A cada estação da central corresponde uma função específica, que é parte da operação global. De acordo com a função desempenhada, podemos distinguir três tipos de estação:

(a) Estação tipo "COM" (comutação): responsável pelo gerenciamento das fases de conexão e desconexão dos circuitos vir tuais.

(b) Estação tipo "IL" (interface de linha): encarregada de fazer a interface física entre a central e o restante da rede. Numa estação deste tipo estão portanto as interfaces de tratamento de linhas e troncos de comunicação.

(c) Estação tipo "CV" (circuito virtual): age somente na fase de transferência de dados, dispondo de memória para arma-

zenamentos de dados e capacidade de processamento necessário à comutação.

Consideraremos uma central composta por N_{IL} estações "IL", N_{CV} estações "CV" e uma estação "COM". A disposição das estações no anel é qualquer. Veja figura 2.1.3.

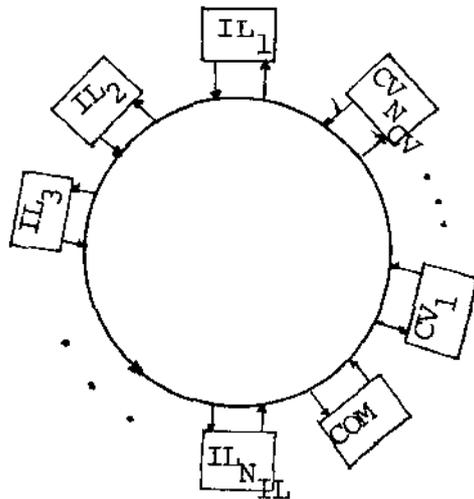


fig. 2.1.3 - Central de Comutação composta por três tipos de estação

2.2 - Protocolo de Comunicação Utilizado na Central

A fim de que haja uma execução confiável das tarefas requeridas pelos usuários de uma rede, deve-se definir procedimentos tanto na subrede como nos terminais. Esses procedimentos são implementados por software e recebem o nome de processo. Dois processos executados em locais geograficamente diferentes, trocam informações a fim de coordenar suas ações e obter sincronização. Ao conjunto das especificações lógicas e semânticas que regem es-

sa troca de informações dá-se o nome de protocolo. As funções principais de um protocolo são: controle de erros, controle de fluxos, controle de congestionamento e estratégias de roteamento. Controle de erros é feito para proteger a integridade dos dados do usuário e das mensagens de controle. Controle de fluxo e congestionamento é feito para que se torne viável o compartilhamento dos recursos da rede. Estratégias de roteamento são necessárias para otimizar a utilização dos recursos da rede. Apesar dessas funções serem providenciadas pela subrede, algumas devem estar presentes também nos protocolos implementados entre os terminais e a subrede.

Aqui consideraremos o protocolo X.25 recomendado pelo Comitê Consultativo Internacional de Telegrafia e Telefonia (CCITT), projetado para redes públicas com comutação de pacotes. O protocolo X.25 define a interface local entre terminais e a subrede, ou na terminologia da CCITT, interface entre equipamento terminal de dados (ETD) e equipamento de terminação de circuito de dados (ETCD). Neste trabalho suporemos que o protocolo usado internamente na subrede é também o X.25, de modo que não será relevante a diferença entre linhas e troncos.

2.2.1 - Visão Geral do X.25

A recomendação X.25 define uma hierarquia de três níveis distintos e independentes de protocolo [Sloman, 1978]:

Nível 1 (nível físico): especifica as características elétricas e mecânicas necessárias para estabelecer, manter e desconectar uma linha física entre um terminal e a subrede. Os ní -

veis de voltagem, conector, métodos de transmissão são definidos por este nível. A característica importante vista pelo nível imediatamente acima, é que o nível 1 fornece um circuito serial de bits, síncrono, full duplex e ponto a ponto para a transmissão digital.

Nível 2: descreve o procedimento de acesso ao enlace (PAE) para a troca de dados entre terminal e subrede. Este procedimento usa os princípios e a terminologia do "High Level Data Link Control" (HDLC), especificado pela "International Organization for Standardization" (ISO). O seu objetivo principal é converter um circuito físico sujeito a erros em um enlace livre de erros, além de incluir métodos para evitar congestionamentos. É também chamado o nível do quadro, que é o formato em que toda transmissão deve ser colocada.

Nível 3 (nível de pacote): especifica o formato e os procedimentos de controle para a troca de pacotes (de dados ou de controle) entre terminal e subrede. Encarrega-se de fazer a multiplexação de pacotes dos terminais, combinando um número de canais lógicos num único enlace físico, através de intercalação de pacotes. Cada canal lógico possui controle independente de fluxo e de erros. Este nível possui a capacidade de estabelecer e de reinicializar circuitos virtuais.

Cada nível aceita informação de um nível superior , acrescenta um cabeçalho e/ou alguns bits no final da mensagem e envia para o próximo nível mais baixo. Veja figura 2.2.1.1..

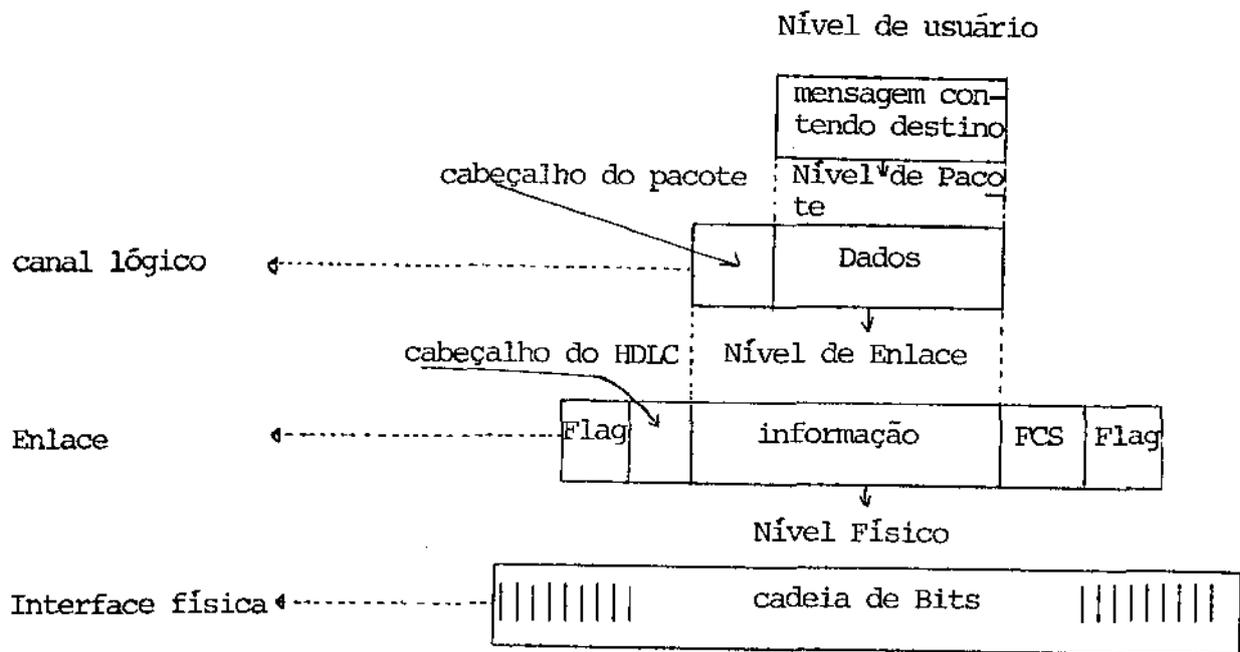


fig. 2.2.1.1 - Passagem dos dados através dos vários níveis do X.25

Os três níveis do protocolo X.25 são independentes entre si e os dois primeiros poderiam ser substituídos por qualquer outro protocolo que executasse as mesmas funções. O terceiro nível é o que realmente identifica o protocolo.

O nível 1 e o nível 2 serão considerados implementados integralmente em cada estação IL, sem que haja nenhum impacto desses dois níveis sobre a operação do anel. A interação entre as estações do anel só se fará em nível 3, razão pela qual apenas este nível será considerado.

2.2.2 - Tipos de Pacotes Manipulados pelo X.25

O nível 3 do protocolo X.25 trabalha com vários tipos de pacotes, como poderemos ver mais à frente, os quais seguem uma

estrutura básica: os três primeiros octetos correspondem ao cabeçalho (identificação do tipo do pacote e do canal lógico) e os outros octetos correspondem aos dados do usuário.

As funções desenvolvidas pelos pacotes do nível 3 do X.25 são as seguintes:

- 1) Estabelecimento e finalização de chamada
- 2) Transferência de dados e interrupção
- 3) Controle de fluxo e reinicialização de um canal lógico
- 4) Reinicialização de todos os canais lógicos.

Na tabela seguinte mostramos os tipos de pacotes usados pelo nível 3 do X.25, tanto do terminal para a subrede como da subrede para o terminal, isto é, quando o pacote é enviado pelo terminal, ele tem um significado e quando enviado pela subrede ele tem outro significado, porém com o mesmo objetivo .

[Interface Between Data Terminal Equipment (DCE) and Data Circuit Terminating Equipment (DCE) for Terminals Operating in the Packet Mode on Public Data Network, 1977]

Da Subrede para o Terminal	Do Terminal para a Subrede
Estabelecimento e Finalização de Chamada	
CHAMADA ENTRANTE CHAMADA CONECTADA INDICAÇÃO DE CLEAR CONFIRMAÇÃO DE CLEAR	SOLICITAÇÃO DE CHAMADA CHAMADA ACEITA SOLICITAÇÃO DE CLEAR CONFIRMAÇÃO DE CLEAR
Transferência de Dados e Interrupção	
DADOS INTERRUPÇÃO CONFIRMAÇÃO DE INTERRUPÇÃO	DADOS INTERRUPÇÃO CONFIRMAÇÃO DE INTERRUPÇÃO
Controle de Fluxo e Reinicialização de um Canal Lógico	
RR RNR INDICAÇÃO DE RESET CONFIRMAÇÃO DE RESET	RR RNR REJ SOLICITAÇÃO DE RESET CONFIRMAÇÃO DE RESET
Reinicialização de todos os canais lógicos	
INDICAÇÃO DE RESTART CONFIRMAÇÃO DE RESTART	SOLICITAÇÃO DE RESTART CONFIRMAÇÃO DE RESTART

A seguir descreveremos as várias fases de uma conexão

e os pacotes empregados.

1) Estabelecimento e Finalização de Chamada

Para que um terminal (origem) inicie uma chamada virtual dirigida a outro terminal (destino), ele manda um pacote de SOLICITAÇÃO DE CHAMADA à subrede. A subrede eventualmente enviará um pacote de CHAMADA ENTRANTE ao terminal destino. O terminal destino tem a opção de aceitar ou rejeitar a chamada. O terminal chamado para aceitar a chamada, deve enviar o pacote CHAMADA ACEITA à subrede, que ao recebê-lo transmite o pacote CHAMADA CONECTADA ao terminal chamador. Para que o terminal chamado rejeite a chamada, ele deve enviar uma SOLICITAÇÃO DE CLEAR à subrede. Esta transmite uma INDICAÇÃO DE CLEAR ao terminal chamador, que por sua vez, responde com uma CONFIRMAÇÃO DE CLEAR que será retransmitida pela subrede ao terminal chamado. Após a fase de estabelecimento de chamada dá-se a fase de transferência de dados.

Para desfazer a chamada qualquer um dos dois terminais envolvidos pode mandar uma SOLICITAÇÃO DE CLEAR e a subrede retransmite uma INDICAÇÃO DE CLEAR ao outro terminal. O terminal, que recebe o pacote de INDICAÇÃO DE CLEAR, envia uma CONFIRMAÇÃO DE CLEAR à subrede que a retransmite, liberando o circuito virtual.

2) Transferência de Dados e Interrupção

Após o estabelecimento do circuito virtual entre dois terminais, qualquer um deles pode enviar pacotes de DADOS à subrede que os retransmite até o outro terminal.

Pacotes de INTERRUPÇÃO são usados para verificar se a ligação em um determinado circuito virtual, está sendo mantida . Uma vez recebido este pacote, o terminal envia um pacote de CONFIRMAÇÃO DE INTERRUPÇÃO à subrede que o retransmite ao outro terminal. Os pacotes de interrupção atravessam a subrede com alta prioridade.

3) Controle de Fluxo e Reinicialização de um Canal Lógico

Um mecanismo de controle de fluxo, denominado janela é usado nos dois sentidos de um canal lógico. A janela é o número de pacotes não confirmados que o terminal e a subrede podem ter pendentes, em qualquer momento, num particular canal lógico. Um terminal desempenha as funções de receptor e transmissor. Os pacotes enviados são enumerados no módulo 8, ou seja, de 0 a 7 , e cada terminal tem sempre armazenado o número do pacote que está sendo transmitido e o número do próximo pacote que ele espera receber.

O pacote RR (receptor pronto) é usado para confirmar a recepção de pacotes quando não se tem pacotes de dados para isso. Além disto, este pacote serve para retirar uma condição de ocupado do receptor. Um terminal envia um pacote RNR (receptor não pronto) a um terminal ao qual ele está conectado, para notificar de que ele está temporariamente incapacitado de receber pacotes num particular canal lógico. Esta condição é eliminada com a recepção de um pacote RR enviado pelo mesmo terminal.

O pacote REJ (rejeição) é enviado por um terminal à

subrede para solicitar a retransmissão de pacotes a partir de um certo número de sequência.

Os pacotes SOLICITAÇÃO DE RESET e INDICAÇÃO DE RESET são enviados para reinicializar um particular canal lógico e o pacote CONFIRMAÇÃO DE RESET é usado para confirmar a recepção da INDICAÇÃO DE RESET.

4) Reinicialização de Todos os Canais Lógicos

Após a ocorrência de um problema grave (exemplo: interrupção de um enlace), um terminal (ou a subrede) pode solicitar reinício da operação do nível 3, enviando uma SOLICITAÇÃO DE RESTART (ou o pacote INDICAÇÃO DE RESTART). O nível 3 é reativa do após se desfazerem todas as chamadas virtuais existentes antes da ocorrência grave. Para confirmar a recepção de uma INDICAÇÃO DE RESTART o terminal manda uma CONFIRMAÇÃO DE RESTART [Davies, 1979 (8)], [Miguez, 1980].

2.2.3 - Tipos de Pacotes e Mensagens Considerados em Trânsito na Central

Para efeito deste trabalho não é relevante levar em conta todos os tipos de pacotes previstos no X.25. Supondo - se uma operação normal, com as fases sucessivas de conexão, transferência de dados e desconexão, apenas os seguintes tipos são relevantes: SOLICITAÇÃO DE CHAMADA, CHAMADA ENTRANTE, CHAMADA ACEITA, CHAMADA CONECTADA, PACOTES DE DADOS, SOLICITAÇÃO DE CLEAR , INDICAÇÃO DE CLEAR, CONFIRMAÇÃO DE CLEAR.

A fim de simplificar a notação, sem prejudicar a vali-

dade da análise que se propõe nesse trabalho, o pacote CHAMADA EN TRANTE será chamado de SOLICITAÇÃO DE CHAMADA, o pacote CHAMADA CONECTADA de CHAMADA ACEITA e INDICAÇÃO DE CLEAR será chamada de SOLICITAÇÃO DE CLEAR.

A figura 2.2.3.1 ilustra as fases de comunicação com os respectivos pacotes considerados neste trabalho.

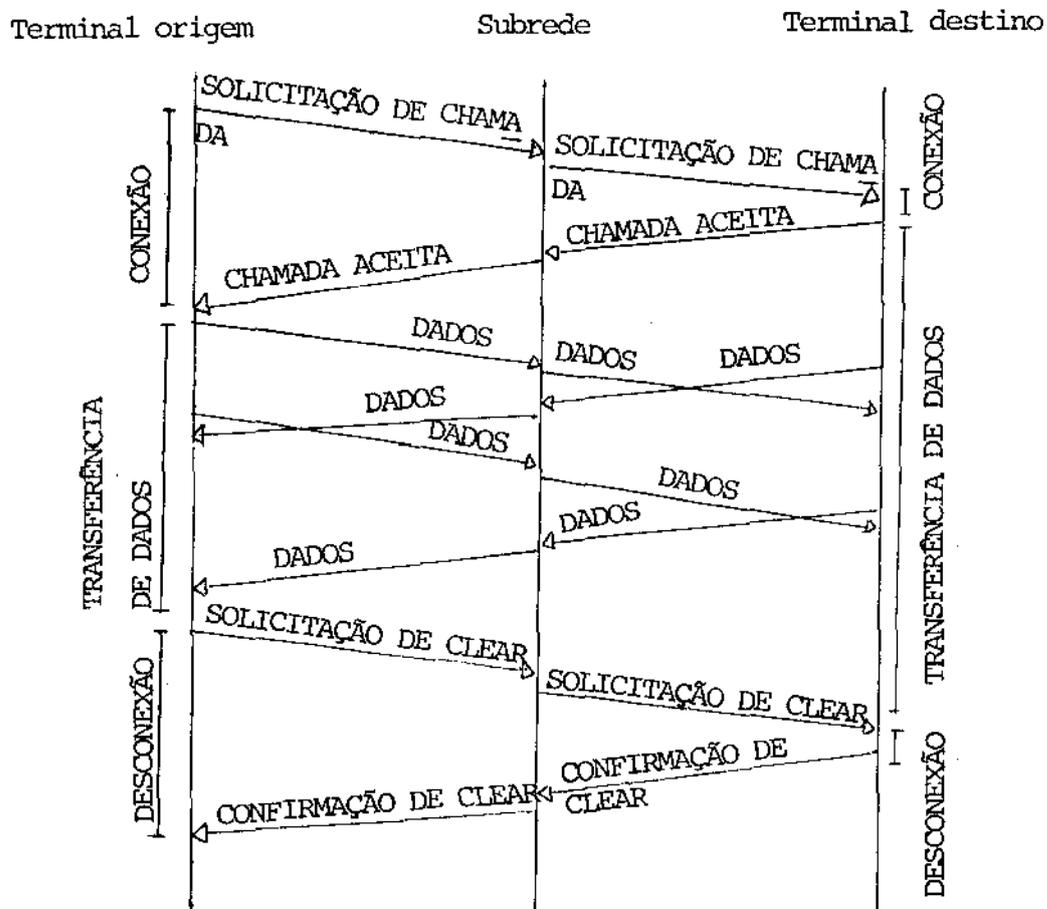


fig. 2.2.3.1 - Tipos de Pacotes Considerados

As mensagens em trânsito na central são as mensagens provenientes de fragmentação de pacotes e também de mensagens de sinalização interna. As primeiras são relacionadas ao protocolo X.25 enquanto que as mensagens de sinalização interna são depen -

dentes da implementação. As mensagens de sinalização interna a serem consideradas nesse trabalho são as mensagens previstas para a central REXPAC, em desenvolvimento no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Telebrás. Na verdade, trata-se de um subconjunto de mensagens relevantes, relativas a situações normais. A análise das mensagens de sinalização interna da REXPAC e a seleção desse conjunto relevante foram realizados através de entrevista direta com engenheiros e analistas e de consulta aos documentos existentes nos Laboratórios do Programa de Comunicação de Dados do CPqD, durante um estágio de 2 meses. [Estrutura de Software da Central REXPAC, 1980].

Apresentamos a seguir o trajeto normal detalhado de um pacote na central, incluindo as mensagens de sinalização interna.

- 1) O pacote é recebido por um canal lógico de um enlace conectado a uma estação IL da central.
- 2) Se o pacote for um pacote de controle (SOLICITAÇÃO DE CHAMADA, CHAMADA ACEITA, SOLICITAÇÃO DE CLEAR ou CONFIRMAÇÃO DE CLEAR) ele é enviado junto com uma mensagem de sinalização interna que chamaremos de INFORMA COM, que contém a identificação do canal lógico de chegada do pacote na central, à estação COM. A estação COM pode eventualmente, mandar algumas mensagens de sinalização interna a outras estações, de acordo com o tipo do pacote recebido, mas em todos os casos, ela retransmite o pacote junto com uma mensagem de sinalização interna que denominaremos de INFORMA IL, a qual contém a identi

ficação do canal lógico de saída do pacote da central, à uma estação IL associada a conexão envolvida.

Se o pacote recebido for um pacote de dados, ele e uma mensagem de sinalização interna, INFORMA CV, identificadora do canal lógico de entrada do pacote na central, são enviados a uma estação CV associada à conexão do pacote. A estação CV retransmite o pacote junto com uma mensagem de sinalização interna, INFORMA IL, à estação IL por onde o pacote deve sair da central.

- 3) O pacote é recebido por uma estação IL, que deve retransmití-lo para fora da central através do canal lógico especificado na mensagem INFORMA IL.

A seguir descrevemos com detalhes os procedimentos envolvidos no trânsito de cada tipo de pacote numa central.

1) SOLICITAÇÃO DE CHAMADA

Um pacote de SOLICITAÇÃO DE CHAMADA é recebido por uma central através de uma estação IL_i ($i = 1, \dots, N_{IL}$), a qual está conectada com um enlace determinado pela última central por ele percorrida, como parte do seu caminho em busca do terminal destino. A estação IL_i envia o pacote recebido, sob forma de mensagens, e uma mensagem de sinalização interna, INFORMA COM, à estação COM. A estação COM, com base nas suas tabelas de roteamento, no endereço destinatário do pacote e no canal lógico utilizado pelo pacote para entrar na central, determina um canal lógico livre de um enlace conectado a uma estação IL_j ($j=1, \dots, N_{IL}$) daquela mesma central, através do qual o pacote deve prosseguir

a fim de alcançar o seu terminal destino. A estação COM armazena a associação dos dois canais lógicos (de entrada e de saída do pacote da central) e retransmite o pacote (sob forma de mensagens) e uma mensagem de sinalização interna, INFORMA IL, à estação IL_j escolhida. Veja figura 2.2.3.2.

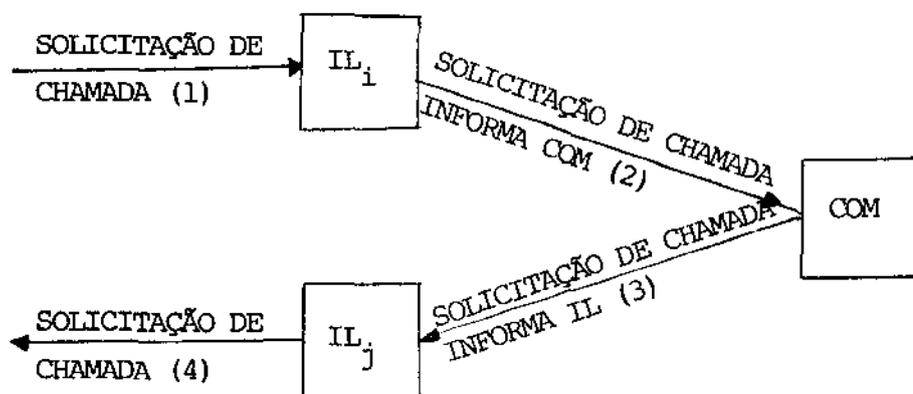


Fig. 2.2.3.2 Trajeto de uma SOLICITAÇÃO DE CHAMADA numa central

2) CHAMADA ACEITA

Uma estação IL_j que enviou um pacote de SOLICITAÇÃO DE CHAMADA pode eventualmente receber um pacote de CHAMADA ACEITA. O pacote recebido (sob forma de mensagens) e uma mensagem de sinalização interna, INFORMA COM, são enviados à estação COM. A estação COM ao recebê-los escolhe uma estação CV_k ($k = 1, \dots, N_{CV}$) que deve ficar encarregada de ser intermediária entre as duas estações IL envolvidas na conexão, durante a fase de transmissão de dados. A estação COM, para estabelecer o circuito virtual, envia as seguintes mensagens de sinalização interna:

- a) ALERTA IL - enviada à estação IL_j , que recebeu o

pacote CHAMADA ACEITA, advertindo-a de que os pacotes de dados que posteriormente chegarem pelo canal lógico correspondente devem ser enviados para a estação CV_k , incumbida de ser intermediária daquela conexão.

b) ALERTA IL - enviada à estação IL_i (aquela que deve retransmitir o pacote CHAMADA ACEITA para fora da central), avisando-a de que os pacotes de dados que ela receber pelo canal lógico que o pacote CHAMADA ACEITA vai utilizar, devem ser enviados à estação CV_k .

c) ACORDA CV - enviada à estação CV_k , escolhida como intermediária da conexão, informando-a que ela deve incluir na sua tabela de associações de canais lógicos a associação correspondente à nova conexão, de maneira que os pacotes de dados posteriormente recebidos pela estação CV_k , vindo de qualquer um dos dois canais lógicos, sejam enviados para o outro canal lógico associado.

A estação COM além de enviar essas três mensagens de sinalização interna, retransmite o pacote de CHAMADA ACEITA, seguido de uma mensagem de sinalização interna, INFORMA IL, à estação IL_i . Ao recebê-los a estação IL_i retransmite o pacote pelo canal lógico especificado. Veja figura 2.2.3.3.

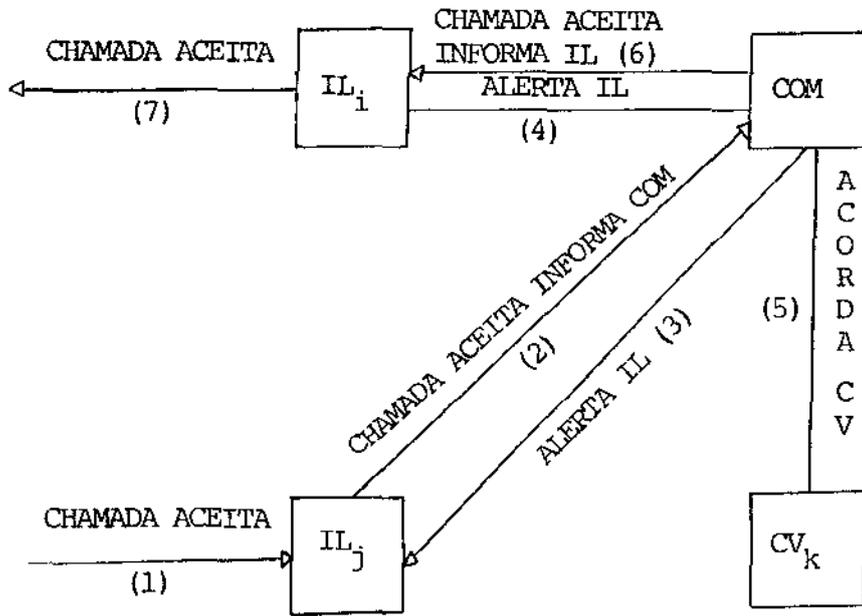


Fig. 2.2.3.3. Trajeto do pacote CHAMADA ACEITA numa central

3) PACOTES DE DADOS

Uma estação IL_i (ou IL_j) ao receber um pacote de dados, consulta uma tabela a fim de saber para qual estação CV ela deve enviá-lo. Uma vez determinada a estação CV, a estação IL_i lhe envia o pacote acompanhado de uma mensagem de sinalização interna, INFORMA CV. A estação CV, ao recebê-los pesquisa uma tabela de associações de canais lógico e retransmite o pacote juntamente com uma mensagem de sinalização interna, INFORMA IL, à estação IL_j (ou IL_i) associada. Veja figura 2.2.3.4.

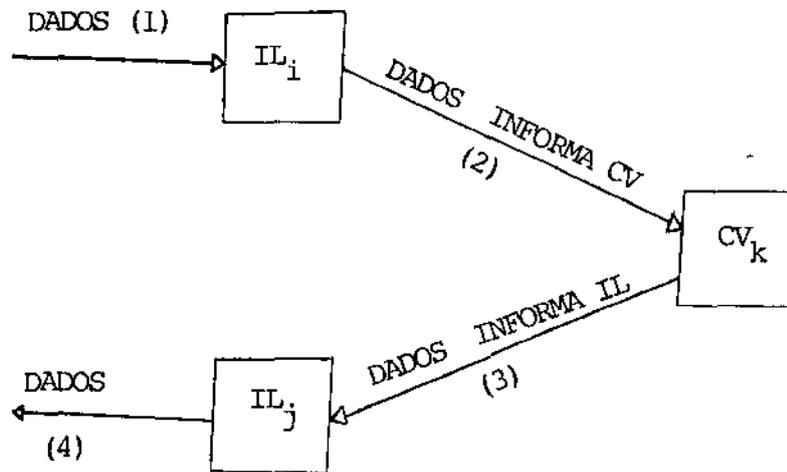


Fig. 2.2.3.4. Trajeto de um pacote de DADOS numa central

4) SOLICITAÇÃO DE CLEAR

Como visto antes este pacote pode ser enviado em duas situações diferentes:

- a) como resposta negativa a um pedido de chamada;
- b) como pedido de finalização de uma chamada.

Uma estação IL (IL_i ou IL_j) ao receber uma SOLICITAÇÃO DE CLEAR de fora da central, em ambos os casos, retransmite-a juntamente com uma mensagem de sinalização interna, INFORMA COM, à estação COM. A estação COM envia o pacote seguido de uma mensagem de sinalização interna, INFORMA IL, a outra estação IL associada. Esta estação IL, retransmite a SOLICITAÇÃO DE CLEAR para fora da central. Veja figura 2.2.3.5.

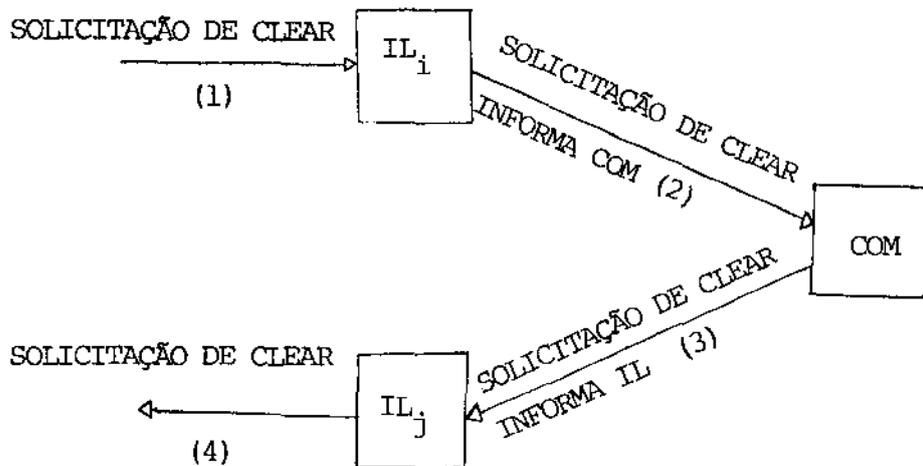


Fig. 2.2.3.5. Trajeto de uma SOLICITAÇÃO DE CLEAR numa central

5) CONFIRMAÇÃO DE CLEAR

Uma confirmação de CLEAR é uma resposta a uma SOLICITAÇÃO DE CLEAR, e pode ser enviada em duas circunstâncias diferentes:

a) como confirmação de uma negação de um pedido de chamada.

A estação IL que recebe a CONFIRMAÇÃO DE CLEAR, envia a seguida de uma mensagem INFORMA COM, à estação COM. A estação COM retransmite o pacote seguido de uma mensagem INFORMA IL à estação IL_j associada, que por sua vez retransmite o pacote para fora da central. Veja figura 2.2.3.6.

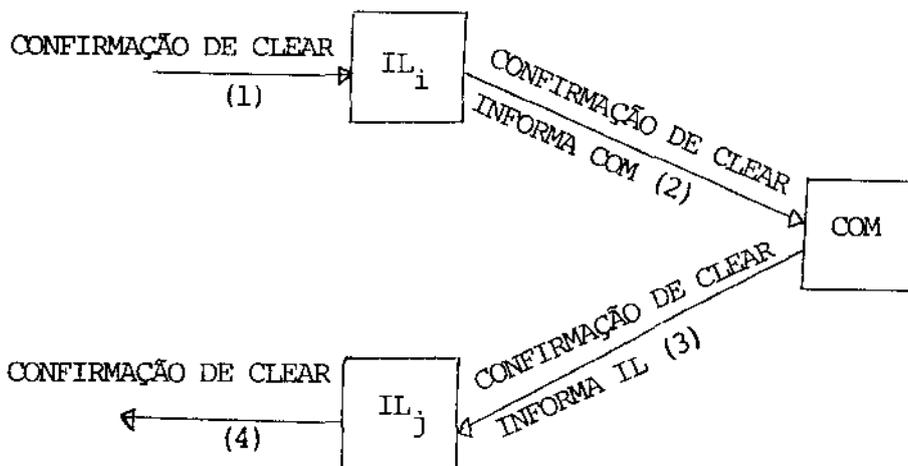


Fig. 2.2.3.6 Trajeto de uma CONFIRMAÇÃO DE CLEAR, como resposta a uma negação de um pedido de chamada numa central.

b) Como confirmação de um pedido de finalização de chamada.

Uma estação IL_i (ou IL_j) ao receber uma CONFIRMAÇÃO DE CLEAR de fora da central, a retransmite seguida de uma mensagem INFORMA COM, à estação COM. Neste caso, a estação COM deve desfazer todas as associações armazenadas na central, referentes àquela conexão (reverso de CHAMADA ACEITA). Para tal, a estação COM envia as seguintes mensagens de sinalização interna:

- 1) DORME IL - enviada à estação IL_i (ou IL_j) que acaba de receber a CONFIRMAÇÃO DE CLEAR, informando-a que o canal lógico utilizado naquela conexão está agora livre.
- 2) DORME IL - enviada à estação IL_j (ou IL_i) que deve retransmitir a CONFIRMAÇÃO DE CLEAR para fora da central, avisando-a de que o canal lógico utilizado naquela conexão está agora livre.

3) DORME CV - enviada à estação CV_k intermediária da conexão na fase de transferência de dados, advertindo-a de que a associação dos dois canais lógicos daquela conexão pode ser desfeita.

Em ambos os casos, a estação COM reenvia a CONFIRMAÇÃO DE CLEAR seguida de uma mensagem INFORMA IL, a outra estação IL daquela conexão. A estação IL, por sua vez retransmite o pacote para fora da central. Veja figura 2.2.3.7.

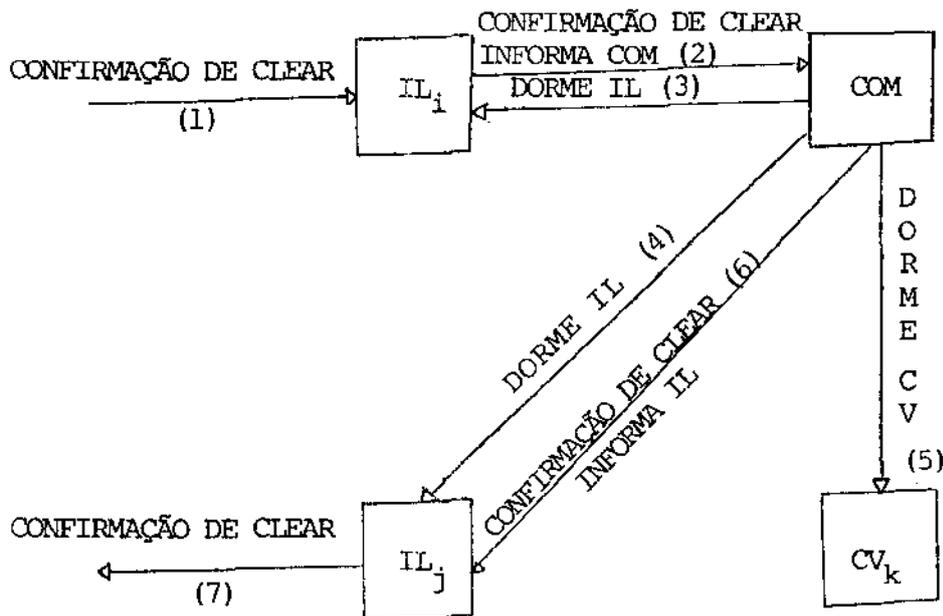


Fig. 2.2.3.7 - Trajeto de CONFIRMAÇÃO DE CLEAR, como confirmação de um pedido de finalização de chamada, numa central.

CAPÍTULO 3

CÁLCULO DOS TEMPOS DE RETARDO DE UM PACOTE NUMA CENTRAL

Como dito no capítulo anterior, o que prepondera no tempo gasto para enviar um pacote de um terminal a outro numa rede, é o somatório de tempos de espera em filas aleatórias em cada central. A fim de calcular o tempo médio de retardo de um pacote numa central de comutação, desenvolvemos dois modelos: um modelo analítico e um modelo de simulação.

Em ambos os modelos desenvolvidos, consideramos dados os seguintes parâmetros:

N_{IL} - número de estações do tipo "IL" presentes na central

N_{CV} - número de estações do tipo "CV" presentes na central

C - capacidade de transmissão do anel (caracteres/seg)

t_{MS} - tamanho máximo de uma mensagem, incluindo cabeçalho (caracteres)

t_{CB} - tamanho fixo do cabeçalho de uma mensagem (caracteres)

Ao chegar numa central, um pacote passa pelos seguintes estágios:

- processamento pela estação IL que o recebeu na central. Após processá-lo, o decompõe em mensagens e as coloca na sua fila A
- se o pacote for de controle (SOLICITAÇÃO DE CHAMADA, CHAMADA ACEITA, SOLICITAÇÃO DE CLEAR ou CONFIRMAÇÃO DE CLEAR), as mensagens compostas devem ser transmitidas à estação COM, através das

filas B's das estações situadas entre aquela estação IL e a estação COM. Se o pacote for de DADOS, as suas mensagens devem ser enviadas a uma estação CV.

- quando a última mensagem do pacote chega na estação COM (ou CV, se o pacote é de DADOS), o pacote é reconstituído, processado e novamente decomposto em mensagens, que são colocadas na fila A daquela estação
- as mensagens do pacote transitam pelo anel, passando pelas filhas B's das estações intermediárias entre a estação COM (ou CV) e uma estação IL, a qual deve retransmitir o pacote para fora da central
- quando as mensagens chegam nesta estação IL, novamente o pacote original é reconstituído e reenviado para outra central ou para um terminal.

Em ambos os modelos desenvolvidos, calculamos o tempo médio de permanência do pacote numa central, considerando tempos de espera nas filas A's e B's e tempos gastos para teste de cabeçalho de mensagens em cada estação.

3.1 - Modelo Analítico

Neste modelo são considerados dados os seguintes parâmetros referentes aos tamanhos dos pacotes de controle:

t_{SCH} - tamanho de uma SOLICITAÇÃO DE CHAMADA (caracteres)

t_{CHA} - tamanho de uma CHAMADA ACEITA (caracteres)

t_{SCL} - tamanho de uma SOLICITAÇÃO DE CLEAR (caracteres)

t_{CCL} - tamanho de uma CONFIRMAÇÃO DE CLEAR (caracteres).

As taxas de pacotes recebidos pela central, devem ser fornecidas como dados. Essas taxas são consideradas funções das taxas de SOLICITAÇÕES DE CHAMADA recebidas pelas estações IL da central. Desse modo, basta fornecer essas taxas e os parâmetros referentes aos pacotes gerados por uma SOLICITAÇÃO DE CHAMADA para cada estação IL.

Para fins de simplificação uma SOLICITAÇÃO DE CHAMADA, que chega na central através de uma estação IL_i e sai por uma estação IL_j ($i, j = 1, \dots, N_{IL}$), consideraremos IL_i como origem e IL_j como destino desse pacote, já que o nosso horizonte agora se restringe a apenas uma central.

Para cada estação IL_i ($i = 1, \dots, N_{IL}$) são dados:

γ_i - taxa de SOLICITAÇÕES DE CHAMADA que tem como origem a estação IL_i

α_{ij} - probabilidade de que uma SOLICITAÇÃO DE CHAMADA, cuja origem é a estação IL_i , tenha como destino uma estação IL_j ($j = 1, \dots, N_{IL}$)

β_i - probabilidade de que uma SOLICITAÇÃO DE CHAMADA com origem em IL_i , seja aceita

A_i - número médio de pacotes de DADOS enviados pela estação IL_i , por conexão

t_{DD_i} - tamanho médio de um pacote de DADOS que tem como origem a estação IL_i

P_{ijk} - probabilidade de que uma estação CV_k ($k = 1, \dots, N_{CV}$) seja escolhida para ser intermediária na fase de transferência de dados de uma conexão, cuja SOLICITAÇÃO DE CHAMADA partiu de IL_i com destino à estação IL_j ($j = 1, \dots, N_{IL}$)

P_{ik} - probabilidade de que uma estação CV_k ($k = 1, \dots, N_{CV}$) seja escolhida para ser intermediária em qualquer conexão iniciada pela estação IL_i

$$P_{ik} = \sum_{j=1}^{N_{IL}} P_{ijk} \alpha_{ij} \quad (3.1.1)$$

Faremos alguns cálculos com base em diferentes unidades, quais sejam:

u - unidade considerada ($u = P$ unidade pacotes, $u = M$ unidade mensagens, $u = c^j$ caracteres elevados à potência j)

$f^{[u]}(x)$ - quantidade de unidades u geradas por um pacote de tamanho original x caracteres quando transformado em mensagens

. $f^{[P]}(x) = 1 \vee x$

. $f^{[M]}(x) = \text{maior inteiro mais próximo de } \left[\frac{x}{t_{MS} - t_{CB}} + 1 \right]$. A

unidade somada neste termo é porque consideraremos como fazendo parte do conjunto de mensagens geradas pelo pacote, aquela mensagem de sinalização interna INFORMA ..., que é sempre enviada após as mensagens de um pacote.

$f^{[c^j]}(x) = [\text{número de mensagens completas formadas pelo pacote de tamanho original } x, \text{ inclusive a mensagem de sinalização interna INFORMA ..}] \cdot \{t_{MS}\}^j +$

$[1] \cdot \{\text{número de caracteres da mensagem incompleta formada a partir do pacote, se houver alguma}\}^j$

Chamemos de $E = \{IL_1, \dots, IL_{N_{IL}}, CV_1, \dots, CV_{N_{CV}}, COM\}$ e

$R_{l_1, l_2}^{[u]}$ - taxa média de unidades u ($u = P, M, c^j, j = 1, 2$) enviadas pela estação l_1 à estação l_2 ($l_1, l_2 \in E$).

Temos então:

$$R_{IL_i, COM}^{[u]} = \gamma_i f^{[u]}(t_{SCH}) + \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j f^{[u]}(t_{CHA}) +$$

$$\left\{ \gamma_i \beta_i + \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} (1 - \beta_j) \right\} f^{[u]}(t_{SCL}) + \quad (3.1.2)$$

$$\left\{ \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j + \gamma_i (1 - \beta_i) \right\} f^{[u]}(t_{CCL})$$

$$i = 1, \dots, N_{IL}$$

$$u = P, M, c^j \quad j = 1, 2$$

Obs: consideramos que a estação IL que envia uma SOLICITAÇÃO DE CLEAR para terminar uma conexão é sempre aquela que enviou a SOLICITAÇÃO DE CHAMADA para iniciar a conexão.

$$R_{IL_i, CV_k}^{[u]} = \{ \gamma_i \beta_i P_{ik} A_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} P_{jik} \beta_j A_i \} f^{[u]}(t_{DD_i}) \quad (3.1.3)$$

$$i = 1, \dots, N_{IL}$$

$$k = 1, \dots, N_{CV}$$

$$u = P, M, c^j \quad j = 1, 2$$

$$R_{IL_i, IL_j}^{[u]} = 0 \quad \begin{array}{l} i, j = 1, \dots, N_{IL} \\ u = P, M, c^j \quad j = 1, 2 \end{array} \quad (3.1.4)$$

$$R_{COM, IL_i}^{[u]} = \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} f^{[u]}(t_{SCH}) + \gamma_i \beta_i f^{[u]}(t_{CHA}) +$$

$$\{ \gamma_i (1 - \beta_i) + \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j \} f^{[u]}(t_{SCL}) +$$

$$\{ \gamma_i \beta_i + \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} (1 - \beta_j) \} f^{[u]}(t_{CCL}) + \quad (3.1.5)$$

$$\{ \gamma_i \beta_i + \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j \} g^{[u]}(u) +$$

$$\{ \gamma_i \beta_i + \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j \} g^{[u]}(u)$$

$$i = 1, \dots, N_{IL}$$

$$u = P, M, c^j \quad j = 1, 2$$

onde:

$$- g^{[P]} = 0 \quad g^{[M]} = 1 \quad e \quad g^{[c^j]} = t_{MS}^j$$

- o penúltimo e o último termo da somatória correspondem respectivamente às mensagens de sinalização interna ALERTA IL e DORME IL, enviadas pela estação COM.

$$R_{COM, CV_k}^{[u]} = \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \beta_j p_{jk} g^{[u]} + \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j p_{jk} \beta_j g^{[u]} \quad (3.1.6)$$

$$k = 1, \dots, N_{CV}$$

$$u = P, M, c^j \quad j = 1, 2$$

onde o primeiro e o segundo termos correspondem respectivamente às mensagens ACORDA CV e DORME CV enviadas pela estação COM.

$$R_{COM, COM}^{[u]} = 0 \quad u = P, M, c^j \quad j = 1, 2 \quad (3.1.7)$$

$$R_{CV_k, IL_i}^{[u]} = \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \beta_j \alpha_{ji} p_{jik} A_j f^{[u]}(t_{DD_j}) +$$

$$+ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{IL}} \gamma_i \beta_i \alpha_{ij} A_j p_{ijk} f^{[u]}(t_{DD_j}) \quad (3.1.8)$$

$$k = 1, \dots, N_{CV}$$

$$i = 1, \dots, N_{IL}$$

$$u = P, M, c^j \quad j = 1, 2$$

onde o primeiro termo diz respeito aos pacotes de dados enviados pela estação IL_i , quando ela é destino da SOLICITAÇÃO DE CHAMADA que deu início àquela conexão e o segundo termo corresponde aos pacotes de dados enviados pela estação IL_i , quando ela é origem da SOLICITAÇÃO DE CHAMADA.

$$R_{CV_{k_1}, CV_{k_2}}^{[u]} = R_{CV_k, COM}^{[u]} = 0 \quad k_1, k_2, k = 1, \dots, N_{CV} \quad (3.1.9)$$

3.1.1 - Cálculos Relativos à Fila A de cada Estação

Definamos:

λ_ℓ^A - taxa de pacotes colocados na fila A da estação ($\ell \in E$). Na verdade um pacote na fila A já está em forma de mensagens.

$$\lambda_\ell^A = \sum_{\ell_1 \in E} R_{\ell, \ell_1}^{[P]} \quad (3.1.1.1)$$

Queremos calcular também o primeiro e o segundo momento da variável aleatória tamanho do pacote colocado na fila A de cada estação. Definamos:

j_{r_A} - j-ésimo momento da variável aleatória tamanho de um pacote colocado na fila A da estação (em caracteres).

$$j_{r_{IL_i}^A} = \{Y_i \cdot f^{[c^j]}(t_{SCH}) + \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j f^{[c^j]}(t_{CHA}) +$$

$$[\gamma_i \beta_i + \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} (1-\beta_j)] f^{[c^j]}(t_{SCL}) + \quad (3.1.1.2)$$

$$[\sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j + \gamma_i (1-\beta_i)] f^{[c^j]}(t_{CCL}) +$$

$$\sum_{k=1}^{N_{CV}} \{ \gamma_i \beta_i p_{ik} A_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} p_{jik} \beta_j A_i \} f^{[c^j]}(t_{DD_i}) \} / \lambda_{IL_i}^A$$

$$i = 1, \dots, N_{IL}$$

$$j = 1, 2$$

$$j_{rCOM}^A = \{ \sum_{i=1}^{N_{IL}} [\sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} f^{[c^j]}(t_{SCH}) + \gamma_i \beta_i (f^{[c^1]}(t_{CHA}) + 3t_{MS})^j] +$$

$$(\gamma_i (1-\beta_i) + \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j) f^{[c^j]}(t_{SCL}) +$$

$$\sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} (1-\beta_j) f^{[c^j]}(t_{CCL}) +$$

$$\gamma_i \beta_i (f^{[c^1]}(t_{CCL}) + 3 t_{MS})^j \} / \lambda_{COM}^A$$

$$j = 1, 2$$

$$(3.1.1.3)$$

Consideramos as 3 mensagens ALERTA IL (mandada para a estação IL origem da SOLICITAÇÃO DE CHAMADA), ALERTA IL (mandada para a estação IL destino da SOLICITAÇÃO DE CHAMADA) e ACORDA CV

(mandada à estação CV intermediária na fase de transferência de dados da conexão), que são enviadas pela estação COM quando envia uma CHAMADA ACEITA, como fazendo parte dela. O mesmo fizemos com DORME IL (para as estações IL's origem e destino da chamada) e DORME CV, enviadas junto com uma CONFIRMAÇÃO DE CLEAR. A razão desta consideração é que para simplificar, consideramos a fila A da estação COM como recebendo uma única classe de elementos. As mensagens de sinalização interna colocadas nessa fila, não são consideradas como unidades da mesma, mas apenas interferem no tempo de espera dos pacotes que as seguem na fila.

$$\begin{aligned}
 j_{r_{CV_k}^A} = & \left\{ \sum_{i=1}^{N_{IL}} \left\{ \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \beta_j \alpha_{ji} p_{jik} A_j f^{[c^j]}(t_{DD_j}) \right\} + \right. \\
 & \left. + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{IL}} \gamma_i \beta_i \alpha_{ij} A_j p_{ijk} f^{[c^j]}(t_{DD_j}) \right\} / \lambda_{CV_k}^A \\
 & k = 1, \dots, CV \quad j = 1, 2 \qquad (3.1.1.4)
 \end{aligned}$$

e definindo:

$j_{s_\ell^A}$ - j-ésimo momento da variável aleatória, tempo de inserção no anel de um pacote no topo da fila A da estação ℓ , estando este totalmente disponível (seg) temos:

$$\begin{aligned}
 j_{s_\ell^A} = j_{r_\ell^A} / c^j \qquad (3.1.1.5) \\
 \ell \in E \quad j = 1, 2
 \end{aligned}$$

3.1.2 - Cálculos Relativos à Fila B de cada Estação

Seja:

$S_{\ell_1, \ell}^{[u]}$ - taxa média de unidades u ($u = M$, mensagens, $u = c^j$, (número de caracteres) ^{j}), colocadas na fila B da estação ℓ vindas da estação ℓ_1

Temos então:

$$S_{\ell_1, \ell}^{[u]} = \sum_{\ell_2 = P(\ell)}^{A(\ell_1)} R_{\ell_1, \ell_2}^{[u]} \quad (3.1.2.1)$$

$$\ell_1, \ell_2, \ell \in E$$

$$u = M, c^j \quad j = 1, 2$$

onde $P(\ell)$ é a próxima estação depois de ℓ no anel e $A(\ell)$ é a estação anterior à ℓ no anel.

Definamos:

λ_{ℓ}^B - taxa de mensagens colocadas na fila B da estação ℓ ($\ell \in E$)

Podemos então escrever:

$$\lambda_{\ell}^B = \sum_{\ell_1 = P(\ell)}^{A(\ell)} S_{\ell_1, \ell}^{[M]} \quad \ell \in E \quad (3.1.2.2)$$

De modo análogo à fila A definamos:

r_{ℓ}^j - j -ésimo momento da variável aleatória tamanho de uma mensagem colocada na fila B da estação ℓ ($\ell \in E$) (em ca-

racteres).

Temos então:

$$j_{r_{\ell}}^B = \frac{A(\ell) \sum_{j=0}^{\infty} [c^j] S_{\ell, \ell}^{j, \ell}}{\lambda_{\ell}} \quad (3.1.2.3)$$

e definindo:

$j_{s_{\ell}}^B$ - j-ésimo momento da variável aleatória, tempo de retirar uma mensagem do topo da fila B da estação ℓ ($\ell \in E$), estando o anel totalmente disponível

temos:

$$j_{s_{\ell}}^B = j_{r_{\ell}}^B / c^j \quad (3.1.2.4)$$

3.1.3 - Considerações do Modelo Analítico

O modelo analítico aqui considerado, está baseado no trabalho de [Liu, 1977] o qual, por sua vez, está fundamentado em [Kleinrock, 1976].

Cada estação é considerada como um sistema de atendimento disputado pelas duas filas A e B. A preferência de atendimento é dada sempre à fila A, com a restrição de que o atendimento de uma mensagem da fila B, não pode ser interrompido. Após o término de um atendimento qualquer a estação pode se encontrar em 4 estados o que implica nas respectivas ações:

- pacotes na fila A e mensagens na fila B da estação: dá-se o atendimento do primeiro pacote da fila A

- pacotes na fila A e nenhuma mensagem na fila B da estação: dá-se o atendimento do primeiro pacote da fila A
- nenhum pacote na fila A e mensagens na fila B da estação: dá-se o atendimento da primeira mensagem da fila B
- nenhum pacote na fila A e nenhuma mensagem na fila B da estação: neste caso o sistema de atendimento torna-se inativo.

Esta consideração de prioridade fixa de atendimento é mais plausível, quando o espaço disponível na fila B é sempre maior que o tamanho médio de pacotes da fila A. A política de alternância de prioridades não foi adotada aqui, porque ela não foi ainda investigada em teoria de filas.

Consideramos também, que para unidades pertencentes à mesma fila a ordem de atendimento é a mesma de chegada na fila.

A fim de calcularmos o tempo médio de espera de um pacote na fila A e o tempo médio de espera de uma mensagem na fila B de cada estação l ($l \in E$), consideramos os seguintes parâmetros:

$$\lambda_{\ell}^A \quad (3.1.1.1), \quad \lambda_{\ell}^B \quad (3.1.2.2), \quad s_{\ell}^1, s_{\ell}^2 \quad (3.1.1.5) \quad e$$
$$s_{\ell}^1, s_{\ell}^2 \quad (3.1.2.4).$$

Veja na figura 3.1.3.1 os parâmetros considerados.

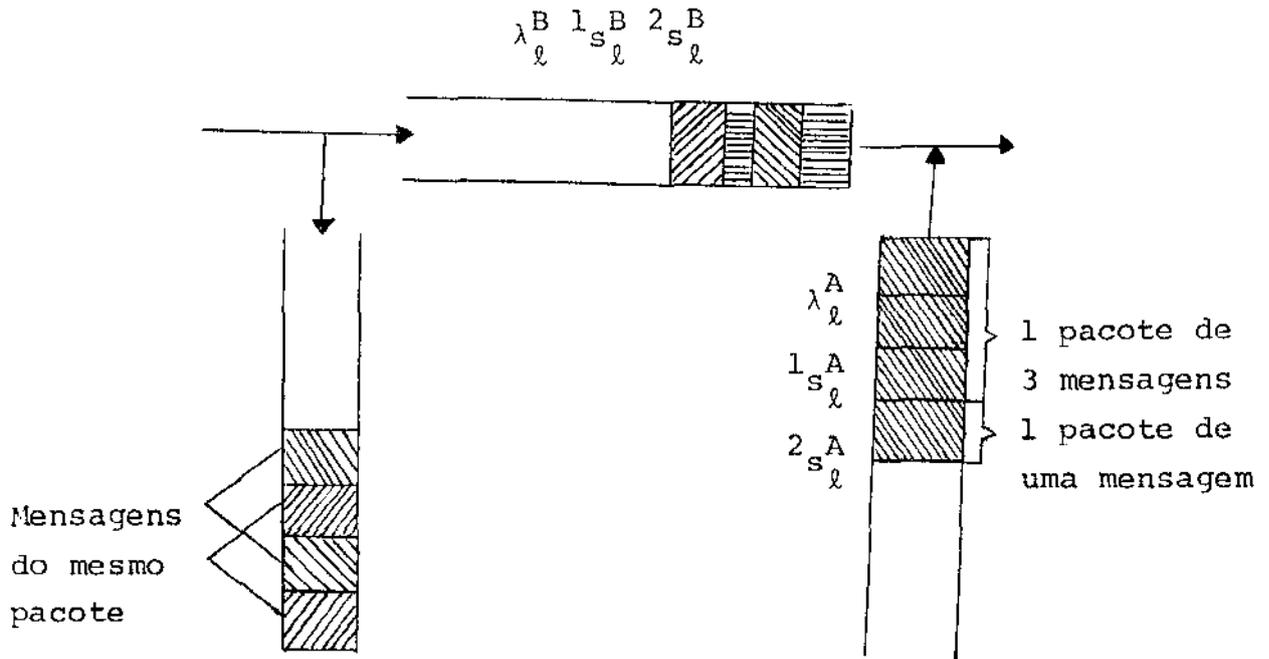


Fig. 3.1.3.1 - Parâmetros considerados pelo modelo analítico para cada estação l ($l \in E$) da central

Como em [Liu, 1977], consideraremos que o processo de chegada de pacotes na fila A da estação l ($l \in E$) segue a distribuição de POISSON com parâmetro λ_l^A e que o processo de chegada de mensagens na fila B da estação l ($l \in E$) também segue a distribuição de POISSON com parâmetro λ_l^B .

3.1.4 - Cálculo do Tempo Médio de Espera de um Pacote na Fila A de cada Estação

Como este cálculo é idêntico para todas as estações omitiremos o índice identificador da estação:

Seja:

T_A - tempo de espera de um pacote na fila A

T_A é o tempo de espera de uma fila M/G/1 sujeita a uma

perturbação, que é o atendimento à fila B.

Suponhamos um pacote que chega na fila A. De acordo com [Kleinrock, 1976] devemos considerar:

T_r - tempo residual de atendimento da unidade encontrada em serviço, ou uma mensagem da fila B ou um pacote da fila A, pelo pacote recém chegado na fila A.

P_A - porcentagem de tempo que o sistema se ocupa com a fila A (= probabilidade do anel estar ocupado com pacotes da fila A no momento da chegada do pacote considerado)

$$P_A = \lambda^A l_s^A \quad (3.1.4.1)$$

P_B - porcentagem de tempo que o sistema se ocupa com a fila B (= probabilidade do anel estar ocupado com mensagens da fila B no momento da chegada do pacote considerado)

$$P_B = \lambda^B l_s^B \quad (3.1.4.2)$$

T_r , que é a modificação aleatória do tempo de atendimento da unidade encontrada em serviço, tem a média dada por $E[T^2]/2E[T]$, onde T é a variável aleatória que está sendo modificada. [Kleinrock, 1976]. Veja a demonstração em 3.3 - Apêndice A.

A variável aleatória aqui a ser modificada é o atendimento de um pacote da fila A com probabilidade P_A e o atendimento de uma mensagem da fila B com probabilidade P_B . Temos então:

$$E[T_r] = P_A \left(\frac{2 s^A}{2 l_s^A} \right) + P_B \left(\frac{2 s^B}{2 l_s^B} \right) \quad (3.1.4.3)$$

Substituindo (3.1.4.1) e (3.1.4.2) na equação acima temos:

$$E[T_r] = \sum_{F=A,B} \lambda^F 2 s^F / 2 \quad (3.1.4.4)$$

Um pacote ao chegar na fila A, espera o tempo residual de atendimento da unidade encontrada em serviço e o atendimento

de todos os pacotes encontrados naquela fila. Seja:

N_A - número de pacotes encontrados na fila A pelo novo pacote.

Segundo o conhecido resultado de Little temos:

$$E[N_A] = \lambda^A E[T_A] \quad (3.1.4.5)$$

Temos então:

$$E[T_A] = E[T_r] + E[N_A] s^A \quad (3.1.4.6)$$

E finalmente substituindo 3.1.4.4, 3.1.4.5 e 3.1.4.1 na equação acima temos:

$$E[T_A] = \frac{\sum_{F=A,B} \lambda^F s^F / 2}{1 - P_A} \quad (3.1.4.7)$$

3.1.5 - Cálculo do Tempo Médio de Espera de uma Mensagem na Fila B de cada Estação

Aqui também omitiremos o índice que identifica a estação, pois este cálculo é idêntico para todas elas. Seja:

T_B - tempo de espera de uma mensagem na fila B

T_B é o tempo de espera de uma fila M/G/1 sujeita à restrição da existência de outra fila M/G/1 com maior prioridade de atendimento.

Para calcularmos $E[T_B]$, consideremos uma mensagem que chega na fila B:

T_r - tempo residual gasto para completar o serviço da unidade encontrada em atendimento no momento da chegada da nova mensagem ($E\{T_r\}$ é dada por 3.1.4.4).

N_A - número de pacotes encontrados pela nova mensagem na fila A, no instante de sua chegada na fila B ($E\{N_A\}$ é dada por 3.1.4.5).

N_B - número de mensagens encontradas na fila B pela nova mensagem. Também segundo Little temos: $E\{N_B\} = \lambda^B E\{T_B\}$ (3.1.5.1)

M_A - número de pacotes que chegam na fila A durante a espera da nova mensagem. Como o processo de chegada de pacotes na fila A é poissoniano segue $E\{M_A\} = \lambda^A E\{T_B\}$ (3.1.5.2)

O tempo de espera de uma mensagem que chega na fila B é constituído por:

- tempo residual de atendimento do elemento encontrado em serviço pela mensagem - $E\{T_r\}$
- tempo de atendimento dos pacotes encontrados na fila A pela mensagem - $E\{N_A\} \cdot \frac{1}{s^A}$
- tempo de atendimento das mensagens encontradas na fila B pela mensagem - $E\{N_B\} \cdot \frac{1}{s^B}$
- tempo de atendimento dos pacotes que chegam na fila A, durante a espera da mensagem - $E\{M_A\} \cdot \frac{1}{s^A}$.

Escrevemos então $E\{T_B\}$ como:

$$E\{T_B\} = E\{T_r\} + E\{N_A\} \cdot \frac{1}{s^A} + E\{N_B\} \cdot \frac{1}{s^B} + E\{M_A\} \cdot \frac{1}{s^A} \quad (3.1.5.3)$$

Substituindo 3.1.4.4, 3.1.4.5, 3.1.5.1, 3.1.5.2, 3.1.4.1

e 3.1.4.2 na equação anterior temos:

$$E\{T_B\} = \left(\frac{\sum_{F=A,B} \lambda^F 2^F / 2}{(1 - P_A)} \right) / \left(1 - \sum_{F=A,B} P_F \right) \quad (3.1.5.4)$$

3.1.6 - Cálculo do Retardo Médio de um Pacote numa Central

Seja T o tempo gasto por um pacote numa central, levando-se em conta somente tempos de espera nas filas A's e B's e tempos para teste dos cabeçalhos das mensagens em cada estação. Não foi levado em conta os tempos de espera nas filas C's. Isso significa que a capacidade de processamento da estação é suficientemente grande para atender imediatamente todas as mensagens que chegam. Em outras palavras, o retardo devido à limitação de capacidade de processamento das estações é desprezível em comparação com o devido à limitação do anel.

Seja:

λ_{IL_i, IL_j} - taxa média de pacotes enviados pela estação IL_i à estação IL_j .

$E\{T_{IL_i, IL_j}\}$ - tempo médio gasto para enviar um pacote da estação IL_i à estação IL_j .

Podemos calcular $E[T]$ como:

$$E[T] = \frac{\sum_{i=1}^{N_{IL}} \sum_{j=1}^{N_{IL}} \lambda_{IL_i, IL_j} E[T_{IL_i, IL_j}]}{\sum_{i=1}^{N_{IL}} \sum_{j=1}^{N_{IL}} \lambda_{IL_i, IL_j} \quad i, j=1, \dots, N_{IL}} \quad (3.1.6.1)$$

para:

$$\lambda_{IL_i, IL_j} = \lambda_{IL_i, COM, IL_j} + \sum_{k=1}^{N_{CV}} \lambda_{IL_i, CV_k, IL_j} \quad (3.1.6.2)$$

$$i, j = 1, \dots, N_{IL}$$

$$E[T_{IL_i, IL_j}] = \frac{\lambda_{IL_i, COM, IL_j} E[T_{IL_i, COM, IL_j}] + \sum_{k=1}^{N_{CV}} \lambda_{IL_i, CV_k, IL_j} E[T_{IL_i, CV_k, IL_j}]}{\lambda_{IL_i, IL_j}} \quad (3.1.6.3)$$

$$i, j = 1, \dots, N_{IL}$$

onde:

$\lambda_{IL_i, COM, IL_j}$ - taxa média de pacotes que vão da estação IL_i à estação IL_j , passando pela estação COM (pacotes de controle)

$\lambda_{IL_i, CV_k, IL_j}$ - taxa média de pacotes que vão da estação IL_i à estação IL_j , passando pela estação CV_k (pacotes de

dados)

$E[T_{IL_i, COM, IL_j}]$ - tempo médio gasto para se enviar um pacote da estação IL_i à estação IL_j , passando pela estação COM.

$E[T_{IL_i, CV_k, IL_j}]$ - tempo médio gasto para se enviar um pacote da estação IL_i à estação IL_j passando pela estação CV_k

As taxas médias $\lambda_{IL_i, COM, IL_j}$ e $\lambda_{IL_i, CV_k, IL_j}$ são calculadas por:

$$\lambda_{IL_i, COM, IL_j} = \gamma_i \alpha_{ij} + \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j + \gamma_j \alpha_{ji} (1 - \beta_j) + \gamma_i \alpha_{ij} \beta_i + \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j + \gamma_i \alpha_{ij} (1 - \beta_i) \quad (3.1.6.4)$$

$$i, j = 1, \dots, N_{IL}$$

e

$$\lambda_{IL_i, CV_k, IL_j} = \gamma_i \beta_i \alpha_{ij} p_{ijk} A_i + \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j p_{jik} A_i \quad (3.1.6.5)$$

$$i, j = 1, \dots, N_{IL}$$

$$k = 1, \dots, N_{CV}$$

Para se calcular $E[T_{IL_i, COM, IL_j}]$ ou $E[T_{IL_i, CV_k, IL_j}]$

deve-se tomar certos cuidados, devido à superposição de tempos de espera enfrentados pelas mensagens de um mesmo pacote. Suponhamos, para exemplificar, um pacote de três mensagens de tamanho idêntico, que devem ser enviadas de uma estação IL_i a uma estação

IL_j , passando pela estação COM, onde devem ser reunidas e processadas.

Suponhamos conhecidos:

$t_{IL_i}^A$ - tempo de espera do pacote na fila A da estação IL_i

$t_{IL_i,COM} (t_{COM,IL_j})$ - tempo entre o início do atendimento de uma mensagem do pacote na estação IL_i (COM) e a recepção do primeiro caracter dessa mensagem na fila C da estação COM (IL_j) (consideramos este tempo igual para as três mensagens)

t_{COM}^A - tempo de espera do pacote na fila A da estação COM

t' - intervalo de tempo entre a chegada do primeiro caracter da primeira mensagem na fila C da COM (ou da IL_j) e a chegada do último caracter da terceira mensagem do pacote nessa mesma fila, ou seja, t' é equivalente ao tempo de inserção do pacote inteiro no anel.

Se t_{IL_i,COM,IL_j} denotar o tempo gasto para enviar o pacote considerado da IL_i à IL_j passando pela COM, escrevemos:

$$t_{IL_i,COM,IL_j} = t_{IL_i}^A + t_{IL_i,COM} + t' + t_{COM}^A + t_{COM,IL_j} + t'$$

Veja na figura 3.1.6.1 a ilustração deste exemplo.

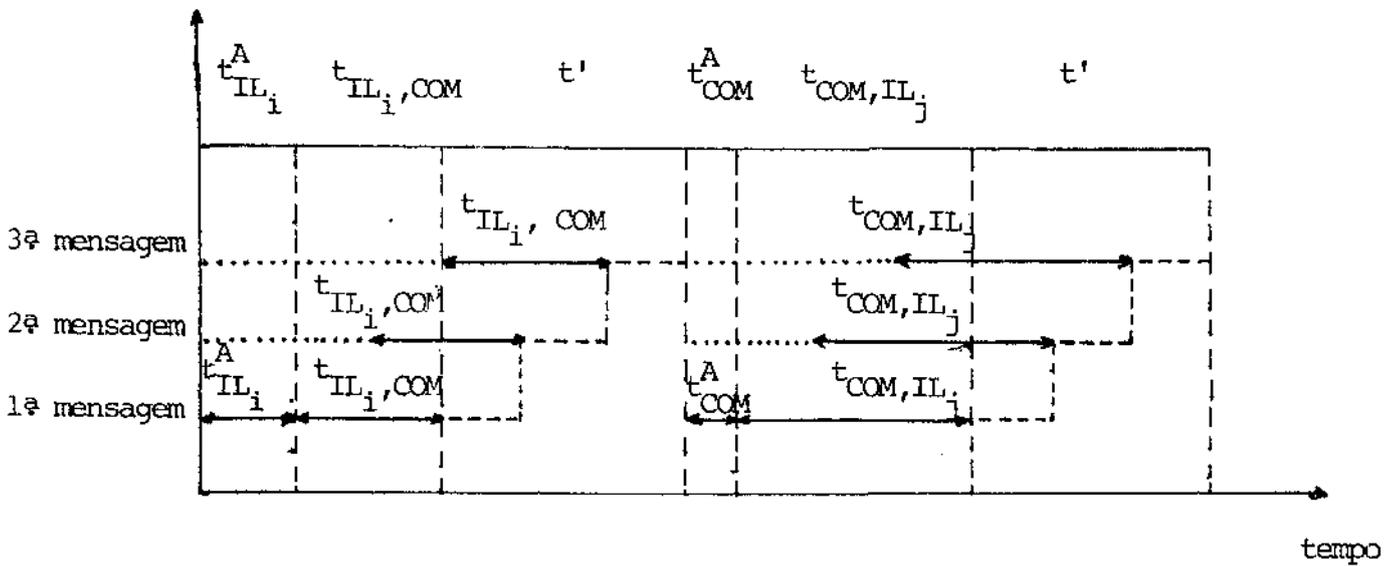


Fig. 3.1.6.1 - Tempo de envio de um pacote de três mensagens da estação IL_i à estação IL_j passando pela estação COM

De uma maneira geral escrevemos:

$$E[T_{IL_i,COM,IL_j}] = E[T_{A_{IL_i}}] + E[t_{IL_i,COM}] + l_{s_{IL_i}}^A + E[T_{A_{COM}}] + E[t_{COM,IL_j}] + l_{s_{COM}}^A \quad (3.1.6.6)$$

$$i, j = 1, \dots, N_{IL}$$

e

$$E[T_{IL_i,CV_k,IL_j}] = E[T_{A_{IL_i}}] + E[t_{IL_i,CV_k}] + l_{s_{IL_i}}^A + E[T_{A_{CV_k}}] + E[t_{CV_k,IL_j}] + l_{s_{CV_k}}^A \quad (3.1.6.7)$$

$$i, j = 1, \dots, N_{IL}$$

$$k = 1, \dots, N_{CV}$$

Devemos calcular agora $E[t_{IL_i, COM}]$, $E[t_{COM, IL_j}]$

$E[t_{IL_i, CV_k}]$ e $E[t_{CV_k, IL_j}]$.

A média $E[t_{IL_i, COM}]$ é composta por:

- tempo de espera para que os t_{CB} caracteres que formam o cabeçalho da mensagem, sejam agrupados para teste em cada estação intermediária entre IL_i e a estação COM (t_{CB} / C)
- tempo de espera na fila B de cada uma das estações intermediárias entre IL_i e a estação COM ($E[T_{B_\ell}]$ dado por 3.1.5.4)
- tempo de espera na estação COM para que os t_{CB} caracteres do cabeçalho da mensagem sejam agrupados e testados (t_{CB} / C)

Podemos então escrever:

$$E[t_{IL_i, COM}] = \sum_{\ell=P(IL_i)}^{A(COM)} (t_{CB}/C + E[T_{B_\ell}]) + t_{CB} / C \quad (3.1.6.8)$$

$$i = 1, \dots, N_{IL}$$

$P(\ell)$ - próxima estação depois da estação ℓ no sentido do anel.

$A(\ell)$ - estação anterior à ℓ no sentido do anel.

3.2 - Modelo de Simulação

A fim de validar o modelo analítico, desenvolvemos um modelo de simulação para calcular o retardo médio de um pacote

numa central de comutação. Simulação é uma ferramenta bastante confiável mas muito onerosa, enquanto que um modelo analítico não é tão confiável, mas muito mais barato.

No modelo de simulação consideramos dados os seguintes parâmetros:

λ_{IL_i} - taxa de chegada de pacotes na fila A da estação IL_i ($i = 1, N_{IL}$). Esta taxa é dada pela equação 3.1.1.9) para $\ell = IL_i$. Como no modelo analítico consideramos esta taxa POISSONIANA.

$q_{i,p}$ - probabilidade de que um pacote colocado na fila A da estação IL_i , seja do tipo p. Os tipos de pacotes considerados e as respectivas probabilidades, abaixo relacionamos:

. SOLICITAÇÃO DE CHAMADA $q_{i,SCH} = \gamma_i / \lambda_{IL_i}^A$

. CHAMADA ACEITA $q_{i,CHA} = \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j / \lambda_{IL_i}^A$

. SOLICITAÇÃO DE CLEAR $q_{i,SCL} = (\gamma_i \beta_i + \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} (1 - \beta_j)) / \lambda_{IL_i}^A$

. CONFIRMAÇÃO DE CLEAR (relacionada a uma chamada aceita)

$q_{i,CCL} = \sum_{j=1}^{N_{IL}} \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j / \lambda_{IL_i}^A$

. CONFIRMAÇÃO DE CLEAR (relacionada a uma chamada não aceita)

$q_{i,CCLn} = \gamma_i (1 - \beta_i) / \lambda_{IL_i}^A$

. PACOTE DE DADOS (com estação intermediária CV_k)

$$q_{i,DD_k} = R_{IL_i, CV_k}^P / \lambda_{IL_i}^A \quad (\text{ver 3.1.3})$$

para $i = 1, \dots, N_{IL}$

$d_{i,p,j}$ - probabilidade de que um pacote do tipo p , originado na estação IL_i , tenha como destino a estação IL_j .

$$d_{i,SCH,j} = d_{i,CCLn,j} = \alpha_{ij}$$

$$d_{i,CHA,j} = d_{i,CCL,j} = \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j / \sum_{\ell=1}^{N_{IL}} \gamma_\ell \alpha_{\ell i} \beta_\ell$$

$$d_{i,SCL,j} = (\gamma_i \beta_i \alpha_{ij} + \gamma_j \alpha_{ji} (1-\beta_j)) / (\gamma_i \beta_i + \sum_{\ell=1}^{N_{IL}} \gamma_\ell \alpha_{\ell i} (1-\beta_\ell))$$

$$d_{i,DD_k,j} = (\gamma_i \beta_i \alpha_{ij} P_{ik} + \gamma_j \alpha_{ji} \beta_j P_{jk}) / (\gamma_i \beta_i P_{ik} + \sum_{\substack{\ell=1 \\ \ell \neq i}}^{N_{IL}} \gamma_\ell \alpha_{\ell i} \beta_\ell P_{\ell,k})$$

para $i, j = 1, \dots, N_{IL}$ $k = 1, \dots, N_{CV}$

$t'_{i,p}$ - total de caracteres das mensagens geradas por um pacote do tipo p , colocado na fila A da estação IL_i (inclui a mensagem de sinalização interna INFORMA... que segue junto com qualquer pacote)

$$t'_{i,p} = f^{[c^1]}(t_p)$$

$i = 1, \dots, N_{IL}$

$p = SCH, CHA, SCL, CCL, DD_k$

onde t_p é o tamanho original do pacote (veja 3.1)

Consideramos infinita a capacidade das filas A e B de cada estação e a prioridade de atendimento fixa para fila A em relação à fila B, de modo análogo ao modelo analítico.

Para cada estação IL_i ($i=1, \dots, N_{IL}$), foi criado um gerador de pacotes que segue a distribuição de POISSON com parâmetro λ_{IL_i} . Com relação a um pacote gerado na estação IL_i , são também gerados:

- tipo do pacote que é p com probabilidade q_{ip}
- a estação IL destino, que é IL_j com probabilidade $d_{i,p,j}$.

A partir dos $t'_{IL_i,p}$ caracteres de um pacote são compostas mensagens do tamanho máximo t_{MS} caracteres, dividindo-se $t'_{IL_i,p}$ em segmentos de tamanho máximo t_{MS} . As mensagens são colocadas na fila A de IL_i (origem), onde aguardam para entrar no - anel. Saindo da fila A de IL_i , as mensagens são transmitidas de fila B em fila B até chegarem em uma estação intermediária COM ou CV_k de acordo com o tipo do pacote por elas representadas. Nessa estação intermediária elas devem ser colocadas na fila C, cujo tempo de espera foi desprezado assim como no modelo analítico. Quando todas as mensagens do pacote chegam nesta estação, elas são colocadas na fila A local. Foi desprezado também o tempo de processamento. Novamente as mensagens entram no anel, onde elas transitam até chegarem na estação IL_j destino do pacote. O

tempo gasto pelo pacote na central é computado como a diferença entre o instante de chegada do último caracter da última mensagem daquele pacote na estação IL destino e o instante de geração do pacote na estação IL origem.

Quando um pacote de CHAMADA ACEITA chega na estação COM, são geradas três mensagens de sinalização interna:

- ALERTA IL, enviada à estação IL origem da CHAMADA ACEITA.

- ALERTA IL, enviada à estação IL destino da CHAMADA ACEITA.

- ACORDA CV, enviada à estação CV_k , onde k é escolhido de acordo com a probabilidade da estação IL_j , destino da CHAMADA ACEITA, portanto origem da SOLICITAÇÃO DE CHAMADA, ter como intermediária de uma conexão a estação CV_k , que é q_{j,DD_k} .

De um modo análogo, quando um pacote de CONFIRMAÇÃO DE CLEAR chega na estação COM, são geradas três mensagens de sinalização interna:

- DORME IL, enviada à estação IL, origem da CONFIRMAÇÃO DE CLEAR.

- DORME IL, enviada à estação IL, destino da CONFIRMAÇÃO DE CLEAR.

- DORME CV, enviada a uma estação CV_k , com a mesma probabilidade que a estação IL_j , destino da CONFIRMAÇÃO DE CLEAR, escolhe a estação CV_k como intermediária na fase de transferência de dados de uma conexão q_{j,DD_k} .

A simulação começa com todas as filas vazias. Supusemos com base em nossa experiência com o programa, que após 6000 pacotes serem tratados pela central, o sistema encontra-se no estado estacionário. [Shannon, 1975] [Gordon, 1969]

Para o critério de parada consideramos as variáveis aleatórias:

$t_{IL_i, COM, IL_j}^{(CV_k)}$ - tempo gasto para se enviar um pacote da estação IL_i , passando pela estação COM (ou CV_k), à estação IL_j ($i, j = 1, \dots, N_{IL}$; $k = 1, \dots, N_{CV}$)

Após atingir o estado estacionário, colecionamos todos os valores de t_{IL_i, COM, IL_j} e t_{IL_i, CV_k, IL_j} ($i, j = 1, \dots, N_{IL}$; $k = 1, \dots, N_{CV}$). Para cada 300 pacotes tratados, fazemos o teste para verificar se o conjunto de cada variável aleatória atingiu o intervalo de confiança requerido.

Sabemos que os valores obtidos de cada uma dessas variáveis aleatórias não são totalmente independentes, mas esta hipótese não é necessária. [Diananda, 1953], [Mihram, 1972]. O apêndice B (em 3.4) contém explicações a respeito de intervalo de confiança de uma amostra.

Quando todas as variáveis aleatórias consideradas atingem o intervalo de confiança pedido, termina-se a simulação. Se este critério não acontecer depois de 12000 pacotes tratados (não incluindo os primeiros 6000 pacotes), a simulação é finalizada. Este segundo critério é necessário, pois a partir daí se esgota a memória disponível do computador utilizado.

3.3 - Apêndice A

De acordo com [Kleinrock, 1976], uma variável aleatória T com função densidade de probabilidade $g_T(\cdot)$ e uma distribuição acumulada $G_T(\cdot)$, a função densidade de probabilidade $g_X(\cdot)$ da modificação aleatória de T , X , é expressa por:

$$g_X(x) = \frac{1}{E[T]} \int_0^x g_T(t) dt$$

calculando $E[X]$:

$$\begin{aligned} E[X] &= \int_0^{\infty} x g_X(x) dx \\ &= \int_0^{\infty} x \frac{1}{E[T]} \int_0^x g_T(t) dt dx \quad (3.3.1) \\ &= \frac{1}{E[T]} \int_0^{\infty} x(1 - G_T(x)) dx \end{aligned}$$

Integrando 3.3.1 por partes ($u = 1 - G_T(x)$, $dv = x dx$)

temos:

$$E[X] = \frac{1}{E[T]} \left\{ (1 - G_T(x)) \frac{x^2}{2} \Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} \frac{x^2}{2} (-g_T(x)) dx \right\}$$

O que nos leva a:

$$\boxed{E[X] = \frac{E[T^2]}{2 E[T]}} \quad (3.3.2)$$

3.4 - Apêndice B

Uma variável aleatória X_i é retirada de uma população que segue uma distribuição de probabilidade estacionária com média μ e variância σ^2 . Tomando-se n observações independentes da variável aleatória, a média obtida $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ é também uma variável aleatória. O teorema do limite central estabelece que a distribuição de \bar{X} tende a uma distribuição normal com média μ e variância σ^2/n . Ou seja, a variável

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

segue aproximadamente a distribuição normal com média 0 e variância 1, isto é, a distribuição normal padronizada. A integral da distribuição de $-\infty$ até um valor u é a probabilidade que Z seja menor ou igual a u . Chamemos de $\Phi(u)$ a esta integral. Suponha que u é escolhido de tal forma que $\Phi(u) = 1 - \alpha/2$ para $0 < \alpha/2 < 1$, e a este valor de u chamemos de $u_{\alpha/2}$. A probabilidade que Z seja maior que $u_{\alpha/2}$ é $\alpha/2$. Como a distribuição normal é simétrica com relação a sua média, a probabilidade que Z seja menor que $-u_{\alpha/2}$ é também $\alpha/2$. Consequentemente a probabilidade que Z caia entre $-u_{\alpha/2}$ e $u_{\alpha/2}$ é $1 - \alpha$. Ou seja:

$$\text{Prob} \{-u_{\alpha/2} \leq Z \leq u_{\alpha/2}\} = 1 - \alpha$$

Em termos da média da amostra:

$$\text{Prob} \left\{ \bar{X} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} u_{\alpha/2} \leq \mu \leq \bar{X} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} u_{\alpha/2} \right\} = 1 - \alpha$$

A constante $1 - \alpha$ é chamada de nível de confiança e o intervalo:

$$\bar{X} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} u_{\alpha/2}$$

é o intervalo de confiança. Tipicamente o nível de confiança é por volta de 0.95 que corresponde a $u_{\alpha/2} = 1,96$. Melhor explicando, μ deve cair no intervalo $\bar{X} \pm 1,96 \sigma / \sqrt{n}$ com probabilidade 0.95.

Na prática, a variância da população σ^2 geralmente não é conhecida. Neste caso podemos substituí-la por:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

A variável aleatória normalizada Z baseada no valor estimado de σ^2 não segue a distribuição normal padronizada, mas sim a distribuição t - Student. Mas para n suficientemente grande (≥ 30) a distribuição normal pode ser usada. [Gordon, 1969], [Shannon, 1975].

CAPÍTULO 4

DESCRIÇÃO DOS PROGRAMAS IMPLEMENTADOS

A fim de implementarmos os dois modelos apresentados no capítulo 3, desenvolvemos dois programas: RETARD.PAS e RETARD.SIM. O primeiro diz respeito ao modelo analítico e foi programado na linguagem Pascal e o segundo corresponde ao modelo de simulação programado na linguagem Símula. Ambos os modelos foram implementados e testados no computador PDP 10 da UNICAMP.

4.1 - Descrição do Programa Relativo ao Modelo Analítico co - RETARD.PAS

O programa RETARD.PAS aceita como dados a estrutura de uma central de comutação, os parâmetros relativos às taxas de pacotes por ela manipulados com os respectivos tamanhos e a maneira como a central deve redistribuí-los. A partir desses dados, o programa calcula o retardo médio de um pacote na central utilizando o modelo analítico proposto no capítulo anterior.

4.1.1 - Estrutura de Dados Adotada

O programa cria uma lista circular de registros ligados bidirecionalmente, onde cada registro representa uma estação da central, contendo todas as informações a ela relacionadas (fornecidas ou calculadas). Os registros são dispostos na lista circular na mesma ordem em que as estações estão dispostas na central. A razão dos registros estarem ligados bidirecionalmente é a facilidade computacional, sendo a transmissão unidirecional.

Utilizamos registros em vez de variáveis indexadas porque o acesso aos campos dos primeiros é muito mais rápido, por ser acesso direto (guarda-se o endereço do registro) e torna-se mais fácil a modificação da estrutura da central numa mesma execução, incluindo ou retirando estações.

4.1.2 - Descrição Detalhada dos Procedimentos

O programa é composto por um conjunto de procedimentos cuja descrição damos a seguir:

. PROGRAMA PRINCIPAL

Enquanto o usuário o requerer faz

Início

- entrada de dados (ENTRADA)
- cálculo das probabilidades de escolha das estações CV's nas conexões (QUAL CV)
- cálculo envolvendo as taxas fornecidas de pacotes, colocando - as na forma considerada pelo modelo analítico (TRÁFEGO)
- cálculo dos tempos médios de atrasos de um pacote na central (ATRASOS)
- saída dos resultados (SAÍDA)
- se o usuário o requerer o programa faz a preparação dos dados para o programa RETARD.SIM (PREPARAÇÃO - SIMULAÇÃO)

fim.

. ENTRADA

Início

Se for a primeira rodada da execução

então faz a leitura dos dados fornecidos no arquivo INPUT (LEITURA - DADOS, DADO - IL)

senão se o usuário o requerer

então faz a modificação dos dados da rodada anterior,

sendo que os novos dados devem ser fornecidos por terminal (MODIFICAÇÃO-DADOS, REMONTA-ANEL, DADO-IL)

fim.

. QUAL CV

Este procedimento calcula p_{ijk} e p_{ik} (3.1.1) da seguinte forma:

$$p_{ijk} = p_{ik} = \frac{1}{N_{CV}} \quad (i, j = 1, \dots, N_{IL}, k = 1, \dots, N_{CV})$$

. TRÁFEGO

Início

- calcula o tráfego de pacotes, mensagens e caracteres entre as estações (FLUXO, SOMATÓRIAS)

- calcula a taxa média de pacotes colocados na fila A de cada estação e os respectivos primeiro e segundo momentos do tamanho destes pacotes (TAMANHO-TAXA-PACOTES)

- calcula a taxa média de mensagens colocadas na fila B de cada estação, os respectivos primeiro e segundo momentos do tamanho destas mensagens e a utilização média do anel (VISTO - LINHA, TRÁFEGO-PARCIAL, TRÁFEGO-TOTAL, UTILIZAÇÃO)

fim.

. FLUXO

Este procedimento calcula $R_{IL_i, COM}^{[u]}$ (3.1.2), $R_{IL_i, CV_k}^{[u]}$ (3.1.3) ,

$R_{COM, IL_i}^{[u]}$ (3.1.5), $R_{COM, CV_k}^{[u]}$ (3.1.6), $R_{CV_k, IL_i}^{[u]}$ (3.1.8).

para $i = 1, \dots, N_{IL}$

$k = 1, \dots, N_{CV}$

$u = P, M, c^j \quad j = 1, 2$

. TAMANHO - TAXA - PACOTE

Este procedimento calcula λ_{ℓ}^A (3.1.1.1), j_r^A (3.1.1.2, 3.1.1.3, 3.1.1.4) para $\ell = IL_1, \dots, IL_{N_{IL}}, CV_1, \dots, CV_{N_{IL}}, COM$

$j = 1, 2$

. VISTO - LINHA

Início

- calcula a taxa média de chegada de mensagens na fila B de cada estação, vindas de cada uma das outras estações e os dois primeiros momentos do tamanho dessas mensagens (TRÁFEGO - PARCIAL)
- calcula a taxa média de mensagens que chegam na fila B de cada estação e os dois primeiros momentos do tempo de atendimento das mensagens da fila B e dos pacotes da fila A de cada estação (TRÁFEGO - TOTAL)
- calcula a utilização média da capacidade de transmissão da central (UTILIZAÇÃO)

fim.

. TRÁFEGO - PARCIAL

Este procedimento calcula $S_{\ell_1, \ell_2}^{[M]}$ (3.1.2.1) e $j_{r_\ell}^B$ (3.1.2.3)

para $\ell, \ell_1, \ell_2 = IL_1, \dots, IL_{N_{IL}}, CV_1, \dots, CV_{N_{CV}}$, COM $j = 1, 2$.

. TRÁFEGO - TOTAL

Este procedimento calcula j_s^F (3.1.1.5, 3.1.2.4) e λ_ℓ^B (3.1.2.2)

para $\ell = IL_1, \dots, IL_{N_{IL}}, CV_1, \dots, CV_{N_{IL}}$, COM

$F = A, B$ e $j = 1, 2$.

. UTILIZAÇÃO

Este procedimento calcula a utilização média da capacidade de transmissão do anel (U), segundo:

$$U = \frac{\sum_{\ell \in E} \sum_{F=A,B} \lambda_\ell^F j_s^F}{(N_{IL} + N_{CV} + 1)} \quad \text{para } E = \{ IL_1, \dots, IL_{N_{IL}}, CV_1, \dots, CV_{N_{IL}} \}, \text{ COM } \}$$

. ATRASOS

Início

- calcula os tempos médios de espera das unidades nas filas A e B de cada estação (ATRASOS - PARCIAIS)
- calcula o retardo médio de um pacote na central (ATRASOS - GLOBAIS)

fim.

. ATRASOS - PARCIAIS

Início

- calcula $E[T_A]$ (3.1.4.7) (BUFFER - ENTRADA)

- calcula $E[T_B]$ (3.1.5.4) (BUFFER - TRÂNSITO)

para $l = IL_1, \dots, IL_{N_{IL}}, CV_1, \dots, CV_{N_{IL}}$, COM

fim.

. SAÍDA

Este procedimento imprime os resultados obtidos num arquivo de nome OUTPUT.

. PREPARAÇÃO - SIMULAÇÃO

Escreve num arquivo de nome ENTSIM os dados de entrada para a execução do programa RETARD.SIM.

4.2 - Descrição do Programa Relativo ao Modelo de Simulação - RETARD.SIM

O programa RETARD.SIM aceita como dados a estrutura de uma central de comutação, os parâmetros relativos às taxas de pacotes que ela deve manipular com os respectivos tamanhos e a maneira como ela deve redistribuí-los. O programa devolve o retardo médio de um pacote na central, com base nos pacotes por ele tratados, após um período necessário para que o sistema atinja o estado estacionário.

4.2.1 - Estrutura de Dados Adotada

O programa RETARD.SIM é composto por classes, processos

e procedimentos. Uma classe é a definição de um conjunto de campos (ou variáveis) e instruções. Chama-se objeto de uma classe, um elemento gerado dessa classe, o qual é referenciado por um endereço de memória. Pode-se gerar quantos objetos de uma classe, se queira. Cada objeto possui todos os campos e as instruções da classe a que pertence, sendo que a sua individualidade está nos valores dos seus campos e no seu endereço de memória. Um processo é um tipo particular de classe, que além das características de uma classe, possui também estados, quais sejam: ativo, passivo, suspenso e terminado. Um processo está ativo quando está executando alguma instrução do seu corpo de instruções, passivo quando não está executando nenhuma instrução, geralmente esperando algum evento, suspenso quando não executa instrução mas por um tempo determinado e terminado quando o seu corpo de instruções foi esgotado e neste caso não é mais possível acessá-lo. Um procedimento é um grupo de instruções, que recebe um conjunto de parâmetros de entrada, faz algum cálculo com eles e devolve um conjunto de parâmetros de saída.

No programa RETARD.SIM é definida a classe ESTAÇÃO e gerados $N_{IL} + N_{CV} + 1$ objetos dessa classe, os quais são ligados bidirecionalmente, formando uma lista circular. A classe ESTAÇÃO contém as variáveis e comandos comuns a todos os tipos de estação. Foram definidas também as classes IL, CV e COM, as quais contém variáveis e comandos particular de cada tipo. A classe ESTAÇÃO prefixa as classes IL, CV e COM. Quando um objeto da classe IL (CV ou COM) é gerado, um espaço de memória é alocado para as variáveis da ESTAÇÃO e para as da IL e os comandos da ESTAÇÃO são executados seguidos pela execução dos comandos da IL.

4.2.2 - Classes, Processos e Procedimentos do Programa RETARD.SIM

A seguir apresentamos com detalhes as classes, os processos e procedimentos que compõem o programa. Veja no final desta seção o diagrama 4.2.2.1 que ilustra a estrutura de dados gerada.

. PROGRAMA PRINCIPAL

Início

- faz a entrada dos dados e parâmetros da central, gerando N_{IL} objetos da classe IL, N_{CV} objetos da classe CV e um objeto da classe COM
- torna-se suspenso por um tempo suficiente para que a simulação termine
- faz a saída dos resultados obtidos

fim.

O programa principal é também um processo, ao qual estão subordinados todos os outros processos, por isso ele fica no estado suspenso durante toda a simulação. No fim desse período de tempo ele volta a ficar ativo, executa as próximas instruções do seu corpo de instruções (saída dos resultados) e passa para o estado terminado, o que resulta no fim da execução do programa.

. CLASSE ESTAÇÃO

Início

- gera uma fila A e uma fila B
- gera e ativa um processo SERVIDOR o qual deve permanecer atendendo os pacotes da fila A e as mensagens da fila B daquela

estação durante a simulação.

fim.

. CLASSE IL

Início

- faz a entrada dos parâmetros correspondente à estação IL_i que representa, λ_{IL_i} , q_{ip} , t'_{ip} e d_{ipj} para $p = SCH, CHA, SCL, CCL, CCLn, DD_k$, $k = 1, \dots, N_{CV}$ e $j = 1, \dots, N_{IL}$.
- gera um processo GERPTIL, o qual deve gerar pacotes para a fila A daquela estação durante toda a simulação

fim.

. CLASSE CV

Esta classe possui o corpo vazio. Ela foi definida por motivo de clareza.

. CLASSE COM

Esta classe também possui o corpo vazio.

. PROCESSO SERVIDOR

Início

Enquanto o critério de parada de simulação não é atingido faz

Se houver pacotes na fila A da estação à qual serve

então

- retira a primeira MENSAGEM da fila A e a ativa
- torna-se suspenso durante o período de tempo de atendimento daquela mensagem

senão

Se houver mensagens na fila B da estação à qual serve

então

- retira a primeira mensagem da fila B e a ativa
- torna-se suspenso durante o período de tempo de atendimento daquela mensagem

senão

- torna-se passivo, ou seja, a primeira mensagem que chegar no sistema o ativará para que seja atendida.

fim.

. PROCESSO GERPTIL

Início

Enquanto o critério de parada da simulação não é atingido faz

- torna-se suspenso por um tempo aleatório distribuído segundo uma exponencial de parâmetro λ_{IL_1} da estação IL_1 correspondente
- gera e ativa um processo PACOTE tendo a correspondente estação IL como origem

Fim.

. PROCESSO PACOTE

Início

- divide o pacote em segmentos
- para cada um destes segmentos gera e ativa um processo MENSAGEM

Fim.

. PROCESSO MENSAGEM

Início

Se deve passar por uma estação intermediária (CV ou COM)

então destino-Imediato = estação - intermediária

senão destino-Imediato = estação - destino

Estação - atual = estação - origem

Enquanto não atinge a estação - destino faça

- coloca-se na fila A da estação - atual

- se o processo SERVIDOR da estação - atual está passivo

 - então ativa-o

 - senão torna-se no estado passivo (até que o SERVIDOR desocupe e a atenda, ou seja, ative-a)

- Estação - atual = estação seguinte à estação - atual

- Enquanto Estação - atual \neq destino - imediato faça

 - torna-se suspensa pelo tempo de teste do seu cabeçalho

 - se o servidor da estação - atual estiver no estado passivo

 - então ativa-o

 - senão torna-se passiva

 - Estação - Atual = estação seguinte à estação - atual

- torna-se suspenso pelo tempo necessário para que ela chegue completa na estação - atual

- Se Destino - imediato \neq estação - destino

 - então

 - Destino - imediato = estação - destino

 - Se é a última mensagem do pacote a que pertence

 - então

 - ative todas as outras MENSAGENS geradas pelo mesmo pacote

 - se o pacote a que pertence é uma CHAMADA ACEITA (ou

CONFIRMAÇÃO DE CLEAR de término de conexão)

então

- gera uma mensagem ALERTA IL (ou DORME IL) enviada à estação-origem
- gera uma mensagem ALERTA IL (ou DORME IL) enviada à estação-destino
- gera uma mensagem ACORDA CV (ou DORME CV) enviada à uma estação CV

senão passa para o estado passivo

- se o sistema atingiu o estado estacionário e a mensagem é a última de um pacote

então

- guarda o valor do retardo do pacote
- se o número de pacotes tratados é múltiplo de 300 então

FIM-SIMULAÇÃO

fim.

. PROCEDIMENTO FIM-SIMULAÇÃO

Início

- testa se o intervalo de confiança pedido foi atingido para os retardos médios dos pacotes na central

t_{IL_i, COM, IL_j} e t_{IL_i, CV_k, IL_j} (na seção 3.2)

fim.

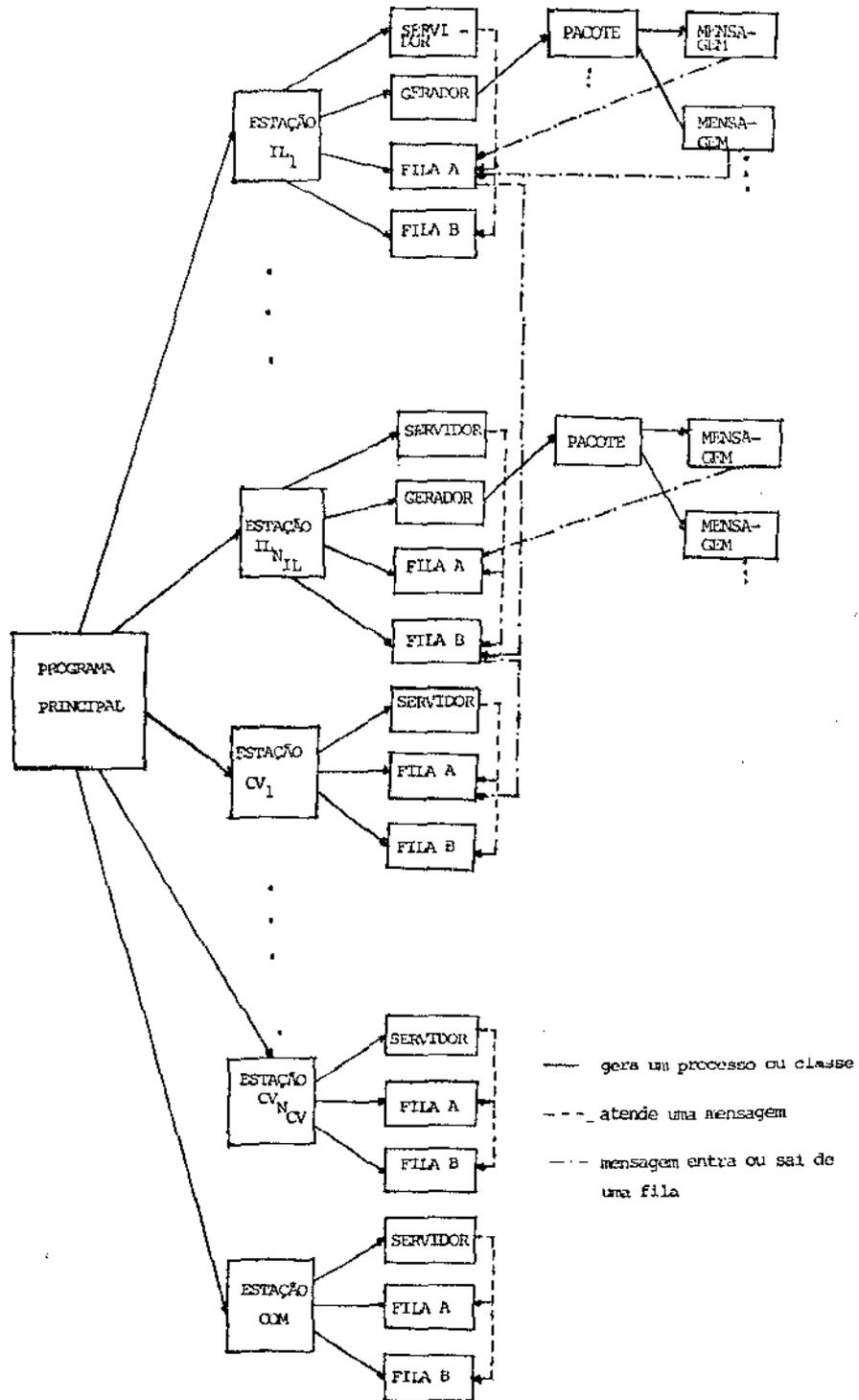


Diagrama 4.2.2.1 - Classes e processos gerados na simulação

CAPÍTULO 5

EXPERIÊNCIA COMPUTACIONAL

5.1 - Comparações entre Resultados Obtidos pelo Modelo Analítico e pelo Modelo de Simulação

Nesta seção apresentamos comparações entre resultados obtidos pelos dois modelos propostos, a partir de uma série de exemplos. Em geral, fixamos todos os parâmetros de uma dada central, com exceção de apenas um deles e observamos as diferenças entre os resultados obtidos pelos dois modelos, de acordo com a variação deste parâmetro. Caracterizamos essas diferenças, as quais chamamos de "erro", pela porcentagem que um resultado obtido pelo modelo analítico é maior (porcentagem positiva) ou menor (porcentagem negativa) que o mesmo resultado obtido pelo modelo de simulação. Se x_A é um valor obtido de uma média calculada pelo modelo analítico e x_S é o valor obtido pelo modelo de simulação para a mesma média, então erro = $(x_A - x_S) / x_S$.

Com relação à fila A de qualquer estação IL, ambos os modelos supõem o processo de chegada de pacotes como de Poisson. Portanto, deverão ser pequenas as diferenças entre os valores dos tempos médios de espera dos pacotes nessas filas, calculados pelos dois modelos.

O modelo analítico considera o processo de chegada de mensagens na fila B de qualquer estação, como um processo de Poisson. Na realidade, o processo de chegada de mensagens na fila B de qualquer estação é feito por "lotes" de mensagens. Os lotes são conjuntos de mensagens que se justapõem durante o percor-

so no anel. Inicialmente as mensagens formadas a partir de um mesmo pacote, entram justapostas no anel, devido à prioridade fixa dada à fila A. Desta maneira, elas formam um lote, o qual pode ser expandido, toda vez que outras mensagens (de filas A's) entrarem no anel, em meio à sua transmissão. O tempo entre chegadas de duas mensagens consecutivas de um lote numa fila B qualquer, é a soma do tempo de transmissão da primeira e o tempo de teste do cabeçalho da segunda. Quando o primeiro caracter de uma mensagem chega numa fila B qualquer, pode-se imaginar como se tivesse chegado a mensagem completa, pois neste instante, se o sistema estiver disponível já é possível dar início ao seu atendimento. O modelo de simulação considera a chegada de mensagens nas filas B's e os respectivos atendimentos como acima descrito.

Os exemplos de centrais rodados, foram na maioria fundamentais no que chamaremos de "exemplo básico". A figura 5.1.1 mostra a configuração da central representada pelo exemplo básico.

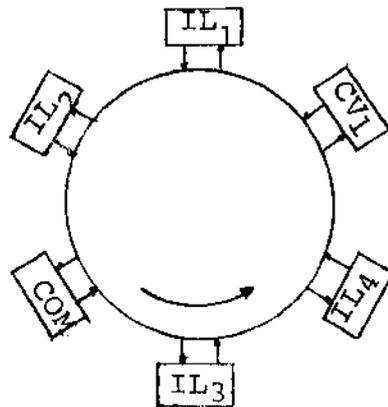


Fig. 5.1.1 - Configuração da Central representada pelo "exemplo básico"

A seguir apresentamos os dados do exemplo básico.

40	40	40	40	
50000.0	50	10		
4	1			
1	1			IL ₁
1.0	1	40	1.0	
0.0	0.3	0.4	0.3	
1	2			IL ₂
1.0	1	40	1.0	
0.3	0.0	0.4	0.3	
				COM
3	1			IL ₃
1	3			
1.0	1	40	1.0	
0.3	0.4	0.0	0.3	
1	4			IL ₄
1.0	1	40	1.0	
0.3	0.4	0.3	0.0	
2	1			CV ₁

Os resultados obtidos pelos dois modelos para o exemplo básico são apresentados a seguir.

TEMPO MÉDIO DE ESPERA NA FILA A				
ESTAÇÃO	ANALÍTICO	SIMULAÇÃO	ERRO (%)	UTILIZAÇÃO (%)
IL ₁	3.2166×10^{-5}	3.7423×10^{-5}	- 14.0	1.1
IL ₂	3.0686×10^{-5}	2.9607×10^{-5}	3.0	1.3
COM	1.3135×10^{-4}	1.1798×10^{-4}	11.0	5.6
IL ₃	4.0713×10^{-5}	4.2639×10^{-5}	-4.0	1.3
IL ₄	3.8135×10^{-5}	4.7129×10^{-5}	- 19.0	1.1
CV ₁	3.6585×10^{-5}	3.7566×10^{-5}	- 2.0	1.6
TEMPO MÉDIO DE ESPERA NA FILA B				
ESTAÇÃO	ANALÍTICO	SIMULAÇÃO	ERRO (%)	UTILIZAÇÃO (%)
IL ₁	3.3938×10^{-5}	2.1946×10^{-5}	54.0	4.1
IL ₂	3.2234×10^{-5}	2.3625×10^{-5}	36.0	3.5
COM	1.4155×10^{-4}	1.5902×10^{-4}	- 11.0	1.6
IL ₃	4.3674×10^{-5}	4.0265×10^{-5}	8.0	5.5
IL ₄	4.0742×10^{-5}	2.7033×10^{-5}	50.0	5.3
CV ₁	3.8756×10^{-5}	2.7750×10^{-5}	39.0	4.0
RETARDO TOTAL MÉDIO DE UM PACOTE				
ANALÍTICO		SIMULAÇÃO		ERRO (%)
5.5216×10^{-3}		5.5337×10^{-3}		- 0.22679
<p>Utilização Média da Central = 6%</p> <p>Intervalo de Confiança do Retardo Médio (simulação) = 4.9092×10^{-4}</p> <p>Número de Pacotes Tratados antes de atingir o estado estacionário (simulação) = 6000</p> <p>Número de Pacotes Tratados depois de atingir o estado estacionário (simulação) = 6600</p> <p>Tempo de CPU gasto pelo programa do modelo analítico (seg) = 0.472</p> <p>Tempo de CPU gasto pelo programa do modelo de simulação (min) = 15.57</p>				

5.1.1 - Variação do Número de Pacotes de Dados Enviados por Chamada ($A_i, i = 1, \dots, N_{IL}$)

Nos seis exemplos analisados, consideramos os mesmos dados do "exemplo básico", variando o número de pacotes de dados enviados por chamada ($A_i, i = 1, \dots, N_{IL}$). Para cada exemplo, A_i tem um único valor para $i = 1, \dots, N_{IL}$. O crescimento de A_i implica num aumento de tráfego no anel.

$$E[T_A]$$

Estações \ A	1	3	6	7	10	15	%
IL ₁	1.1 -14.0	1.9 -12.0	3.0 10.0	3.4 -1.0	4.6 3.0	6.5 1.0	Utilização Erro
IL ₂	1.3 3.0	2.1 3.0	3.4 -2.0	3.8 -6.0	5.0 -2.0	7.1 -2.0	Utilização Erro
COM	5.6 11.0	5.6 56.0	5.6 142.0	5.6 191.0	5.6 211.0	5.6 131.0	Utilização Erro
IL ₃	1.3 -4.0	2.1 -12.0	3.4 2.0	3.8 -4.0	5.0 3.0	7.1 -2.0	Utilização Erro
IL ₄	1.1 -19.0	1.9 12.0	3.0 -12.0	3.4 -2.0	4.6 -7.0	6.5 -6.0	Utilização Erro
COM	1.6 -2.0	4.8 302.0	9.6 441.0	11.2 417.0	16.0 367.0	24.0 357.0	Utilização Erro

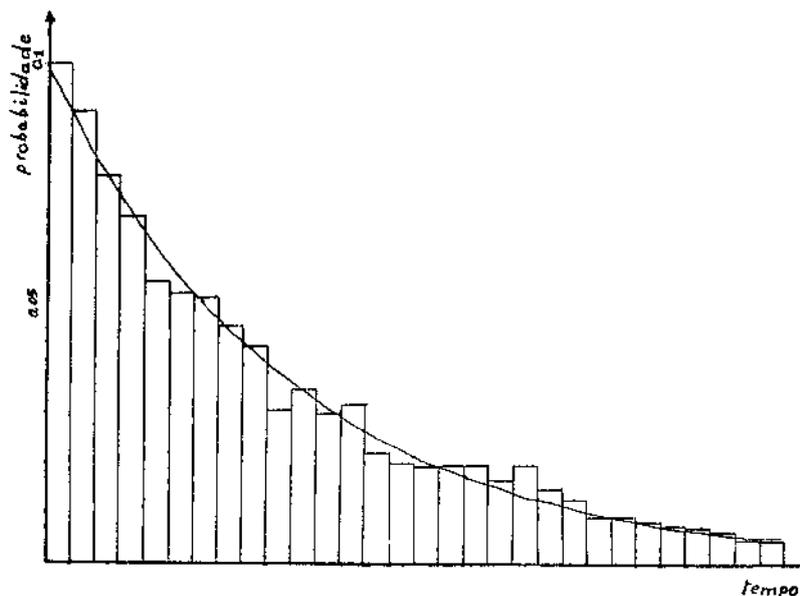
$E[T_B]$

Es- tações \ A	1	3	6	7	10	15	%
IL ₁	4.1	6.5	10.1	11.4	15.1	21.2	Utilização
	54.0	18.0	11.0	10.0	4.0	0.0	Erro
IL ₂	3.5	5.9	9.4	10.6	14.2	20.1	Utilização
	36.0	15.0	4.0	-8.0	-4.0	-13.0	Erro
COM	1.6	4.8	9.6	11.2	16.0	24.0	Utilização
	-11.0	-23.0	1.0	7.0	20.0	61.0	Erro
IL ₃	5.5	7.9	11.1	12.6	16.1	22.0	Utilização
	8.0	14.0	9.0	6.0	15.0	18.0	Erro
IL ₄	5.3	7.7	11.4	12.6	16.2	22.3	Utilização
	50.0	77.0	36.0	52.0	51.0	37.0	Erro
CV ₁	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	Utilização
	39.0	-37.0	-34.0	-33.0	-20.0	3.0	Erro

E[T]	6.0	9.2	14.0	15.6	20.4	28.4	Utilização
	-0.22679	-0.59918	0.61191	0.745	1.84509	3.74529	Erro

O erro nos tempos de espera dos pacotes (de controle) na fila A da estação COM é positivo crescente. É positivo porque o valor médio calculado pelo modelo analítico é sempre maior que o calculado pelo modelo de simulação. O erro é crescente porque o processo de chegadas de pacotes na fila A da COM, à medida que se aumenta o tráfego no anel, se distancia do processo de Poisson.

O processo de Poisson supõe mais prováveis intervalos pequenos de tempo entre as chegadas de dois pacotes (controle), mas quando se aumenta o número de pacotes de dados na central, os pacotes de controle chegam mais esparsos na fila A da COM. As figuras 5.1.1.1 (a) e (b) apresentam uma comparação entre a distribuição de probabilidade dos tempos entre chegadas de pacotes na fila A da COM, segundo o modelo analítico (distribuição exponencial com parâmetro λ_{COM}^A , curvas contínuas) e as porcentagens de ocorrências de intervalos de tempos entre chegadas de pacotes na fila A da COM, observadas pelo modelo de simulação (curva discretizada). Foram feitas observações para 30 intervalos de tempo de comprimento $\left(\frac{1}{\lambda_{COM}^A}\right) / 10$. A figura 5.1.1.1 (a) se refere ao primeiro exemplo desta série, ou seja, para $A_i = 1, i = 1, \dots, N_{IL}$. A figura 5.1.1.1 (b) se refere ao último exemplo desta série, ou seja, para $A_i = 15, i = 1, \dots, N_{IL}$.



(a)

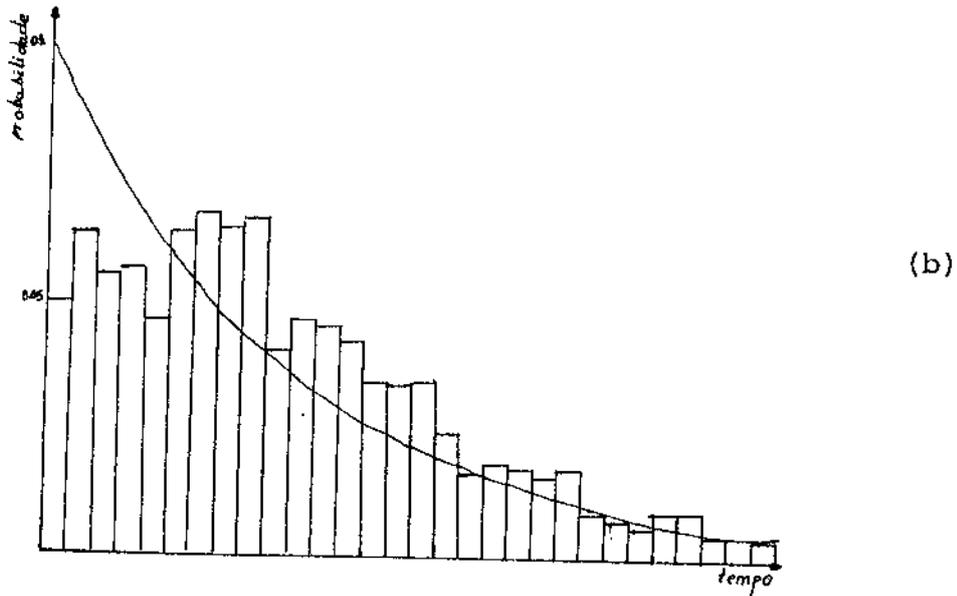
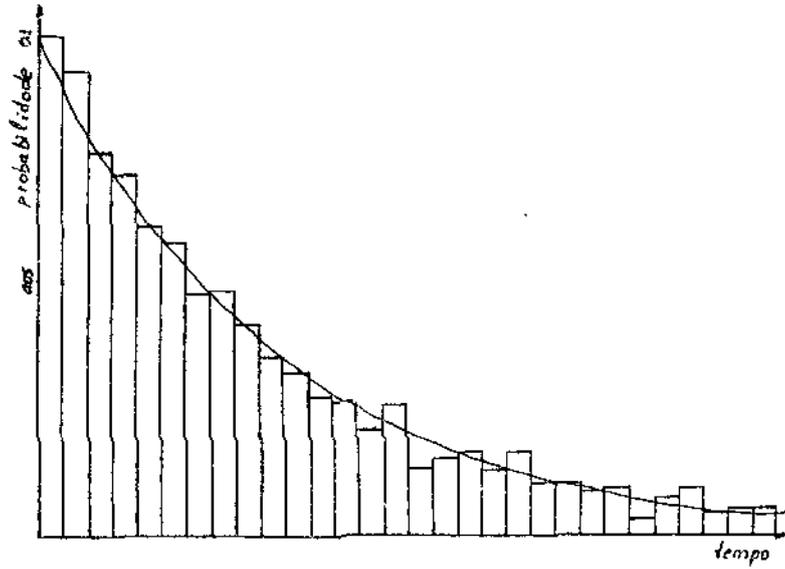
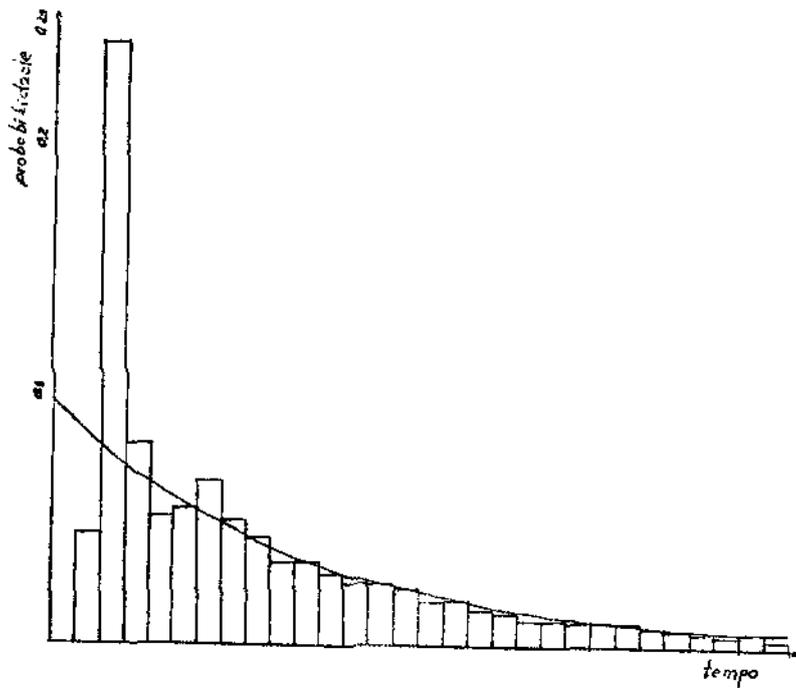


Fig. 5.1.1.1 - Comparação entre Distribuição de Probabilidade dos intervalos entre chegadas de pacotes na fila A da COM. Em (a) observa-se os resultados obtidos para o exemplo em que $A_i = 1$ e em (b) para $A_i = 15$. As curvas contínuas se referem ao modelo analítico enquanto que as discretizadas se referem ao modelo de simulação.

A figura 5.1.1.2 ((a) e (b)) apresenta uma comparação entre a distribuição de probabilidade dos tempos entre chegadas dos pacotes na fila A da estação CV_1 para $A_i = 1$ (a) e $A_i = 15$ (b). Podemos observar que quando se aumenta o tráfego através do aumento do valor de A_i , o processo de chegada de pacotes na fila A de CV_1 se distancia do processo de Poisson, pois eles chegam mais esparsos.



(a)



(b)

Fig. 5.1.1.2 - Processos de chegada de pacotes na fila A da CV_1 , supostos no modelo analítico (curvas contínuas) e no modelo de simulação (curvas discretizadas). (a) se refere ao exemplo em que $A_i = 1$ e (b) em que $A_i = 15$.

A figura 5.1.1.3 mostra uma comparação entre a distribuição de probabilidade dos tempos entre chegadas de mensagens na fila B da estação IL_1 , suposta exponencial com parâmetro $\lambda_{IL_1}^B$, no modelo analítico (curva contínua) e as porcentagens de ocorrências de intervalos de tempos observados, entre chegadas de mensagens na fila B desta estação, pelo modelo de simulação (foram feitas observações para 30 intervalos de comprimento $\left(\frac{1}{\lambda_{COM}^B} \right) / 10$),

para o primeiro exemplo, ou seja, $A_1 = 1$. O primeiro intervalo de tempo considerado pelo modelo de simulação, o qual teve uma alta porcentagem de ocorrência, inclui os tempos entre chegadas das mensagens consecutivas de um "lote" e os outros 29 intervalos se referem aos tempos entre chegadas de "lotes" de mensagens na fila B da IL_1 . O valor calculado pelo modelo analítico, do tempo médio de espera de uma mensagem na fila B da IL_1 é maior que o calculado pelo modelo de simulação. Isto significa que segundo o modelo analítico o tamanho médio da fila B da IL_1 é maior que o mesmo calculado pelo modelo de simulação.

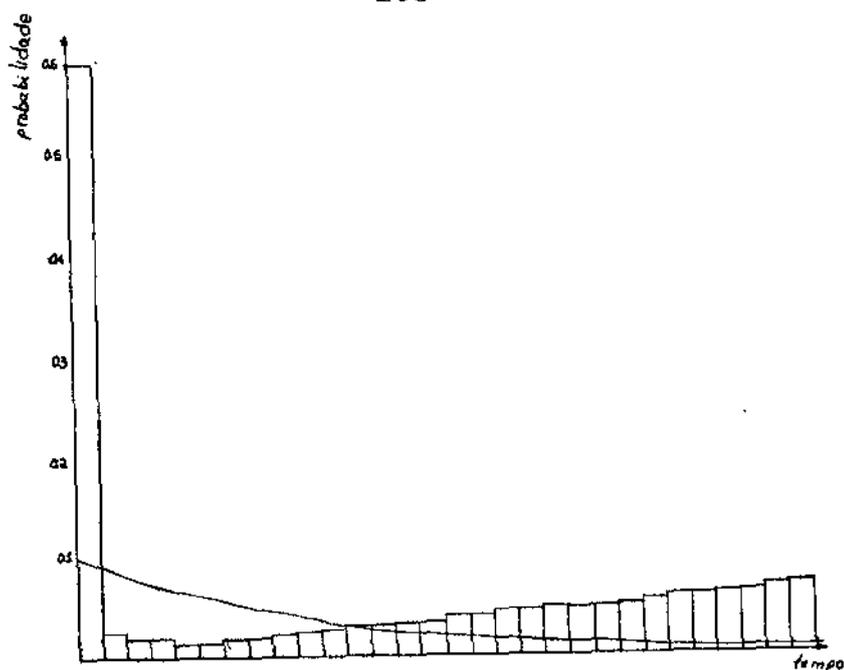


Fig. 5.1.1.3 - Processos de chegada de mensagens na fila B da IL_1 , suposto no modelo analítico (curva contínua) e no modelo de simulação (curva discretizada) para o primeiro exemplo desta série, ou seja, $A_i=1, i=1, \dots, N_{IL}$

A figura 5.1.1.4 apresenta uma comparação entre os processos de chegada de mensagens na fila B da COM, segundo os dois modelos propostos, para o último exemplo da série, ou seja, aquele em que $A_i = 15, i = 1, \dots, N_{IL}$. A curva contínua é a função distribuição de probabilidade da exponencial de parâmetro λ_{COM}^B suposta pelo modelo analítico e a curva discretizada (30 intervalos de tempo de comprimento $(1/\lambda_{COM}^B) / 10$) representa o processo de chegada das mensagens na fila B da COM observado pelo modelo de simulação. Podemos observar na figura que o terceiro intervalo de tempo teve uma alta porcentagem de ocorrência. Isto se deve ao fato de que este intervalo inclui os tempos entre chegadas de mensagens consecutivas de um "lote", enquanto os outros intervalos

se referem aos tempos entre chegadas de lotes de mensagens nesta fila.

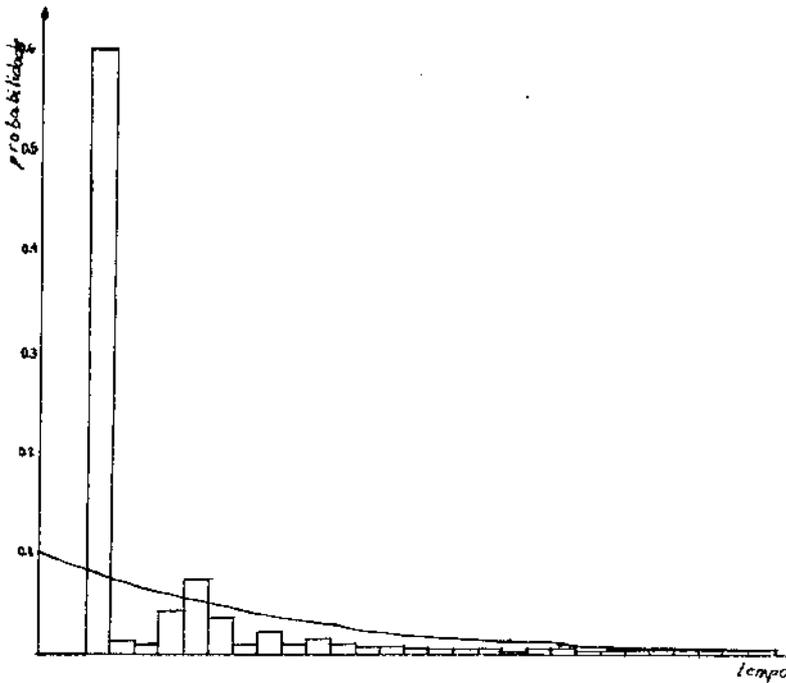


Fig. 5.1.1.4 - Processos de chegada de mensagens na fila B da COM, suposto no modelo analítico (curva contínua) e no modelo de simulação (curva discretizada) para o exemplo em que $A_i = 15$, $i = 1, \dots, N_{IL}$.

5.1.2 - Variação do Tamanho dos Pacotes de Controle

$$(t_{SCH}, t_{CHA}, t_{SCL}, t_{CCL})$$

A seguir apresentamos uma comparação entre resultados obtidos pelos dois modelos, a partir de cinco exemplos, cujos dados são os mesmos do "exemplo básico", com a exceção do número de pacotes de dados por chamada que é 3 e o tamanho dos pacotes de dados que é 200 caracteres para todas as estações do tipo IL. O tamanho dos pacotes de controle é variável de 40 a 200 caracte-

res (supusemos iguais os tamanhos dos pacotes de controle para cada exemplo)

$$E[T_A]$$

Estações \ tamanho dos pacotes de controle	40	80	120	160	200	%
	IL_1	4.2 -2.0	4.6 0.0	4.9 0.0	5.3 0.0	
IL_2	4.6 -10.0	5.0 -8.0	5.5 -6.0	5.9 -5.0	6.3 -5.0	Utilização Erro
COM	5.6 50.0	7.2 67.0	8.8 74.0	10.4 75.0	12.0 83.0	Utilização Erro
IL_3	4.6 -4.0	5.0 -2.0	5.4 -2.0	5.9 -1.0	6.3 0.0	Utilização Erro
IL_4	4.2 0.0	4.6 -1.0	4.9 -4.0	5.3 -4.0	5.7 -2.0	Utilização Erro
CV_1	14.4 107.0	14.4 108.0	14.4 102.0	14.4 101.0	14.4 100.0	Utilização Erro

$E[T_B]$

Estações \ tamanho dos pacotes de controle	%					%
	40	80	120	160	200	
IL ₁	13.8	15.1	16.3	17.5	18.7	Utilização
	-55.0	-52.0	-48.0	-46.0	-43.0	Erro
IL ₂	12.9	14.2	15.3	16.5	17.7	Utilização
	-58.0	-55.0	-51.0	-48.0	-45.0	Erro
COM	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	Utilização
	-34.0	-37.0	-39.0	-39.0	-38.0	Erro
IL ₃	14.9	16.1	17.5	18.5	19.7	Utilização
	-42.0	-44.0	-47.0	-48.0	-49.0	Erro
IL ₄	15.0	16.0	17.4	18.7	19.9	Utilização
	-27.0	-26.0	-27.0	-31.0	-35.0	Erro
CV ₁	4.0	5.6	7.2	8.8	10.4	Utilização
	-22.0	-26.0	-28.0	-31.0	-33.0	Erro

E[T]	18.8	20.4	22.0	23.6	25.2	Utilização
	-6.89	-7.93	-8,95	-9.8	-10.63	Erro

Observamos que o erro nos tempos de espera dos pacotes controle na fila A da COM é positivo crescente. Isto se dá por - que o processo de chegada dos pacotes nesta fila não é Poisson como suposto no modelo analítico. À medida que se aumenta o tamanho dos pacotes de controle, mais esparsos eles chegam na fila A da COM, ou seja, menos se aplica a hipótese poissoniana.

Quanto ao erro nos tempos de espera dos pacotes de dados na fila A da CV_1 , é positivo praticamente constante. O erro é positivo porque o processo de chegada de pacotes nesta fila, não é de Poisson e é quase constante, porque o aumento do tamanho dos pacotes de controle, não implica em alteração significativa na carga da central, pois os pacotes de dados constituem uma proporção bem maior.

O erro nos tempos de espera das mensagens nas filas B's das estações, em todos os exemplos é negativo, ou seja, os valores fornecidos pelo modelo analítico são inferiores aos fornecidos pelo modelo de simulação. Os pacotes de dados formam de início, lotes de 6 mensagens e os pacotes de controle formam lotes de 2, 3, 4, 5 e 6 mensagens, à medida que se aumenta o seu tamanho. De acordo com o modelo de simulação, o processo de chegada de mensagens numa fila B é por "lotes", o que implica em aumentos súbitos do tamanho dessa fila, causando tempos médios de espera superiores aos mesmos calculados pelo modelo analítico.

A figura 5.1.2.1 mostra duas curvas, que representam os processos de chegada das mensagens na fila B da IL_1 , para o último exemplo desta série (tamanho dos pacotes de controle = 200 caracteres), fornecidos pelos dois modelos. A curva contínua é a

exponencial de parâmetro $\lambda_{IL_1}^B$ (modelo analítico) e a curva discretizada representa as porcentagens de ocorrências dos intervalos entre chegadas das mensagens na fila B da IL_1 , observadas pelo modelo de simulação.

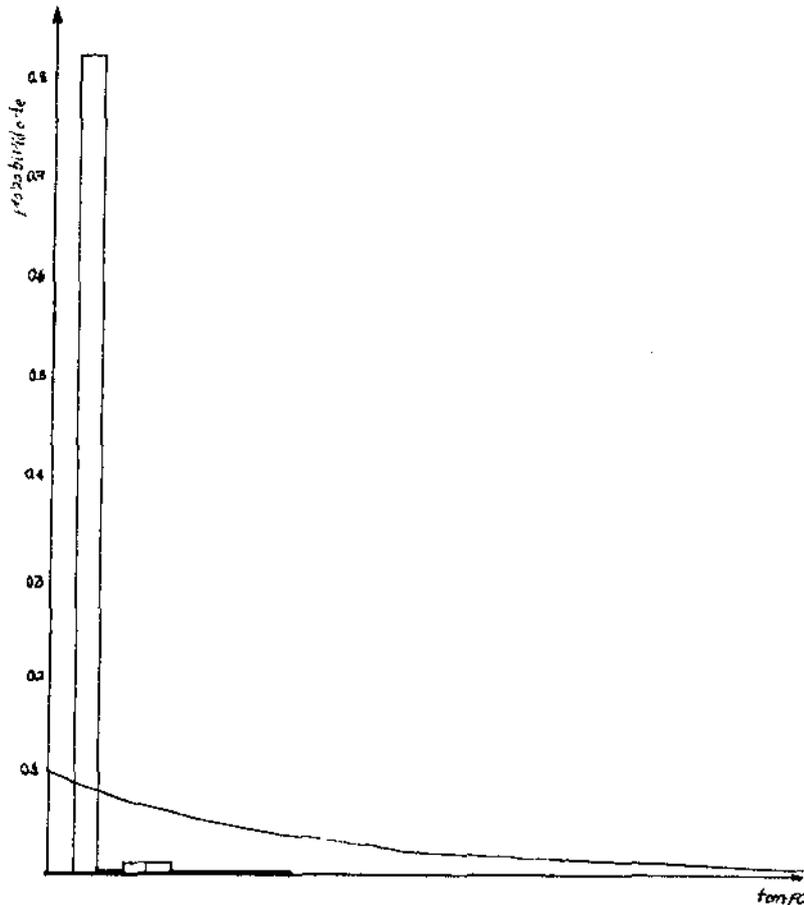


Fig. 5.1.2.1 - Processos de chegada de mensagens na fila B da IL_1 , suposto no modelo analítico (curva contínua) e no modelo de simulação (curva discretizada) para o exemplo em que o tamanho dos pacotes de controle = 200 caracteres.

5.1.3 - Variação do Tamanho dos Pacotes de Dados (t_{DD_i} ,
 $i = 1, \dots, N_{IL}$)

A seguir apresentamos uma comparação entre resultados obtidos pelos dois modelos, em cinco exemplos, cujos dados são os mesmos do "exemplo básico", variando-se o tamanho dos pacotes de dados enviados pelas estações do tipo IL, que consideramos com o mesmo tamanho para cada exemplo.

$$E[T_A]$$

tamanho dos pacotes de dados Estações	40	80	120	160	200	%
IL ₁	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	Utilização
	-14.0	0.0	1.0	-1.0	-2.0	Erro
IL ₂	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	Utilização
	3.0	-3.0	-8.0	-7.0	-4.0	Erro
COM	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	Utilização
	11.0	18.0	22.0	24.0	25.0	Erro
IL ₃	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	Utilização
	-4.0	0.0	-5.0	-4.0	-3.0	Erro
IL ₄	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	Utilização
	-19.0	-11.0	-9.0	-8.0	-7.0	Erro
CV ₁	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	Utilização
	-2.0	58.0	104.0	122.0	134.0	Erro

$E[T_B]$

tamanho dos pacotes de Estações	40	80	120	160	200	%
IL ₁	4.1	4.7	5.3	5.9	6.5	Utilização
	54.0	8.0	-8.0	-21.0	-36.0	Erro
IL ₂	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	Utilização
	36.0	9.0	-17.0	-32.0	-43.0	Erro
COM	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	Utilização
	-11.0	-36.0	-40.0	-45.0	-49.0	Erro
IL ₃	5.5	6.1	6.7	7.3	7.9	Utilização
	8.0	2.0	-8.0	-19.0	-26.0	Erro
IL ₄	5.3	5.9	6.5	7.1	7.7	Utilização
	50.0	36.0	21.0	8.0	-3.0	Erro
CV ₁	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	Utilização
	39.0	-11.0	-21.0	-24.0	-26.0	Erro

E[T]	6.0	6.8	7.6	8.4	9.2	Utilização
	-0.23	-0.83	-1.2	-1.7	-2.28	Erro

Os erros nos tempos de espera dos pacotes nas filas A da COM e A da CV_1 são positivos crescentes. À medida que se aumenta o tamanho dos pacotes de dados, aumenta-se o tráfego no anel e menos se aplica a hipótese poissoniana (modelo analítico) para o processo de chegada de pacotes nas filas A da COM e A da CV_1 .

Quanto aos tempos de espera das mensagens nas filas B's de todas as estações o erro é inicialmente positivo, mas à medida que se aumenta o tamanho dos pacotes de dados, consequentemente aumentando o tamanho médio dos lotes, o erro cresce negativamente. Quando o tamanho do lote é aumentado, as filas B's apresentam crescimentos súbitos, implicando em tempos de espera médios fornecidos pelo modelo analítico superiores aos fornecidos pelo modelo de simulação.

5.1.4 - Variação do Tamanho das Mensagens (t_{MS}, t_{CB})

Aqui apresentamos comparações entre resultados obtidos pelos dois modelos para cinco exemplos cujos dados são os mesmos do "exemplo básico", com exceção do número de pacotes de dados por chamada que é 3 e o tamanho dos pacotes de dados e de controle que é 200 caracteres, variando-se o tamanho das mensagens e seus cabeçalhos.

$E[T_A]$

Estações	T_{MS}	20	40	50	100	200	%
	T_{CB}	4	8	10	20	40	
IL ₁		5.2	5.6	5.7	6.8	8.4	Utilização
		-2.0	-3.0	0.0	-2.0	-5.0	Erro
IL ₂		5.7	6.2	6.3	7.6	9.2	Utilização
		-5.0	-5.0	-5.0	-2.0	-4.0	Erro
COM		9.7	11.4	12.0	16.3	21.8	Utilização
		132.0	120.0	83.0	105.0	78.0	Erro
IL ₃		5.7	6.2	6.3	7.6	9.2	Utilização
		1.0	0.0	0.0	1.0	-1.0	Erro
IL ₄		5.2	5.6	5.7	6.8	8.4	Utilização
		-1.0	3.0	-2.0	-3.0	-4.0	Erro
CV ₁		13.1	14.2	14.4	17.3	21.1	Utilização
		96.0	90.0	100.0	146.0	131.0	Erro

$E[T_B]$

Estações	T_{MS}	20	40	50	100	200	%
	T_{CB}	4	8	10	20	40	
IL ₁		16.8	18.4	18.7	22.8	28.2	Utilização
		-59.0	-50.0	-43.0	-27.0	-12.0	Erro
IL ₂		16.0	17.5	17.7	21.2	26.0	Utilização
		-57.0	-51.0	-45.0	-37.0	-22.0	Erro
COM		13.1	14.2	14.4	17.3	21.1	Utilização
		-50.0	-44.0	-38.0	-30.0	-17.0	Erro
IL ₃		16.8	19.1	19.7	25.2	32.3	Utilização
		-61.0	-54.0	-49.0	-37.0	-27.0	Erro
IL ₄		17.2	19.3	19.9	25.2	32.0	Utilização
		-49.0	-41.0	-35.0	-22.0	-10.0	Erro
CV ₁		9.0	10.1	10.4	13.1	16.6	Utilização
		-44.0	-40.0	-33.0	-27.0	-7.0	Erro

E[T]	22.2	24.6	25.2	31.2	39.0	Utilização
	-12.8	-12.33	-10.07	-9.47	-7.16	Erro

À medida que se aumenta o tamanho das mensagens, diminui-se o número de mensagens no anel e também o número de mensagens nos "lotes" e este fato é o mais relevante dessa comparação.

O erro nos tempos de espera dos pacotes de controle na fila A da COM é positivo decrescente, porque quando os pacotes são decompostos em mensagens maiores, o processo de chegada dos pacotes de controle nessa fila se aproxima mais do processo poissoniano, pois as mensagens sofrem menos interferências durante o seu percurso no anel.

Os valores dos tempos médios de espera dos pacotes de dados na fila A da CV_1 , fornecidos pelo modelo analítico são superiores aos fornecidos pelo modelo de simulação, porque a hipótese poissoniana adotada pelo modelo analítico para o processo de chegada dos pacotes nessa fila não é verdadeira.

O erro nos tempos de espera das mensagens nas filas B's de todas as estações é negativo decrescente em módulo. Como o processo de chegada de mensagens para o modelo de simulação é por lotes, o tamanho médio das filas B's é maior que para o modelo analítico, que o supõe poissoniano. No entanto, este fato se dilui à medida que se diminui o número de mensagens por lotes, ou seja, quando se aumenta o tamanho das mensagens.

5.1.5 - Variação das Taxas de Solicitação de Chamadas Correspondentes às Estações IL ($\gamma_i, i=1, \dots, N_{IL}$)

Apresentamos a seguir uma comparação entre resultados obtidos pelos dois modelos, a partir de cinco exemplos, cujos dados são os mesmos do "exemplo básico", variando-se o valor das ta

as de solicitação de chamada correspondentes às estações IL's.

$$E[T_A]$$

Estações \ γ	γ					%
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
IL ₁	0.23	0.46	0.68	0.91	1.14	Utilização
	11.0	-28.0	17.0	0.0	-14.0	Erro
IL ₂	0.25	0.5	0.76	1.01	1.26	Utilização
	24.0	29.0	45.0	17.0	3.0	Erro
COM	1.12	2.24	3.37	4.48	5.6	Utilização
	104.0	23.0	21.0	16.0	11.0	Erro
IL ₃	0.25	0.50	0.76	1.01	1.26	Utilização
	-34.0	-20.0	-2.0	0.0	-4.0	Erro
IL ₄	0.23	0.46	0.68	0.91	1.14	Utilização
	-60.0	-27.0	-32.0	-14.0	-19.0	Erro
CV ₁	0.32	0.64	0.96	1.28	1.6	Utilização
	403.0	774.0	162.0	36.0	-2.0	Erro

$E[T_B]$

Estações \ γ	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	%
	IL_1	0.81 15.0	1.63 53.0	2.45 39.0	3.26 49.0	
IL_2	0.71 435.0	1.42 5.0	2.12 23.0	2.83 17.0	3.54 36.0	Utilização Erro
COM	0.32 -19.0	0.64 -28.0	0.96 -24.0	1.28 -20.0	1.6 -11.0	Utilização Erro
IL_3	1.10 -34.0	2.21 -20.0	3.31 -2.0	4.42 0.0	5.52 8.0	Utilização Erro
IL_4	1.05 60.0	2.11 31.0	3.16 40.0	4.21 36.0	5.26 50.0	Utilização Erro
CV_2	0.8 -21.0	1.6 -21.0	2.4 0.0	3.2 6.0	4.0 39.0	Utilização Erro

γ	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	%
$E[T]$	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	Utilização
	-0.80	-0.14	-0.20	-0.32	-0.23	Erro

Aumentando-se o valor das taxas de solicitação de chamada das estações IL, aumenta-se o tráfego no anel.

O erro nos tempos de espera dos pacotes nas filas A' s das estações COM e CV_1 , é positivo decrescente. Isto demonstra que quando o tráfego no anel é muito baixo, os pacotes chegam nas filas A's da COM e CV_1 , mais esparsos do que supõe um processo de Poisson.

O erro nos tempos de espera das mensagens nas filas B's das estações IL não demonstrou uma tendência marcante.

O erro nos tempos de espera das mensagens da fila B da estação COM é negativo, ou seja, o valor médio fornecido pelo modelo analítico é menor que o fornecido pelo modelo de simulação . Isto se deve ao fato da chegada das mensagens nesta fila, se dar por lotes, o que provoca crescimentos súbitos no tamanho da fila.

O erro nos tempos de espera das mensagens na fila B da CV_1 começa negativo, passa pelo valor nulo e cresce positivamente. Quando a taxa de chegada de mensagens na fila B da CV_1 é muito baixa, o fato das mensagens chegarem por lotes, faz com que o modelo analítico forneça um tempo médio de espera menor que o fornecido pelo modelo de simulação. Os valores do tempo médio de espera nessa fila é o mesmo para os dois modelos, quando a taxa de chegada de mensagens assume um determinado valor, que o fato das mensagens chegarem por lotes é amenizado. Porém, quando a taxa de chegada de mensagens nesta fila cresce um pouco mais, o erro torna-se positivo. Isto se dá porque o processo de Poisson supõe prováveis intervalos entre chegadas de mensagens na fila, menores que um intervalo entre chegadas de duas mensagens consecu

tivas de um mesmo lote, ou seja, o menor intervalo possível na simulação.

5.1.6 - Variação do Número de Estações CV's Presentes na Central (N_{CV})

Os cinco exemplos, cuja comparação dos resultados obtidos pelos dois modelos apresentamos a seguir, possuem os mesmos dados do exemplo básico, com exceção do número de pacotes de dados que é 10 e com o número de estações CV's presentes na central sendo variável de 1 a 5.

$E[T_A]$

Estações \ N_{CV}	1	2	3	4	5	%
IL ₁	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	Utilização
	3.0	-1.0	1.0	1.0	2.0	Erro
IL ₂	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	Utilização
	-2.0	-3.0	-2.0	-3.0	-2.0	Erro
IL ₃	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	Utilização
	3.0	5.0	0.0	0.0	-2.0	Erro
IL ₄	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	Utilização
	-7.0	-3.0	-1.0	-1.0	-1.0	Erro
COM	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	Utilização
	211.0	132.0	151.0	153.0	133.0	Erro
CV ₁	16.0	8.0	5.3	4.0	3.2	Utilização
	367.0	689.0	1166.0	1294.0	1698.0	Erro
CV ₂		8.0	5.3	4.0	3.2	Utilização
		790.0	1042.0	1610.0	1072.0	Erro
CV ₃			5.3	4.0	3.2	Utilização
			936.0	1098.0	1371.0	Erro
CV ₄				4.0	3.2	Utilização
				1030.0	1363.0	Erro
CV ₅					3.2	Utilização
					1376.0	Erro

$E\{T_B\}$

Estações \ N_{CV}	1	2	3	4	5	%
IL_1	15.1 4.0	15.1 31.0	15.3 36.0	15.3 45.0	15.2 50.0	Utilização Erro
IL_2	14.2 -4.0	14.2 20.0	14.3 20.0	14.2 26.0	14.2 28.0	Utilização Erro
IL_3	16.1 15.0	15.7 27.0	16.1 18.0	16.0 20.0	16.0 28.0	Utilização Erro
IL_4	16.2 51.0	15.8 41.0	16.0 44.0	15.8 38.0	15.9 49.0	Utilização Erro
COM	16.0 20.0	16.0 -2.0	16.0 7.0	16.0 3.0	16.0 5.0	Utilização Erro
CV_1	4.0 -20.0	12.0 -20.0	14.9 4.0	16.2 32.0	17.1 54.0	Utilização Erro
CV_2		13.2 15.0	14.3 4.0	15.6 27.0	17.0 85.0	Utilização Erro
CV_3			15.6 10.0	16.8 32.0	16.4 48.0	Utilização Erro
CV_4				17.4 73.0	17.7 56.0	Utilização Erro
CV_5					18.2 100.0	Utilização Erro
$E\{T\}$	20.4 1.85	20.4 1.99	20.4 2.49	20.4 3.94	20.4 5.77	Utilização Erro

Nesta comparação, o tráfego manipulado pela central é igual nos cinco exemplos, modificando-se apenas a sua distribuição na mesma, à medida que acrescentamos estações do tipo CV.

O erro nos tempos de espera dos pacotes na fila A da COM é positivo, porque a hipótese poissoniana para o processo de chegada dos pacotes nessa fila não é adequada.

O erro nos tempos de espera dos pacotes nas filas A's das estações CV's é positivo crescente. A taxa de utilização do sistema pelas filas A's das CV's é decrescente, enquanto que a taxa de utilização do sistema das filas B's das CV's é crescente. Nos exemplos considerados, o tráfego na central é bastante grande fazendo com que as mensagens de um mesmo pacote não permaneçam justapostas durante o seu percurso no anel. Quando acrescentamos estações CV's na central, a dispersão das mensagens de um mesmo pacote durante seu trajeto no anel se torna mais acentuada, fazendo com que os pacotes cheguem mais esparsos nas filas A's das CV's e assim divergindo mais do processo de Poisson.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

6.1 - Margem de Confiabilidade do Modelo Analítico

Os tempos de espera dos pacotes nas filas A's das estações do tipo IL, calculados pelos dois modelos não apresentaram grandes diferenças. Isto já era esperado, já que ambos os modelos consideram as mesmas hipóteses para essas filas, quais sejam: processo poissoniano de chegada de pacotes e prioridade fixa de atendimento a elas concedidas. As diferenças observadas são provenientes das diferentes hipóteses adotadas pelos dois modelos, com relação ao processo de chegada de mensagens nas filas B's das estações do tipo IL. Para o modelo de simulação, as mensagens chegam por lotes nas filas B's das estações IL, enquanto que para o modelo analítico elas chegam segundo um processo de Poisson. Dessa forma, a probabilidade de que um pacote da fila A de uma estação IL, tenha que esperar o término de um atendimento de uma mensagem da fila B daquela estação, é diferente para os dois modelos. Na maioria dos casos o valor médio do tempo de espera de um pacote na fila A de uma estação IL, fornecido pelo modelo analítico é menor que o fornecido pelo modelo de simulação.

Os tempos médios de espera dos pacotes nas filas A's - das estações COM e CV's, fornecidos pelo modelo analítico, foram todos maiores que os fornecidos pelo modelo de simulação. Isto se deve ao fato de que os processos de chegadas dos pacotes nessas filas não seguem o processo poissoniano, ou seja, os pacotes chegam mais esparsos do que supõe um processo de Poisson.

Observamos que numa central pouco carregada, com lotes de 1 ou 2 mensagens circulando no anel, os tempos médios de espera das mensagens nas filas B's, fornecidos pelo modelo analítico chegam a ultrapassar os valores fornecidos pelo modelo de simulação. Ao aumentar o número de lotes no anel, sem interferir no número médio de mensagens por lote, os valores dos tempos médios de espera das mensagens nas filas B's das estações, fornecidos pelos dois modelos se aproximam. Mas, se continuarmos aumentando o tráfego na central, de tal modo que cresça o número de mensagens por lote, os valores dos tempos médios de espera das mensagens nas filas B's das estações fornecidos pelo modelo analítico tornam-se inferiores aos fornecidos pelo modelo de simulação. Melhor explicando, quando o fato das mensagens chegarem agrupadas por lotes numa fila B de uma estação é dominante no processo de chegada, o tamanho médio desta fila calculado pelo modelo de simulação é maior que o modelo analítico, o qual supõe chegadas mais esparsas das mensagens na fila (processo de Poisson).

Observando as comparações feitas entre os resultados obtidos pelos dois modelos, verificamos que o retardo médio de um pacote numa central, apresenta pequena variação de um modelo para outro. Como o retardo médio de um pacote é a somatória de várias outras médias (tempos de espera nas filas e tempos de teste de cabalhos), há uma compensação de erro, de maneira que o resultado de ambos os modelos se aproximam. As maiores diferenças observadas atingiram $\pm 13\%$. Veja os exemplos apresentados no capítulo anterior.

Para tal central, consideremos o problema de localizar a posição ótima em que devemos colocar uma estação CV.

Executamos o programa RETARD.PAS (modelo analítico) colocando a estação CV₁ em todas as posições possíveis e os resultados obtidos foram os seguintes:

Localização da estação CV ₁ (antes de ...)	E[T] (seg)	Utilização (%)
IL ₁	0.219	92.07
IL ₂	0.224	92.23
IL ₃	0.227	92.40
IL ₄	0.229	92.56
IL ₅	0.232	92.73
IL ₆	0.233	92.89
IL ₇	0.235	93.06
IL ₈	0.236	93.22
IL ₉	0.237	93.39
IL ₁₀	0.238	93.55
IL ₁₁	0.238	93.72
COM	0.239	93.88

A estação CV_1 manipula todos os pacotes de dados, os quais constituem a grande maioria do tráfego no anel. Para cada chamada, são enviados 4 pacotes de controle de tamanho 40 caracteres e 10 pacotes de dados de tamanho 200 caracteres. Por esta razão, a estação CV_1 deve ser localizada de tal modo que o tráfego de mensagens na sua fila B seja o menor possível (a fim de que minimize o atraso médio global de um pacote na central), pois a fila A da CV_1 inserindo muito tráfego no anel, provoca atrasos nas mensagens em trânsito no anel. A melhor localização para a estação CV_1 na central, como podemos observar na tabela acima, é entre a estação COM e a estação IL_1 , pois desta forma o tráfego na fila B da CV_1 se constitui apenas de pacotes de controle - provenientes da estação COM.

6.2.2 - Limiar de Estações CV's numa Central

Novamente consideremos a central da seção anterior, constituída por onze estações IL, uma estação COM e o número de estações CV's a ser determinado, na seguinte disposição $IL_1, IL_2, \dots, IL_{11}, COM, CV_1, CV_2, \dots$. O tráfego na central é simétrico, ou seja, cada estação IL envia seus pacotes em igual quantidade entre as outras dez estações IL. O tráfego manipulado pela central ocupa mais de 90% de sua capacidade, ou seja, é uma central bastante carregada. Os resultados obtidos pelo modelo analítico, variando-se o número de estações CV's na central foram os seguintes:

N_{CV}	E[T] (seg)	Utilização (%)
1	0,219	92,07
2	0,218	92,32
3	0,232	92,54

À medida que acrescentamos uma estação CV na central , aumentamos um trecho no anel com seu correspondente teste de endereço de mensagens, mas por outro lado acrescenta-se mais uma fila A, fazendo com que eventualmente os pacotes de dados demorem menos para serem processados (pelas estações CV's) e novamente relocalados no anel.

Pelos resultados obtidos, concluímos que é mais vantajoso colocarmos duas estações CV's do que uma ou três.

6.3 - Outro Modelo Analítico Estudado

O sistema de atendimento de cada estação foi também estudado sob outro ponto de vista. Para cada estação supúnhamos , analogamente ao modelo analítico proposto que os processos de chegada de pacotes na fila A e de mensagens na fila B, eram poissonianos. O tempo médio de espera dos pacotes na fila A eram calculados da mesma maneira que o modelo analítico proposto calcula , ou seja, o tempo médio de espera de uma fila que disputa o sistema de atendimento com outra, mas que possui prioridade. O que

realmente diferia do modelo analítico considerado, era o cálculo do tempo médio de espera das mensagens nas filas B's. Para cada fila B o sistema de atendimento alternava entre dois estados: operativo e não-operativo (em "breakdown") [Avi-Itzahak, 1963]. O sistema estava operativo para uma fila B quando não havia pacotes na fila A da mesma estação. A chegada de um pacote na fila A durante o atendimento de uma mensagem da fila B, determinava que após aquele atendimento ocorreria o fim de um período operativo e o início de um período não-operativo do sistema para a fila B. Calculava-se o tempo médio de espera das mensagens numa fila B, considerando que o sistema de atendimento nem sempre estava disponível. No entanto, observamos que os tempos médios de espera das mensagens nas filas B's das estações ($E[T_B]$), calculado dessa forma, eram distantes dos valores calculados pelo modelo analítico e pelo modelo de simulação que consideramos, o que nos levou a abandonar esta formulação.

6.4 - Futuros Trabalhos

Um dos principais problemas do modelo analítico que propusemos, é que o processo de chegada de mensagens nas filas B's das estações não é poissoniano. Outra análise possível, seria supor o processo de chegada de mensagens nas filas B's como sendo por grupos de mensagens. Seria então necessário estudar a função distribuição de probabilidade dos tempos entre chegadas de lotes e a função distribuição de probabilidade do número de mensagens por lote, por estação.

Quanto ao modelo de simulação, a fim de torná-lo mais

real, poderia se pensar em cada chamada como uma entidade per si. Uma vez gerada uma chamada, as duas estações IL envolvidas trocariam pacotes de dados, até que uma delas terminasse a conexão. No modelo de simulação considerado, para cada pacote gerado é também gerado o seu tipo e o seu destino na central, sem obedecer a uma sequência normal de acontecimentos em conexões, apenas obedecendo probabilidades.

APÊNDICE

MANUAL DO USUÁRIO

1 - Execução do Programa RETARD.PAS (modelo analítico)

A fim de executar o programa RETARD.PAS o usuário deve entrar com os seguintes dados separados por brancos. Os parâmetros reais devem possuir ponto (.) e pelo menos uma casa decimal.

t_{SCH} (inteiro)	t_{CHA} (inteiro)	t_{SCL} (inteiro)	t_{CCL} (inteiro)
C (real)	t_{MS} (inteiro)	t_{CB} (inteiro)	
N_{IL} (inteiro)	N_{CV} (inteiro)		

em seguida devem ser fornecidos os dados de cada estação da central, na ordem de sua disposição no anel.

Para uma estação do tipo IL forneça:

l	i (inteiro)	(número da estação IL)	
$\lambda_{IL_i}^A$ (real)	A_i (inteiro)	t_{DD_i} (inteiro)	β_i (real)
$\alpha_{i,1}$ (real)	$\alpha_{i,2}$ (real)	...	$\alpha_{i,n}$ (real)

Os números identificadores das estações $IL_i - i$ não precisam necessariamente serem de 1 a N_{IL} , na verdade podem ser quaisquer.

Para uma estação do tipo CV forneça:

2	k (inteiro)	(número da estação CV)
---	-------------	------------------------

Para uma estação do tipo COM forneça:

3	1
---	---

Estes dados devem estar contidos num arquivo de nome IN
PUT.

Para executar o programa o usuário deve proceder da seguinte forma (o que estiver com letra sombreada é fornecido pelo usuário):

- para compilar

. R PASCAL

OBJECT = RETARD.REL

LIST = RETARD.LST (opcional, somente quando o usuário deseja que seja criada uma versão do programa fonte compilado)

SOURCE = RETARD. PAS

- para salvar o programa compilado

. LOAD RETARD / R

. SAVE RETARD

- para executar o programa

. RUN RETARD 40 (onde 40 é a quantidade de memória em kilo palavras necessária à execução)

O programa requer do usuário certas opções, as quais devem ser fornecidas através do próprio terminal durante a execu-

ção do programa.

A execução se dá da seguinte forma:

* o usuário deve apertar a tecla CARRIAGE RETURN

Se em algum ponto do anel a sua capacidade de transmissão não for suficiente para transportar o tráfego calculado de dados o programa pede uma nova capacidade.

A CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO É ----- E ESTÁ
SENDO TENTADO TRANSMITIR ----- .

NOVA CAPACIDADE = ----- (real)

VOCÊ DESEJA CRIAR UM ARQUIVO DE ENTRADA PARA SIMULAR
A CENTRAL COM OS DADOS AQUI RECÉM ANALISADOS, SIM (S)
OU NÃO (N) ?

ENTRE COM 'S' OU 'N': S (ou N)

Se o usuário responder S, é criado um arquivo de nome
ENTSIM contendo os dados de entrada para o programa RE-
TARD.SIM referente à dada central.

VOCÊ DESEJA QUE SEJA CRIADO UM ARQUIVO DE SAÍDA DOS
RESULTADOS OBTIDOS; SIM (S) OU NÃO (N)?

ENTRE COM 'S' OU 'N': S (ou N)

Se o usuário responder N o programa escreve:

TEMPO MÉDIO DE PERMANÊNCIA DE UM PACOTE NA CENTRAL= ---
UTILIZAÇÃO MÉDIA DA CAPACIDADE DO ANEL = -----

se o usuário responder S o programa cria um arquivo de
nome OUTPUT com todos os resultados obtidos.

VOCÊ DESEJA RODAR O PROGRAMA NOVAMENTE, SIM (S) OU
NÃO (N)?

ENTRE COM 'S' OU 'N': S (ou N)

TEMPO DE CPU (MLSEG) = -----

Se o usuário responder com N a execução do programa é
terminada. Se o usuário responder S o programa conti -
nua indagando:

VOCÊ DESEJA QUE OS DADOS CONTINUEM OS MESMOS, SIM (S)
OU NÃO (N)?

ENTRE COM 'S' OU 'N' : S (ou N)

O usuário responde S quando quiser executar o programa
com os mesmos dados, mudando alguma opção. Caso o usuá
rio responda N o programa prossegue perguntando:

VOCÊ DESEJA MODIFICAR A CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO DO
ANEL, SIM (S) OU NÃO (N)?

ENTRE COM 'S' OU 'N' : S (ou N)

Se o usuário responde S o programa escreve a seguinte
mensagem:

NOVA CAPACIDADE(caracteres/seg) = ----- (real)

VOCÊ DESEJA MUDAR A ESTRUTURA DO ANEL, SIM (S) OU NÃO
(N) ?

ENTRE COM 'S' OU 'N' : S (ou N)

Se o usuário responder S, o programa indaga:

VOCE DESEJA QUE O NÚMERO DE ESTAÇÕES SEJA IGUAL AO
DA EXECUÇÃO ANTERIOR. SIM (S) OU NÃO (N) ?

ENTRE COM 'S' OU 'N' : S (ou N)

Se o usuário responder S, o programa pede:

NÚMERO DE ESTAÇÕES IL = ----- (inteiro)

NÚMERO DE ESTAÇÕES CV = ----- (inteiro)

O programa requer então $N_{IL} + N_{CV} + 1$ estações

IDENTIFICAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO

TIPO DA ESTAÇÃO (1=IL, 2=CV, 3=COM) = ---(inteiro)

NÚMERO DA ESTAÇÃO = ----- (inteiro)

O usuário pode usar uma estação presente na central da rodada anterior. As estações CV's devem ser enumeradas de 1 a N_{CV} . A estação COM deve ser única. Uma estação IL, usada na rodada anterior deve possuir nesta rodada o mesmo número identificador e os mesmos valores de $\lambda_{IL_i}^A$, A_i , t_{DD_i} e β_i , ficando alterada a distribuição α_{ij} das solicitações de chamada. Se uma estação IL com número ainda não usado é utilizada, o programa pede:

TAXA DE CHAMADAS = ----- (real)

NÚMERO DE PACOTES DE DADOS/CHAMADA = ----- (inteiro)

TAMANHO MÉDIO DOS PACOTES DE DADOS = ----- (inteiro)

PORCENTAGEM ACEITA DAS CHAMADAS FEITAS POR ESTA ESTAÇÃO = ----- (real)

DISTRIBUIÇÃO DAS CHAMADAS DA ESTAÇÃO IL =

IL [---] = ----- (real)

IL [---] = ----- (real)

.
. .
.

Uma vez fornecidos estes dados o programa está pronto para ser executado novamente e tudo se repete como no início, finalizando somente quando o usuário assim o requerer.

O programa RETARD.PAS dimensiona alguns vetores com o valor de uma constante dada na linha 16 do programa, $MAX = 30$. Esta constante deve ser maior ou igual ao número de estações IL (N_{IL}). Caso N_{IL} seja maior que 30, é necessário mudar o valor de MAX no programa fonte.

2 - Execução do Programa RETARD.SIM (modelo de simulação)

A fim de criar o arquivo de dados do programa RETARD.SIM é necessário executar o programa RETARD.PAS e responder afirmativamente quando o último indagar sobre a criação de um arquivo de entrada para o programa de simulação. O programa RETARD.PAS criará um arquivo de nome ENTSIM contendo os dados de entrada de RETARD.SIM.

Para execução do programa RETARD.SIM o usuário deve assim proceder:

- para compilar o programa

```
. R SIMULA
```

```
* RETARD.SIM / L
```

onde / L é opcional, fornecida quando desejada a criação de um arquivo contendo o programa fonte compilado

- para executar o programa

. EXECUTE RETARD.SIM

O programa também pede alguns dados do usuário, durante sua execução:

NOME DO ARQUIVÓ DE ENTRADA (ANTECEDIDO PELO CARACTER #) :

ENTSIM

TEMPO DE SIMULAÇÃO SUFICIENTE PARA QUE TERMINE A SIMULAÇÃO :

----- (real)

Deve ser fornecido um número da ordem de 1 milhão.

INTERVALO DE CONFIANÇA REQUERIDO = ----- (real)

CONSTANTE NORMAL RELATIVA AO ERRO PERMITIDO NO INTERVALO DE -

CONFIANÇA = ----- (real)

E execução começa e quando 6000 pacotes são tratados pela central, a seguinte mensagem é impressa:

ATINGIU O ESTADO ESTACIONÁRIO !

Em seguida a cada 300 pacotes tratados pela central é impresso o maior intervalo de confiança obtido das variáveis aleatórias consideradas. No final da execução o programa pede:

NOME DO ARQUIVO DE SAIDA (ANTECEDIDO PELO CARACTER #) :

----- (6 caracteres)

BIBLIOGRAFIA

ALLONEN B., HAGLUND L., HELLMAN G., OLOFSSON O., "Technical Description of the Nordic Public Data Network", Tele 1, 1976

AVI-ITZHAK B. e NAOR P., "Some Queueing Problems with the Service Station Subject to Breakdown", Operation Research, pg.303-320, Maio - Junho, 1963

CLIPSHAM W.W., GLAVE F.E. e NARRAWAY M.L., "Datapac Network Overview", Presented at ICCO, Toronto, Agosto, 1976

DAVIES D.W., BARBER D.L.A., PRICE W.L. e SOLOMONIDES C.M., Computer Networks and Their Protocols, 1979

(1) pg. 38-40, (2) pg. 10-12, (3) pg. 51-53, (4) pg. 43-45 ,
(5) pg. 55-56, (6) pg. 32-22, (7) pg. 61-64, (8) pg. 232-257

DIANANDA P.H., "Some Probability Limit Theorems with Statistical Applications", Proceedings Cambridge Philosophical Society , vol. 49, pg. 239-246, 1953

DOLL D.R., "Multiplexing and Concentration", Proceedings of the IEEE, vol. 60, nº 11, pg. 1313-1321, Novembro, 1972.

"Estrutura de Software da Central REXPAC", Programa da Comunicação de Dados, CPqD, Telebrás, 1980

GORDON G., System Simulation, pg. 278-279, 1969

"Interface Between Data Terminal Equipment (DTE) and Data Circuit Terminating Equipment (DCE) for Terminals Operating in the Packet Mode on Public Data Networks", Provisional Recommendation X.25, 1977.

KLEINROCK L., Queueing Systems, Vol. 2, 1976.

LIU M.T., BABIC G. e PARDO R., "Traffic Analysis of the Distributed Loop Computer Network (DLCN)", Proc. 1977 National Telecommunications Conf., Los Angeles, USA, Dezembro, 1977.

MIGUEZ L.M. e SOTO O.G., "Parameters and Communication Efficiencies in the Modeling of the Packet Switching Network", Electrical Communication, Vol. 55, nº 1, 1980.

MIHRAM G.A., "On Limiting Distributional Forms Arising in Simulation Encounters", The Mathematics of Large Scale Simulation, P. Brock (ed.), Simulations Councils Proceedings Series, Vol. 2, nº 1, Simulation Councils, Inc., La Jolla, Calif., Junho, 1972.

Proceedings of the IEEE - Packet Communication Networks, Vol. 66, nº 11, Novembro, 1978.

SHANNON R.E., System Simulation - the Art and Science, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1975.

SCHWARTZ M., Computer - Communication Network Design and Analysis, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1977.

SLOMAN M.S., "X-25 Explained", Computer Communications, Vol. 1, nº 6, Dezembro, 1978.

SVENDSEN H., "The Nordic Public Data Network - Historical and Background", Tele 1, 1976.

TWYVER D.A., "The Datapac Network and SL-10 Data Network Processor", Presented at Mexicon 77, México, Novembro, 1977.

Unidade	BC
Fase	
Projeto	
Foco	DOAÇÃO
Data	25/8/82