



PUC

Série: Monografias em Ciência da Computação

Nº 9/81

REDES DE COMPUTADORES:

PROTOCOLOS NA REDE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS

por

Izidério de Almeida Mendes

Departamento de Informática

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

RUA MARQUÊS DE SÃO VICENTE, 225 - CEP-22453

RIO DE JANEIRO - BRASIL

PUC/RJ - DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

Série : Monografias em Ciência da Computação Nº 9/81

Editor : Marco Antônio Casanova

Julho, 1981

REDES DE COMPUTADORES:

PROTOCOLOS NA REDE DE COMUNICAÇÕES DE DADOS**

POR

IZIDÉRIO DE ALMEIDA MENDES *

* Oficial da Marinha do Brasil, concluindo seus estudos de pós-graduação em Ciência da Computação com o apoio financeiro da MARINHA.

** O presente trabalho é parte da dissertação de Mestrado do autor.

RESUMO

Redes de computadores estão sendo desenvolvidas ou planejadas por várias nações, inclusive o Brasil, usando a tecnologia da comutação de pacotes como um meio de comunicação entre computadores e/ou terminais. Essas redes utilizam-se de uma hierarquia de protocolos, estando no nível mais baixo os protocolos existentes no interior da rede de comunicação de dados. Esses protocolos são responsáveis pela transferência íntegra e confiável de dados de um nodo de comutação de origem a um nodo de comutação de destino. Para prover essa facilidade, este nível da hierarquia usa os troncos inter-nodos juntamente com a estratégia de encaminhamento e procedimento fim-a-fim, entre o nodo-origem e o nodo-destino, para garantir a seqüenciação dos pacotes e exercer o controle de fluxo na rede.

Partindo da descrição detalhada do que seja um protocolo e quais as funções por ele executadas para assegurar a troca de dados, de maneira ordenada, entre processos que o implementam, este trabalho procura identificar os protocolos que comporão a camada de transmissão: a rede de comunicação de dados - RECOMDOS, que é usada como meio de comunicação para a rede de computadores.

Uma vez que os protocolos, técnicas de encaminhamento e outros controles internos da RECOMDOS são invisíveis ao usuário da rede, pretende-se produzir um amplo texto didático sobre o assunto em questão em língua portuguesa, uma vez que tal assunto está atualmente divulgado em língua estrangeira e às vezes com interpretação ambígua.

Palavras chaves : Rede de comunicação de dados, comutação de pacotes, pacotes, protocolos, controle fim-a-fim, controle de erros, seqüenciação, controle de fluxo, camadas ou níveis, interfaces, processos parceiros, dados de computação.

ABSTRACT

Computer networks are being developed or designed by many countries, including Brazil, using the packet switching technology as a means of communication between computers and/or terminals. These networks use a hierarchy of protocols keeping in lower levels the protocols that there are inside the data communication network. These protocols are responsible for the accuracy and reliability in transferring data between source and destination switching nodes. To provide this facility, this level of hierarchy uses inter nodes trunks allied to a routing strategy and an end-to-end procedure between source-node and destination-node. This assures that packet sequencing is preserved and carries out the flow control in the network.

Starting from the detailed description of what a protocol is like and which functions it executes to assure the data exchangeability, between processes that implement it, in an orderly manner, this work intends to identify, define and specify the protocols that will establish the transmission layer: the data communication network - RECOMDOS, that is used as a means of communication in computer networks.

As protocols, routing techniques and other internal controls of RECOMDOS are invisible to network users, one intends to generate, as one of the aims a broad didactic text about the subject issued, apart from an formal specification of protocols identified, using a protocol specification language called APSL.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	V
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VI
1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Necessidades crescentes do compartilhamento de recursos escassos.....	1
1.2 - Objetivo da monografia.....	6
1.3 - Organização da monografia.....	7
2 - REDES DE COMPUTADORES, PROTOCOLOS E SEUS MECANIS- MOS DE CONTROLE.....	12
2.1 - Introdução.....	12
2.2 - Técnica de comutação.....	15
2.3 - Protocolos e seus mecanismos de controle em uma rede de computadores.....	21
2.3.1 - O que é um protocolo.....	21
2.3.2 - O que faz um protocolo.....	23
2.3.3 - Hierarquia de protocolos.....	30
2.3.4 - Especificação de protocolos.....	36
2.3.5 - Interface e significado das men- sagens.....	38
2.4 - Redes públicas e Padronização.....	40
2.5 - Mecanismos de transporte de pacotes na rede de computadores e em particular na rede de comunicação de dados.....	44
2.5.1 - Datagrama.....	44

2.5.2 -Circuito virtual.....	48
2.5.3 -Datagrama versus circuito virtual.....	55
3 - CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE A REDE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS NO AMBIENTE DA REDE DE COMPUTADORES.....	58
3.1 - O que é, o que faz e parâmetros de projeto	58
3.2 - Uma visão de conjunto da RECOMDOS e os usuários de uma rede de computadores.....	61
3.3 - Protocolos dentro da RECOMDOS e suas funções.....	65
3.3.1 - Introdução.....	65
3.3.2 - Protocolo NODO-NODO : NONO.....	67
3.3.3 - Protocolo ORIGEM-DESTINO : ORINO.....	78
3.4 - Importância do controle de fluxo na RECOMDOS.....	83
3.5 - Controvérsias quanto ao processamento de mensagens multi-pacotes pela RECOMDOS.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1	: Visão esquemática, "top-down", do trabalho a ser desenvolvido.....	11
Figura 2.1	: Rede de Computadores.....	14
Figura 2.2	: Comparação do atraso entre os tipos de comutação.....	20
Figura 2.3	: Estrutura de níveis ou camadas de protocolos.....	33
Figura 2.4	: Composição das mensagens entre níveis de protocolos.....	39
Figura 2.5	: Circuito virtual - estabelecimento (1º método).....	50
Figura 2.6	: Circuito virtual - estabelecimento (2º método).....	54
Figura 3.1	: Camadas básicas de protocolos.....	62
Figura 3.2	: Camada de transmissão.....	63
Figura 3.3	: Uma concepção de um enlace entre dois nodos.....	69
Figura 3.4	: Formato de um quadro em um enlace.....	72
Figura 3.5	: Inserção de bits - transparência.....	73
Figura 3.6	: Perda de pacotes.....	80
Figura 3.7	: Duplicação de pacotes.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS

ACK	: confirmação de recebimento.
CAN-LOG	: número de um canal lógico na interface do usuário com a RECOMDOS.
CCITT	: Comitê Consultivo Internacional para Telegrafia e Telefonia.
CPD	: Centro de Processamento de Dados.
CRC	: Cyclic Redundancy Check, tipo de verificação de erro de transmissão que utiliza código polinomial
CV	: circuito virtual.
DG	: datagrama.
ECD	: equipamento de comunicação de dados, o mesmo que nodo de comutação.
ETD	: equipamento terminal de dados, o mesmo que computador hospedeiro ou "host".
E/S	: operação de entrada/saída.
HDLC	: protocolo de linha High Level Data Link Procedure, da ISO.
ISO	: Organização Internacional para Padronização.
NONO	: Protocolo de controle de linha <u>NODO-NODO</u> .
ORINO	: protocolo fim-a-fim <u>ORIGEM-DESTINO</u> .
PAD	: <u>Packet Assembly Disassembly</u> , para terminais que operam no modo "start/stop" (character/character).
RECOMDOS	: <u>Rede de Comunicação de Dados</u> .
UCP	: unidade central de processamento.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Necessidade crescente do compartilhamento de recursos escassos

Sabemos que a necessidade gera inovações ou mesmo a busca por: novos desenvolvimentos, novas técnicas ou procedimentos.

A sociedade mundial parece não ter parado na busca de melhorias tecnológicas e por isso encontramos em um sistema simbiótico (criaturas inteligentes + máquinas) desenvolvendo um ritmo de intensa atividade. A tecnologia modifica-se tão rapidamente que conceitos estarão obsoletos quase tão rápido quanto são formulados.

Organizações, privadas ou estatais, com seus escritórios geograficamente dispersos, em fase de expansão e de acelerado ritmo de desenvolvimento, exigiram e continuam a exigir uma demanda crescente de recursos para processamento e armazenamento de informações bem como para comunicações. Na maioria das vezes, esses recursos eram duplicados de maneira tão intensa e isoladamente que, não sendo usados de forma integrada, acarretavam elevados custos operacionais para suas empresas MOLI 78 .

A busca pela solução, para atenuar esses gastos, foi encontrada com o advento dos sistemas de computação multi-acesso que permitiram o "time-sharing", o que ocorreu no início dos anos sessenta.

Com a utilização desses sistemas, uma ampla aceitação e divulgação pela comunidade empresarial, tais recursos e facilidades foram colocados disponíveis para uma grande população de u

usuários, dentro de uma mesma empresa, e cada um deles exercia demandas relativamente pequenas por tais recursos. Desse modo, o compartilhamento simultâneo desses recursos ou facilidades do sistema de computação vieram a permitir a sua utilização mais eficiente e a conseqüente redução dos custos operacionais.

E assim começaram a ser construídas as primeiras redes de acesso remoto em que não se fazia provisão para se instalar o computador em mais do que um local KIMBLETON 75 .

Essas redes iniciais vieram a ser centralizadas em um computador de grande porte com seus terminais, locais ou remotos, permanentemente ligados a essa central de facilidades por meio de linhas ponto-a-ponto ou multi-ponto.

Nasciam as primeiras configurações de topologia do tipo estrela, em que o computador tinha controle centralizado sobre seus terminais e como tal deveria dispor de "hardware" especializado para o atendimento das funções de comunicação. Com o aumento da demanda por recursos e a necessidade de utilizar melhor as linhas de comunicação, uma vez que um ou vários terminais ficavam ociosos por grande parte do tempo, introduziu-se a comutação das linhas, utilizando-se do serviço da rede pública telefônica.

Desse modo, terminais de vários tipos e diversos fabricantes acessavam recursos de várias espécies:

- capacidade de processamento;
- capacidade de armazenamento;
- capacidade de comunicação.

Já dessa época sentiu-se a necessidade de se cuidar de uma questão fundamental: alocar recursos escassos entre demandas crescentes.

Na área de sistemas de computação os recursos a serem compartilhados compreendem: "hardware", "software" e banco de dados especializados; e na área de comunicação são os meios de comunicação, os processos de comutação e transmissão.

Com a eletrônica digital, a indústria de computadores entrou na fase de miniaturização de seus componentes, com um crescente potencial de processamento, o que tornou possível uma grande redução nos custos do "hardware" ROBERTS 78 .

Devido a esse fato, cada vez mais redes de acesso remoto foram surgindo, sempre baseadas no objetivo de compartilhamento de recursos, o que levou algumas organizações individuais a oferecerem serviços limitados a seus clientes e que davam suporte a interação entre cliente-computador central.

Dentre essas redes podemos citar a TYMSHARE e a CYBERNET. Porém, com a sistemática em vigor, em que as empresas isolamente desenvolviam sistemas de aplicações muitos semelhantes - folha de pagamento, controle de estoques, etc - isto redunda va em uma multiplicidade de recursos comuns.

Reconheceu-se que, se fosse permitida a comunicação entre computadores, onde cada um de per si poderia oferecer facilidades diferentes, obter-se-ia um melhor aproveitamento no compartilhamento das facilidades oferecidas e que são caras para o uso individual, bem como proporcionar-se-ia maior economia de

operação, evitando duplicação de arquivos e de outros recursos. Em termos econômicos é mais conveniente concentrar investimentos em uma rede de grande porte, interligando computadores e terminais, do que equipar várias instituições com sistemas independentes.

Com tal meta, um maior número de usuários poderiam utilizar os recursos de todas as máquinas ligadas a rede e mais um passo foi dado em direção a evolução dos sistemas de processamento de informações. Isto aconteceu ao findar a década dos anos sessenta OGUCHI 76 .

Na literatura da computação e telecomunicações, a década dos anos setenta é conhecida como "a década das grandes redes de computadores", em que comunicações entre computadores, com "software" especializado, geograficamente dispersos, ofereciam facilidades de:

- 1) multiprocessamento;
- 2) transferência de arquivos;
- 3) consulta/resposta a banco de dados.

A idéia fundamental, com este novo enfoque dado as redes de computadores, foi de que usuários interligados a um computador teriam acesso a dados e poderiam usar interativamente programas que existiam e eram executados em outras máquinas da rede, dando assim uma visão integrada de que várias máquinas eram interligadas e diretamente acessíveis por uma ampla comunidade de usuários KLEINROCK 76 e DAVIES 79 .

O interesse por esse novo campo de atividade foi e continua a ser dinâmico, pois o que hoje é dito ser nova técnica ou

novo conceito em, espaço curto de tempo torna-se antiquado. Observa-se que nas grande empresas, mudanças organizacionais têm ocorrido a saber: onde, previamente, existiam setores com responsabilidades bem definidas e separadas sobre processamento de dados e telecomunicações, hoje foram um departamento integrado que abrange as duas atividades.

Como avidência disto, tínhamos a previsão de que, em 1980 nos EUA, dos gastos em processamento de dados 30% seriam para comunicação de dados CHORAFAS 80 . Várias áreas de aplicações tem estimulado a crescente necessidade da comunicação de dados, resultando na ampla difusão de redes de computadores na indústria de processamento de informação KLEINROCK 67 e OGU CHI 76 .

Dentre algumas áreas de aplicações que determinam um sistema de comunicação de dados, podemos citar:

- 1) transferência eletrônica de fundos e operações bancaria_s pelas empresas financeiras e bancos;
- 2) reservas de passagens e serviços de viagem pelas empresas de transporte e turismo;
- 3) banco de informações médicas no campo da medicina;
- 4) autorização de crédito, ordens-de-compra, controle de estoque pelas empresas comerciais com escritórios dispersos;
- 5) integração de pesquisas e o uso interativo no ensino nas universidades e centro de pesquisas;
- 6) comunicações militares no campo tático, permitindo a troca de informações seguras e confiáveis em operações integradas;

7) grandes organizações registrando, atualizando, recuperando dados entre seus escritórios centrais regionais;

8) controle do tráfego aéreo entre aeroportos.

Para se ter uma idéia do crescimento da demanda pelo acesso à rede de computadores, em 1971 nos EUA existiam em operação 250.000 terminais com uma previsão para 4 a 5 milhões de terminais ao início da década de oitenta. Verifica-se que as demandas por recursos escassos continuam crescer a uma taxa bastante grande KLEINROCK 76 .

Uma demonstração do estímulo dado a esse novo campo do conhecimento humano são as várias conferências relacionadas com a comunicação de dados entre computadores, em que centenas, talvez milhares, de artigos têm sido publicados na literatura de rede de computadores, nos últimos 10 anos.

Podemos concluir que o efetivo compartilhamento de recursos escassos requer o desenvolvimento de uma tecnologia de suporte apropriada a fim de prover: facilidade de acesso, utilização racional, controle dos recursos disponíveis e comunicação de dados, implicando na grande difusão das redes de computadores.

1.2 - Objetivo da monografia

Em uma rede de computadores, existem vários tipos de processo interagindo entre si. Desde processos de alto nível, que implementam aplicações de usuários tais como transferência de arquivos, até processos de baixo nível que gerenciam os recursos de comunicação da rede. Ao conjunto de regras, procedi

mentos ou convenção que disciplinam a interação entre processos remotos dá-se o nome de protocolos.

O objetivo deste trabalho é dar uma contribuição no desenvolvimento de novos protocolos, no contexto da rede de comunicação de dados. Em particular, serão apresentados os conceitos básicos dos: protocolo de controle de linha e protocolo fim-a-fim dentro da rede de comunicação de dados.

1.3 - Organização da monografia

Como se pode antecipar, este trabalho não pretende solucionar, nem mesmo abordar todos os problemas envolvidos em uma rede de computadores, nem mesmo equacionar todas as questões relacionadas ao caso particular de uma rede de comunicação de dados. Mas, certamente, a partir do detalhamento dos conceitos, proporcionará um íntimo contato com diversos problemas e algumas soluções encontradas no tocante aos protocolos na rede de comunicação de dados.

Este autor pretende apresentar um objetivo concreto ao fim deste trabalho. Assim, a partir da tarefa a ser desenvolvida, que empresta o título à monografia, tentará obter como efeito desejado um amplo texto didático sobre grande parte da matéria em questão: descrição funcional e rica em detalhes dos protocolos a serem identificados no interior da rede de comunicação de dados, utilizada como meio de comunicação de uma rede de computadores (assunto dos capítulos 4 e 5 da Dissertação de Mestrado de MENDES 81).

Este efeito desejado, ainda que limitado em suas modestas pretensões de implementação, deverá contribuir para a divulga

ção de conceitos, definições e especificação de protocolos no ambiente da rede de comunicação de dados.

O presente trabalho, cuja concepção encontra-se esquematizada na figura 1.1, pretende, ainda que em pequena escala, levantar idéias sobre este novo setor de estudos e pesquisas, principalmente agora que o Brasil deverá partir para o desenvolvimento de uma rede experimental de computadores - REXPAC, interligando as universidades de Campinas - UNICAMP, de São Paulo - USP e da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC/RJ.

A dissertação MENDES 81 está organizada em seis capítulos, cujos capítulos 1, 2 e 3 compõem esta monografia com a seguinte descrição sucinta:

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentamos os condicionamentos da necessidade de compartilhamento de recursos de "software", "hardware", comunicação entre usuários/usuários/,usuários/computadores e que culminaram com a concepção da rede de computadores.

Aproveitamos para nele definir o objetivo deste trabalho.

CAPÍTULO 2 - REDES DE COMPUTADORES, PROTOCOLOS E SEUS MECANISMOS DE CONTROLE

Em toda a sociedade industrial, cada passo tecnológico desenvolvido é acompanhado pelos cientistas e pesquisadores que prontamente sabem como absorvê-lo. O mesmo fato se deu no setor de computação. A partir dos anos sessentas, se associou ao setor de telecomunicações quando, e juntamente com o impacto

da microeletrônica, viabilizaram um novo estado da arte no se tor dos sistemas de computação.

Assim, neste capítulo faremos a introdução de conceitos na área de redes e, principalmente, dos mecanismos de transporte utilizados no meio de comunicação: da datagrama e circuito virtual, entre computadores e terminais dispersos geograficamente e que interagem para a consecução de algum serviço. Mas, para que haja comunicação entre computadores entre computadores e terminais é necessário que informações sejam trocadas entre as entidades participantes dessa interação. Ao se avançar na apresentação deste trabalho, verificaremos que o meio de comunicação utilizado é formado por um sistema de comunicação composto de linhas de comunicação e nodos da comutação que chamaremos de rede de comunicação de dados.

No ambiente até aqui descrito, quem necessita trocar in formações e efetuar processamento são os processos que residem nos computadores, terminais inteligentes e mesmo nos nodos de comutação. A fim de que as comunicações sejam efetivas, precisamos ter em mente que as informações se propagam em linhas de comunicação sujeitas a ruídas, interferências e que possuem capacidade limitada. Falhas poderão ocorrer nas linhas de comunicação, nos nodos de comutação, nos computadores e ainda nos terminais. Daí surgir a necessidade do estudo e estabelecimento de convenções a serem empregadas no controle da utilização das linhas e demais recursos da rede. A essas regras chamaremos de protocolos e neste assunto destacaremos: o que é e o que faz um protocolo, o porquê da necessidade dessas conven ções e como os protocolos devem ser estruturados para um me

lhor entendimento de suas funções. Abordaremos também o porquê da necessidade da especificação formal de protocolos e interfaces.

CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE A REDE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS NO AMBIENTE DA REDE DE COMPUTADORES

O ano de 1980 foi marcado pelas redes públicas de dados, oferecendo serviços na modalidade de pacotes, utilizando o conceito de circuito virtual, na Espanha, Canadá, França, Japão, Inglaterra, Estados Unidos da América e na iminência de serem estabelecidas em um grande número de outros países. A base do desenvolvimento de todos esses novos serviços foi e é a convicção de que a comutação de pacotes é a tecnologia adequada para as redes públicas de dados.

Desse modo, neste capítulo abordaremos o que é uma rede de comunicação de dados, seus parâmetros de projeto, seus protocolos e tipo de serviço que a rede oferece a seus utilizadores.

Ao final deste capítulo, ponto alto de todo o trabalho desta dissertação, proporemos uma estrutura de protocolos própria para a rede de comunicação de dados. Esta definição leva em conta a comutação de pacotes utilizando o circuito virtual de caminho fixo, fruto da conexão de um modo-origem a um modo-destino no interior da rede de comunicação.

Não pretendemos analisar todos os problemas inerentes à rede de comunicação de dados. Devido a grande abrangência do setor, nos deteremos naqueles aspectos que mais de perto se re

lacionam com o tema do trabalho.

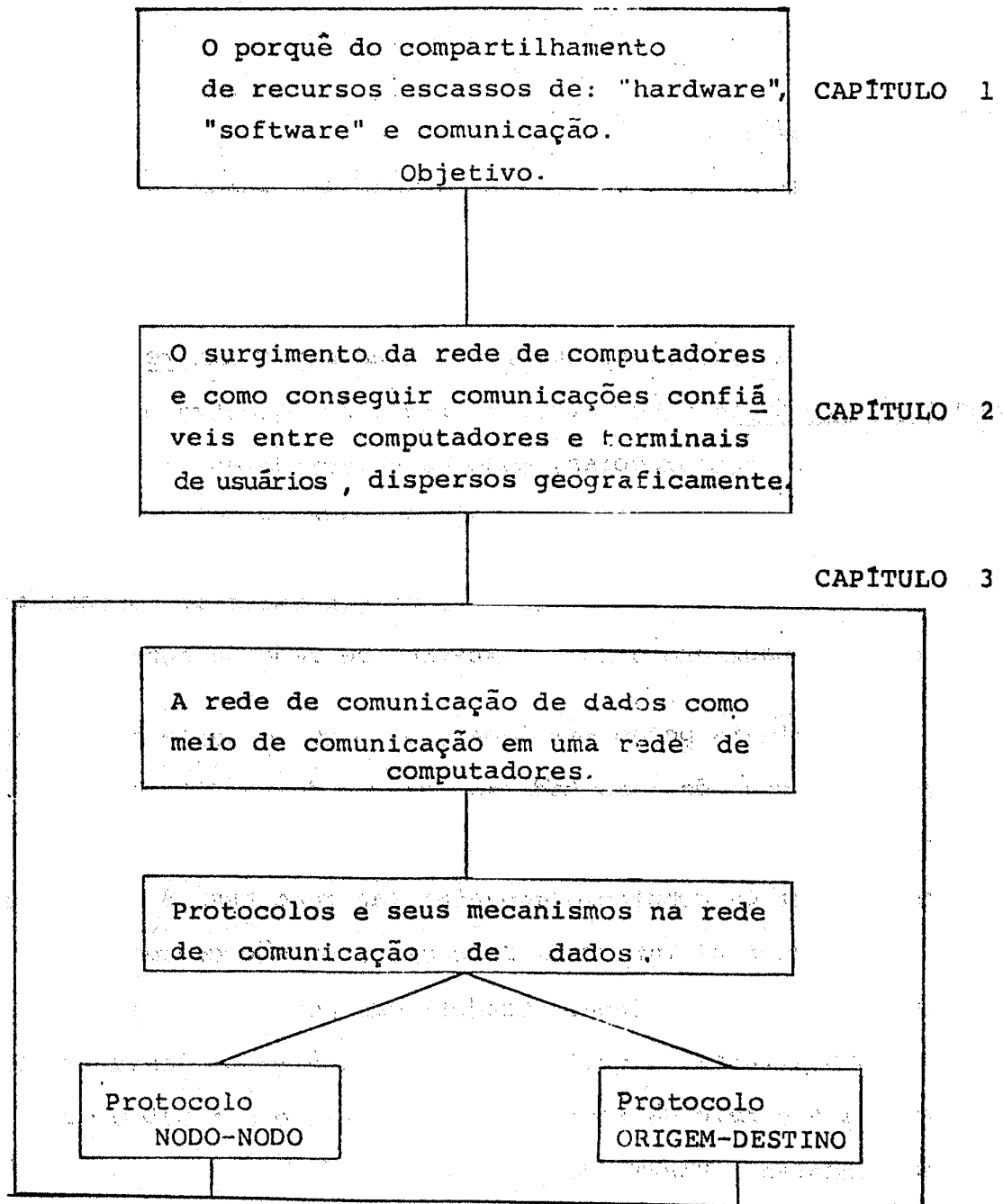


FIGURA 1.1 : VISÃO ESQUEMÁTICA, "TOP-DOWN", DO TRABALHO A SER DESENVOLVIDO .

2 - REDE DE COMPUTADORES, PROTOCOLOS E SEUS MECANISMOS DE CONTROLE

2.1 - Introdução

Uma rede de computadores como hoje é estudada e projetada, constitui-se de vários computadores com diferentes recursos e capacidades, que são conhecidos como computadores hospedeiros e de terminais de vários tipos, interligados por uma rede de comunicação de dados - RECOMDOS. A figura 2.1 ilustra a concepção de uma rede de computadores, onde os computadores hospedeiros são chamados de Equipamentos Terminal de Dados - ETD.

Os computadores executam os serviços úteis de processamento e de armazenamento para os usuários de rede de computadores.

Os terminais podem ser locais a um ETD e neste caso eles têm acesso à rede de computadores através desse ETD ou podem ser remotos, quando então acessam à rede diretamente através de um processador de comutação especial (na rede ARPA é conhecido como TIP, - Terminal Intercafe Processor) ou são concentrados em um dispositivo remoto (concentrador) que por sua vez está ligado a um ETD através do qual ganham acesso à rede. Dessa maneira o Terminal é o meio de acesso entre o usuário e o ETD ou a rede de computadores HEART 70 .

Por sua vez, a rede de comunicação de dados - RECOMDOS - é formada por vários computadores comutadores (nodos da rede) responsáveis pelas tarefas de comunicações entre os computadores principais (na rede ARPA o nodo é conhecido como IMP - Interface Message Processor). Esses nodos são interligados através canais

físicos (enlaces) de comunicações (linhas de comunicação). Em nosso estudo vamos separar as funções de comunicação de dados e executadas pela rede de comunicação das funções de processamento e armazenamento, realizadas pelos ETDs, dando-nos uma visão de hierarquia de funções, dentre as muitas que iremos abordar neste trabalho. A função básica da rede de comunicação, que será assunto do capítulo 3, é aceitar dados de qualquer fonte - ETD ou terminal, encaminhá-los através da RECOMDOS e entregando-os ao seu destino final - ETD ou terminal, de maneira rápida e confiável, isto é mantendo a integridade desses dados. Para essa função, os nodos de comutação contribuem com as seguintes tarefas, dentre outras:

- 1) encaminhamento apropriado do modo-fonte ao nodo-destino, dentro da RECOMDOS;
- 2) controle de erro ao longo dos canais utilizados;
- 3) controle de fluxo dos dados que transitam ao longo dos canais bem como daqueles dados que são admitidos na RECOMDOS;
- 4) armazenamento temporário;
- 5) tratamento das filas de entrada saída, e
- 6) gerência das linhas de comunicação.

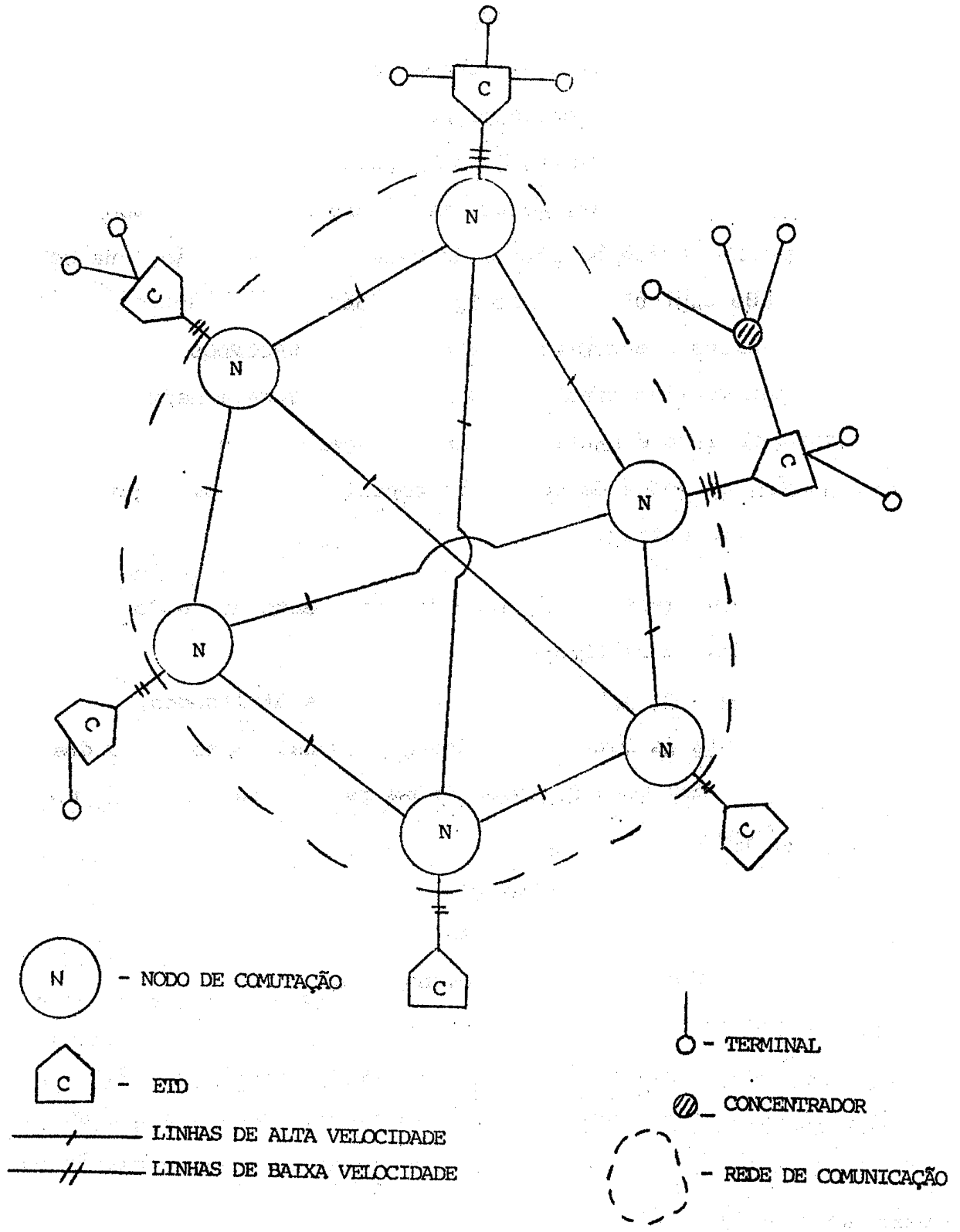


FIGURA 2.1 Rede de computadores

2.2 - Técnicas de comutação

A RECOMDOS, para realizar o transporte de dados de uma origem a um destino final além das técnicas de transmissão, que fogem ao escopo deste trabalho, utiliza técnicas de comutação de maneira a evitar o alto custo em prover conexões dedicadas entre todas as possíveis combinações de nodos de comutação. Para isto, existem três técnicas de comutação para maiores detalhes; KIMBLETON 75, CERF 78 e FREEMAN 80 a saber:

- 1) comutação de circuitos;
- 2) comutação de mensagens;
- 3) comutação de pacotes.

A função primária da comutação é possibilitar que um usuário-origem tenha acesso a outros usuários de destino, permitindo a interação entre origem e destino DAVIES 79 .

Comutação de Circuitos ("circuit switching")

Neste tipo de comutação, antes que seja qualquer transferência de mensagens entre um par de usuários, é necessário que seja estabelecido um caminho físico - circuito -, composto de canais selecionados entre cada par de nodos intermediários, que interligue os dois usuários terminais. O estabelecimento dessa conexão leva alguns segundos e o caminho físico usado é totalmente reservado para a fase de transferência de dados, sendo liberado somente pelo assinante de origem ao término da conversação, quando, então, os canais utilizados poderão ser reusados para novas conexões.

Este é o tipo de comutação utilizado para o serviço de te

lefoneia nas redes públicas, quando um usuário disca o número (endereço) do usuário com quem deseja estabelecer uma conversação, e também foi utilizada até 1968 em todas as redes de comunicação de dados. ROBERTS 78 .

Esta técnica é ineficiente para o padrão normal de transmissão nas atuais redes de computadores, onde o tráfego é de mensagens relativamente curtas e intermitentes. Como desvantagens apontamos: a excessiva perda de tempo necessária para o estabelecimento do circuito apropriado - entre 5 a 20 segundos -, e o fato da não utilização de toda a largura de faixa ("bandwidth") de transmissão do circuito físico utilizado. Uma rede que utilize a comutação de circuito não permite a conversão de código ou de velocidade, isto é, exige que os equipamentos terminais sejam compatíveis.

Conclui-se que esta modalidade de comutação não é adequada em redes de comunicação entre computadores, exceto em certos casos, quando se transmite um grande volume de mensagens, como na transferência de arquivos ou quando a comunicação é realizada a um tráfego constante por um longo período de tempo, ocupando totalmente a capacidade do circuito durante a transmissão.

Comutação de mensagens ("Message Switching")

Nesta técnica não há necessidade de conexão prévia fim-a-fim. Somente um canal entre cada par de nodos de comutação intermediários, dentro da RECOMDOS, é usado de cada vez durante a travessia da mensagem em direção ao destino final. Com tal procedimento, tem-se a utilização mais eficiente dos canais de co

municação, que neste caso não ficam reservados por todo o período da transferência da mensagem entre os usuários terminais.

A essência desta técnica está no fato de que os nodos de comutação tenham capacidade de armazenamento, pois a comutação consiste na movimentação das mensagens aceitas corretamente de uma fila de entrada para a fila de saída adequada. Assim, a mensagem é mantida armazenada até que exista um canal disponível para que possa ser transmitida para o próximo nodo ou para o usuário final. Este processo é conhecido como transmissão por armazenamento e encaminhamento adiante ("atone and forward"), sendo que as mensagens são armazenadas em memória auxiliar.

Para o encaminhamento, usando um canal de cada vez, as mensagens contêm um cabeçalho que carrega o endereço do destino final. Devido a exigência de armazenamento da mensagem em um ou mais nodos da RECOMDOS, surge o problema da criação e gerência de filas de espera na chegada e na saída da mensagem em cada nodo de comutação, implicando na necessidade de tempo de processamento dispendido na gerência dessas filas. Os atrasos resultantes, que podem ser da ordem de alguns minutos, são satisfatórios ao propósito da transferência de mensagens com confiança, porém não se adaptam em sistemas interativos. O estudo detalhado dos tempos de atraso nas filas bem como outras técnicas usadas para medir desempenho, usando esta modalidade de comutação, são apresentados em KLEINROCK 76 e SCHWARTZ 77. A grosso modo, esse tempo de retardo é proporcional ao produto do tamanho da mensagem pelo número de enlaces usados do usuário-origem até o usuário-destino.

Com exemplo de rede de comunicação que utiliza a comuta
ção de mensagens temos a AUTODIN, projetada para o Departamento
de Defesa dos E.U.A.

Comutação de pacotes ("Packet switching")

É muito semelhante a comutação de mensagens, sendo que ago
ra a mensagem é dividida em pacotes de tamanho máximo fixo e
que são armazenados e transmitidos, independentemente, de nodo
a nodo até seu destino final. Memória secundária não é mais ne
cessária pois os pacotes são pequenos, permanecem por pouco
tempo em um nodo e não é mais necessário esperar que toda a men
sagem chegue ao nodo para posterior encaminhamento.

É uma técnica mais sofisticada e que melhor uso faz dos ca
nais, apresentando menor retardo que a comutação de mensagen-
da ordem de fração de segundos - permitindo sua utilização em a
plicações de tempo-real. Esse retardo é proporcional ao produ
to do tamanho do pacote, número de enlaces atravessados e um fa
tor proporcional ao comprimento da mensagem. Uma das vantagens
dessa técnica é que muitos pacotes componentes de uma mesma men
sagem podem estar em trânsito ao mesmo tempo, minimizando o re
tardo (efeito "pipelining") nas filas CERF '78 .

Como os pacotes são encaminhados independentemente através
da RECOMDOS, necessitam carregar um cabeçalho com indicação do
endereço de destino final e outras informações, para facilitar
o procedimento de encaminhamento de nodo a nodo, ao longo do
trajeto no interior da rede.

Da mesma forma como na comutação de mensagens, onde o pro

cesso de "store-and-forward" é utilizado, e possível realizar-se conversão de velocidade e código durante o procedimento de comutação.

Verifica-se que, tanto no encaminhamento de mensagens como no de pacotes, há necessidade das unidades de informação (mensagens ou pacotes) levarem algum cabeçalho que contenha o endereço de destino e outros bits de controle. Esses bits acrescentados aos bits de informação útil constituem o que chamamos de "overhead" e que é maior na comutação de pacotes e mínimo na comutação de circuitos KLEINROCK 76 e CERF 75 .

Por todas as vantagens apresentadas pela comutação de pacotes, esta técnica é a mais utilizada na comunicação de dados, sendo adotada nas principais redes públicas de computadores em operação em todo o mundo.

A figura 2.2 procura dar uma idéia dos atrasos nos três tipos de comutação.

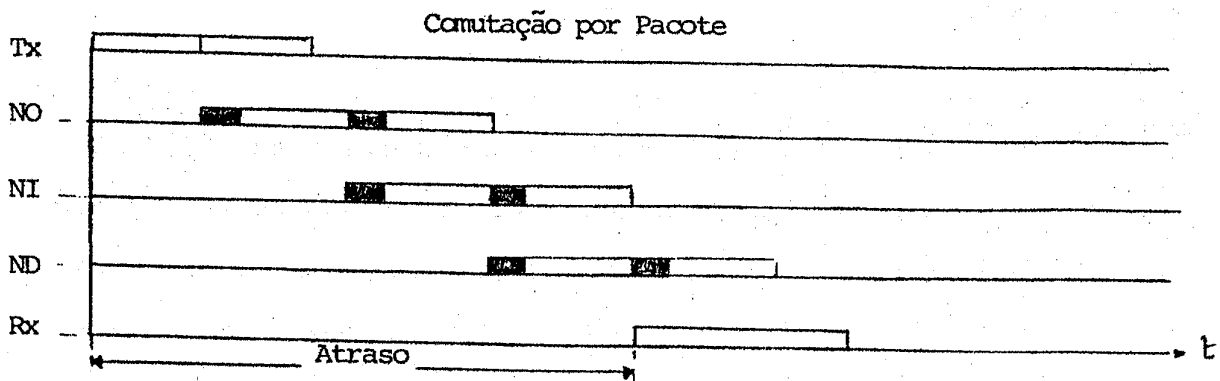
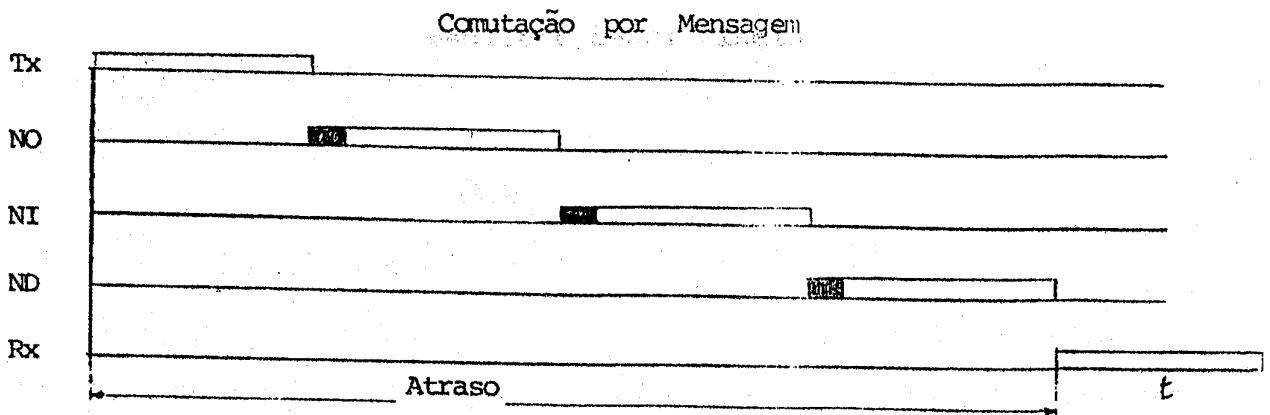
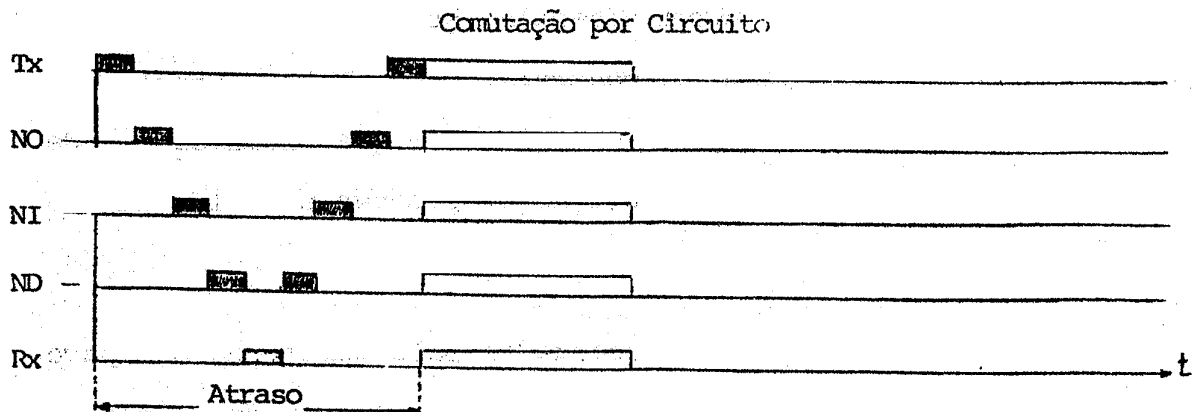
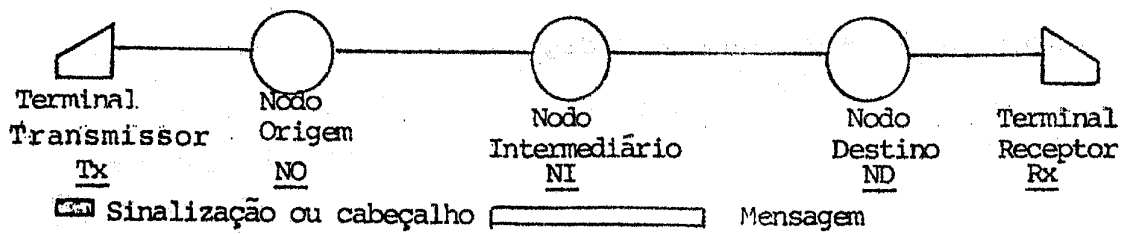


FIGURA 2.2 : Comparação do atraso entre os tipos de comutação.

2.3 - Protocolos e seus mecanismos de controle em uma rede de computadores

2.3.1 - O que é um protocolo

A terminologia - protocolo- entrou no vocabulário da área de computação na época em que a "Advanced Research Projects Agency" do "United State Department of Defense" começou a construir a sua rede de comutação de pacotes que interligava computadores heterogêneos e geograficamente distribuídos - ARPANET. Até essa época, a comunicação entre processos estava limitada a processos localizados dentro do mesmo computador. A comunicação entre processos era realizada através do uso de memória compartilhada, mecanismo de exclusão mútua, interrupções e sinais especiais trocados através a mecanização do Sistema Operacional do computador. Em uma rede de computadores e ambiente e as comunicações não estão restritas a uma só máquina, mas sim a um conjunto de processadores interligados. Verifica-se que este canário é bem mais complexo.

Os processos existentes nessas máquinas precisam trocar informações, fazer processamento e quem vai controlar essa troca de informações entre processos, que estão cooperando para a realização de algum serviço, são os protocolos. Do exposto, podemos concluir:

- 1) os dispositivos (ETDs e terminais) conectados a rede de computadores devem ter inteligência suficiente para que possam operar os procedimentos de interface entre esse dispositivos e a entrada na RECOMDOS;

- 2) um número de procedimentos devem ser definidos, na rede de comunicação de dados nos computadores ligados a ela, para assegurar a execução confiável das tarefas dos usuários.

Esses procedimentos acarretam a troca de informação entre máquinas geograficamente espelhadas e são implementados através de processos que executam nestas máquinas.

Dois desses processos, que estão normalmente separados fisicamente no contexto da rede de computadores, cooperam para implementar o procedimento. Assim, dois processos executando em diferentes localizações geográficas devem, através da troca de mensagens (unidade de transferência de informação), coordenar suas ações e alcançar a sincronização (consistência de parâmetros). Podemos, então dar uma definição para o que chamamos de protocolos em redes de computadores: "um conjunto de regras ou convenções que controlam a interação entre dois ou mais processos".

Protocolos alinham-se entre as maiores inovações da década de setenta, não porque introduzem novas técnicas ou novas aplicações mas pela segurança de seus conceitos e são ferramentas projetadas para controlar a transferência de informação entre sistemas de computadores.

Na RECOMDOS, os canais físicos (enlaces) que foram o meio de comunicação para a transferência de informação tem capacidade limitada e estão sujeitos, como em qualquer meio de comunicação, a ruídos e interferências. Tais limitações impõem restrições na comunicação entre processos geograficamente separados,

daf ser necessário adotar medidas que assegurem a troca de informação confiável, apesar do meio de comunicação não o ser. Isto posto, é evidente a posição de destaque assumida pelos protocolos, assunto onde se insere o presente trabalho.

Aponta-se como sendo a principal característica dos protocolos:

- a habilidade em operar onde a sequência de eventos e o sincronismo podem ser desconhecidos e onde erros de transmissão podem ser esperados.

2.3.2 - O que faz um protocolo

Vamos apresentar um caso prático da vida real, onde tentaremos explicar e apontar o que faz um protocolo, isto é, quais são as suas funções.

Situação:

Dois rádio-amadores: A no Rio de Janeiro e B em São Paulo, que possuem licença para se comunicarem através da frequência 1,75 MHz (High Frequency-faixa 300 Khz a 3 MHz) em transmissão "full-duplex". O cidadão A tem o prefixo PYD7 e o cidadão B tem o prefixo PRK9, o que os identifica univocamente na comunidade dos rádio-amadores. O meio de comunicação utilizado será o das ondas rádio-elétricas, que se propagam a velocidade da luz no espaço compreendido entre A e B, com portadora centrada em 1,75 MHz. Esse meio permite comunicação nos dois sentidos simultaneamente.

É evidente que, no esquema proposto, todas as atividades de controle estão com os cidadãos A e B e que, inclusive, controlam os equipamentos de comunicações (microfone, alto-falante, receptor, transmissor, fonte de alimentação), uma vez que o meio de transmissão não realiza qualquer atividade de controle.

Vamos supor que o cidadão A queira se comunicar com o cidadão B. A primeira coisa a ser feita por A é tentar estabelecer comunicação com B (fase de estabelecimento da conexão). O cidadão A chama PRK9 e se identifica como PYD7 e se PRK9 não estiver com o seu equipamento ligado não redondará a PYD7, embora este possa tentar um número N de vezes convencionado para concluir que PRK9 não "está no ar".

Vamos continuar com a nossa situação, estabelecendo que de 0800hs às 1600hs os dois cidadãos estaram com seus equipamentos ligados e atentos, fazendo porém qualquer outra tarefa. Então, PYD7 chama PRK9 e espera um determinado número de segundos até que receba de volta um "ciente" de PRK9 - isto é devido ao tempo de propagação da onda rádio-elétrica, do tempo de transmissão - indicando que PRK9 aceitou a conexão e então PYD7 entra na fase de transferência de dados.

Façamos uma pausa para identificar alguns elementos dessa conversa:

- 1) os dois cidadãos - PYD7 e PRK9 - possuem um prefixo (endereço) que os identifica sem ambiguidade no contexto dos rádio-amadores: função de endereçamento;
- 2) os dois cidadãos estão compartilhando um enlace radio-

elétrico na frequência de 1,75 MHz e como todo meio de comunicação (fios, micro-ondas, guias de ondas) está sujeito a ruídos (branco e impulsivos) e a interferências - meio de transmissão não confiável;

3) para que haja um início de conversão entre dous usuários terminais, no caso os cidadãos A e B, é necessário que antes se estabeleça uma conexão entre eles, para inicializar parâmetros da conversação: função de sincronização (foi estabelecida uma associação fim-a-fim);

4) foi convencionado que, após um número N de vezes que uma chamada fosse feita e sem que obtivesse resposta, pelo menos um "ciente", é porque o usuário chamado estava desconectado: um estado durante a fase de estabelecimento da conexão;

5) uma mensagem transmitida em uma direção final requer que haja uma mensagem de controle na direção oposta, para atestar a confirmação do recebimento de que o destinatário recebeu a mensagem: função de reconhecimento - ACK.

Continuemos enriquecendo a nossa situação inicial. Após PYD7 fazer a chamada de PRK9 e tendo este confirmado o recebimento através o "ciente", sabendo-se que o meio de transmissão não é confiável, este "ciente" pode ter sido totalmente truncado ou alterado em sua transmissão e com isto PYD7 não toma, conhecimento de que PRK9 está atento e pronto para a fase de transferência de dados.

Passado algum tempo, que leva em consideração a velocidade de transmissão, tempo de propagação e distância entre terminais, PYD7 volta a retransmitir a mensagem inicial, para a qual não recebeu a confirmação, após o que PRK9 repete o "ciente" e PYD7 o recebe.

Nesta passagem podemos identificar:

- 1) a existência de um processo temperizador, que se após decorrido um tempo t o transmissor não tiver recebido a confirmação de recebimento do receptor, uma ação deve ser tomada pelo transmissor. Devido a falta do "ciente" dado por PRK9 a PYD7, após o tempo t , PYD7 retransmite a mensagem original para a qual estava aguardando o reconhecimento: função e retransmissão
- 2) sempre que PYD7 transmite algo para PRK9 e vice-versa, a mensagem é precedida pelo endereço de destino: função de roteamento ou encaminhamento. Aqui esta função é obscura porque a ligação é ponto-a-ponto. Esta função seria melhor vista num sistema com centros de retransmissão ou repetidores.

Vamos introduzir mais sofisticacões no esquema onde supõem-se que PYD7 fale somente inglês, mas leia e entenda português e que PRK9 fale somente português, mas leia e entenda inglês. Então, durante a fase de transferência de informação, PYD7 fala em inglês e PRK9 fala em português. Aqui identificamos nova propriedade:

- 1) o meio de transmissão - enlace rádio-elétrico - é transparente ao tipo de código - inglês ou português - que ele transporta entre suas extremidades conectadas, no caso como os dispositivos terminais tem inteligência, a conversão de código é possível: função de conversão de código.

Em seguida, PYD7 envia a PRK9 uma mensagem que foi truncada na transmissão. Quando PRK9 a recebe e tenta interpretar, descobre que ela está errada, isto é, não tem sentido, então uma solução é ou PRK9 pede a PYD7 que retransmita a sua última mensagem ou não envia o "ciente", esperando que, pela temporização em PYD7, a mensagem seja novamente transmitida, o que corresponde a:

- 1) detecção de erro com reconhecimento negativo - NAK - ou recuperação pela retransmissão efetuada pelo temporizador: função reconhecimento e retransmissão.

Outra vez PYD7 envia a PRK9 uma sucessão de mensagens numeradas e que constituem as questões de uma prova: 1ª questão é..., 2ª questão é..., 3ª questão é..., etc. Há um acordo entre as partes que até 5 questões podem ser transmitidas sem que PRK9 envie a confirmação do reconhecimento, o reconhecimento agora é feito por grupos. Se PYD7 envia as cinco questões e não recebe "ciente" algum, ele para de transmitir. Na transmissão da 1ª questão PYD7 já liga o temporizador. Nesta suposição, PRK9 recebeu corretas as questões 1, 2, 3, e 5, podendo a 4ª e por sua vez, com as questões devem ser recebidas em seqüência, a mensagem correspondente a 5ª questão é considerada

fora de seqüência e é descartada. PYD7 fica esperando receber algum "ciente", quando PRK9 responde com "ciente 4" isto é, "recebi corretas as mensagens 1,2 e 3 estou esperando a 4^a Em PYD7 ele para o temporizador, retransmite as mensagens 4 e 5 e transmite as novas mensagens 6,7 e 8, uma vez que PYD7 pode transmitir até 5 mensagens de cada vez, que ficam pendentes a espera do "ciente". O temporizador é normalmente disparado a partir da mensagem 4.

Neste passo, podemos identificar várias funções:

- 1) Cada questão -mensagem - é prefixada com seu número: 1^a questão, 2^a questão e assim sucessivamente, permitindo ao receptor que identifique a perda de seqüência: função de numeração e seqüenciação;
- 2) o usuário receptor não precisa dar ciente para cada mensagem recebida corretamente, ele simplesmente envia o ACK por grupos de mensagens corretas e o transmissor, PYD7, se encarrega de retransmitir a partir daquela para a qual não recebeu a confirmação de recebimento de PRK9. Com tal procedimento diminui o tempo total de transmissão, onde várias mensagens podem ser transmitidas (mecanismo conhecido como janela), permitindo uma melhor utilização do enlace.

Vamos introduzir mais algumas restrições em nossa situação. O receptor PRK9 dispõe de um bloco onde ele toma nota das questões, mas enquanto toma nota a taxa com a qual escreve é menor que a taxa de chegada das mensagens, então PRK9 se vê na obrigação de avisar ao transmissor PYD7 de alguma maneira. Iden

tificamos mais outra função:

- 1) PRK9 poderia enviar uma mensagem acusando o recebimento das 3 primeiras e que a próxima a ser recebida seria a 4a, mas que ele, PRK9, está ocupado. Com tal procedimento, o PYD7 sabe que terá que retransmitir as mensagens 4 e 5 mas não envia mais nenhuma mensagem. A esta função, talvez a mais importante, é que chamamos de controle de fluxo em que o receptor regula a taxa de transmissão do transmissor.

Conclusões sobre as funções do protocolo convencionado entre PYD7 e PRK9.

Podemos tentar, em outros sistemas do mundo real, identificar outras funções como no sistema de correio em que temos a função de encaminhamento entre os centros de coleta e distribuição, mas a narrativa se tornaria por demais extensa e talvez até enfadonha. O objetivo aqui é mostrar que protocolos existem em qualquer ramo de atividade, onde haja necessidade de se estabelecer convenções entre as partes que interagem.

Vamos terminar esta subseção com algumas conclusões:

- 1) protocolo descreve os procedimentos e ações que devem ser tomadas na troca de informação entre processos (tarefas sendo executadas em computadores), não somente em um ambiente de redes de computadores mas também em sistemas de multiprocessamento para controlar as interações de processos paralelos (concorrência), em aplica

- ções de tempo real para controlar um número de dispositivos diferentes e em outros sistemas onde não há um relacionamento fixo de tempo entre a ocorrência de um evento e a ação implicada por esse evento;
- 2) as funções exatas, executadas pelo protocolo, derivam das tarefas que eles têm que realizar e do caráter ambiental em que eles devem executar as tarefas;
 - 3) as funções, por sua vez, definem a parte semântica do protocolo e a implementação dela deve observar uma estrutura lógica ou sintática apropriada e que no conjunto dão a descrição funcional de um protocolo.

Resumidamente, são as seguintes as reações que os protocolos devem executar de modo a alcançar seus objetivos: confirmação de recebimento (ACK), retransmissão, convenção de código, controle de erro, sincronização, estabelecimento e término de ligações, roteamento (encaminhamento), controle de associação entre processos, transparência e controle de fluxo (maiores detalhes em CERF 78 e POUZIN 78).

2.3.3 - Hierarquias de protocolos

Os protocolos em uma RECOMDOS são projetados para executar um grande número de funções como citamos na sub-seção 2.3.2. Para bem desempenhar suas funções eles são responsáveis por:

- 1) estabelecer convenções para a comunicação como: conjunto de códigos aceitáveis, formatos e mensagens de con

trole;

- 2) criar canais virtuais de comunicação confiáveis através de controle de erro e fluxo, sincronização, seqüenciação de mensagem, endereçamento de computadores ligados a RECOMDOS, estabelecimento e término de ligações;
- 3) estabelecer elementos padrões de dados que poderão ser transferidos, como: caracteres, mensagens, arquivos, etc.

Algumas características apresentadas pelas funções levaram à introdução, na arquitetura das redes, de conceito de níveis de protocolos.

Dentre essas características podemos destacar:

- 1) algumas dessas funções, para ser executadas, precisam do auxílio ou da execução de outras funções dentro do mesmo nodo de comutação ou ETD. Assim, na transferência de dados de um ponto local para outro remoto, devemos compatibilizar as estruturas de dados utilizados nos dois pontos que estão interagindo;
- 2) algumas dessas funções são similares, como por exemplo o controle de erro. Este, por sua vez, depende das características do meio de comunicação e que é usado por vários processos, todos requerendo o mesmo grau de confiabilidade. Assim, não faz sentido implementar o controle de erro em cada e todo o processo mas definir esse controle em um nível independente, servindo a vários

processos e convertendo o meio de comunicação não confiável em uma facilidade de comunicação confiável.

Assim, os protocolos são divididos em níveis ou camadas, obedecendo a uma estrutura hierárquica, onde cada nível implementa um conjunto de funções para oferecer um serviço para o nível acima. Os níveis são independentes e se comunicam através das interfaces e se desconhecem mutuamente. com esta estrutura de camadas alcança-se uma solução flexível, eficiente, fãcil de implementar e que possibilitará o entendimento do sistema no seu todo.

Através da figura 2.3, ilustramos esta composição de níveis, onde a camada n provê serviços para a camada n+1 que é a usuária da camada n. Por sua vez, a camada n para prestar serviços utiliza-se das funções da camada n-1 para comunicar-se com as outras entidades da camada n da rede (processo remoto no mesmo nível). Desse modo, os protocolos são regras de comunicação entre entidades do mesmo nível. A estrutura dos níveis acima e abaixo do nível n não é conhecida pela própria camada n.

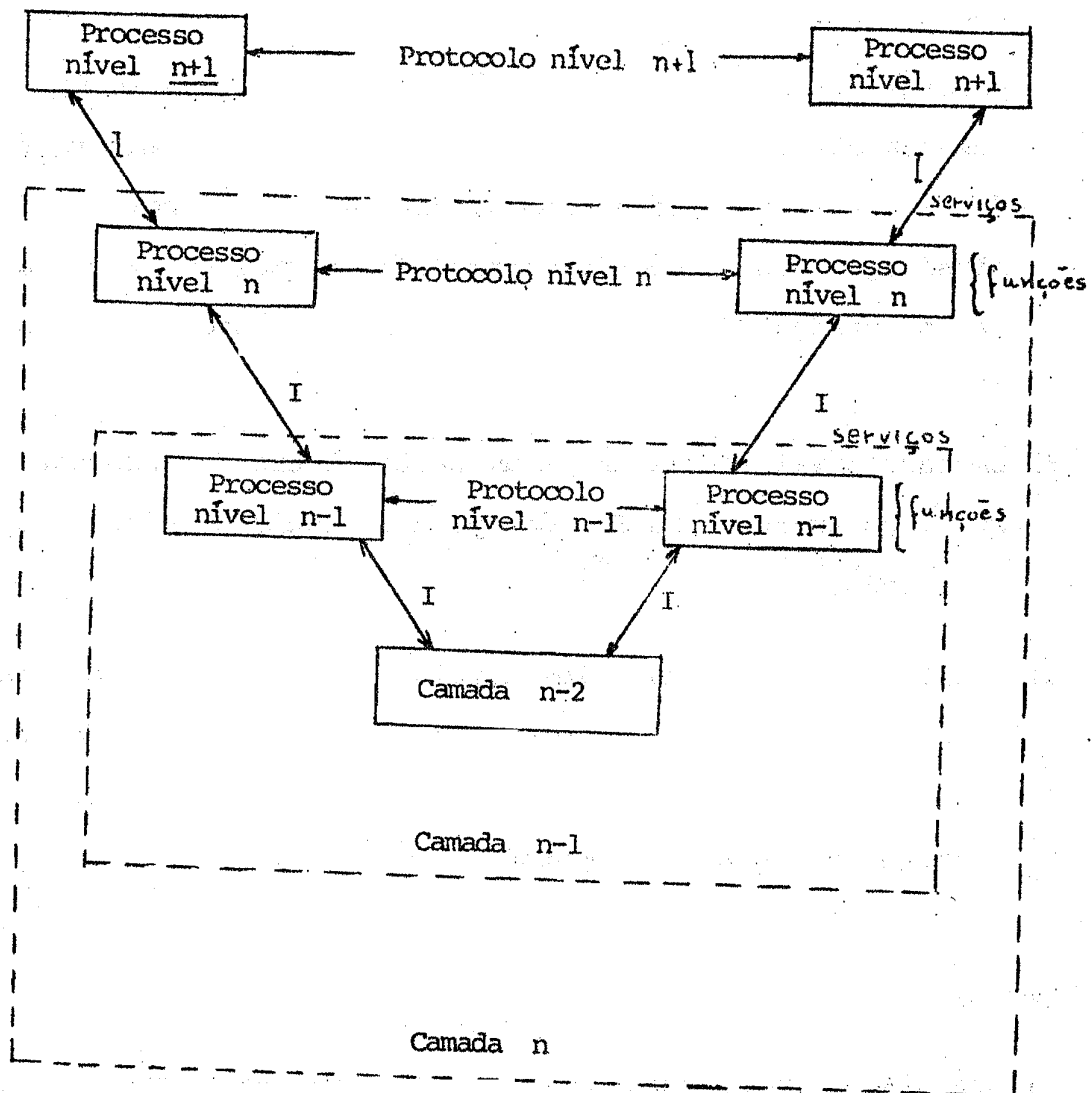
Portanto, há necessidade de se prover um caminho seguro para a comunicação entre dois níveis adjacentes a assim quando um protocolo é empregado entre dois níveis adjacentes ele é chamado de interface.

Como vantagens dessa estrutura de níveis ou camadas, podemos citar:

- 1) provê uma clara separação de funções e responsabilida

LOCAL

REMOTO



A camada inferior serve de meio de interação ou de comunicação para os processos que implementam a camada superior

I - interface

Dois processos, local e remoto, em um mesmo nível, executando as mesmas funções, implementam um protocolo.

FIGURA 2.3: Estrutura de níveis ou camadas de protocolos

des, facilitando o projeto e a implementação o que caracteriza o conceito de modularidade no controle de redes de computadores;

- 2) permite facilmente modificações devido a evolução de novos conceitos e premissas, possibilitando a alteração de um nível (ou camada) sem afetar os outros, pois cada nível age como um módulo separado em termos de implementação, traduzindo-se na meta de flexibilidade a ser alcançada;
- 3) em cada nível localizam-se um certo número de processos que irão executar as funções para as quais o nível foi projetado;
- 4) a interação entre usuários terminais é o somatório das interações de todos os processos existentes nos diversos níveis da hierarquia de protocolos que controlam a operação da rede de computadores.

Uma hierarquia típica consiste de:

- 1) um número de protocolos dentro da RECOMDOS tais como: nodo-nodo para as funções básicas de transmissão e fim-a-fim para tratar com a total integridade de transmissão e controle de fluxo;
- 2) um número de protocolos entre usuários e a RECOMDOS conhecidos como protocolos de acesso à rede;
- 3) um número de protocolos entre usuário/usuário, incluindo o nível de protocolo de transporte bem como os proto

colos de aplicações.

Nessa hierarquia, é comum chamarmos de protocolos de baixo nível aos protocolos:

- 1) existentes no interior da RECOMDOS;
- 2) de acesso à rede.

O enfoque dado ao estudo de protocolos em vários níveis, permite que protocolos especiais sejam definidos em mais alto nível: protocolo de transparência de arquivo, protocolo de terminal virtual, que são responsáveis por tarefas específicas POUZIN 78 e MOLI 78 .

Podemos citar que os esforços realizados pelas organizações internacionais e nacionais de padronização, na busca da padronização de protocolos, têm como meta a de prover flexibilidade de no que reduz: o tempo de desenvolvimento de sistemas, o esforço de manutenção e permite adaptações de evoluções quando o correm alterações de requisitos.

Podemos concluir esta subseção destacando que os protocolos formam a essência das comunicações entre computadores, afetando o desempenho, controlando as comunicações, além de facilitar a interligação de computadores de fabricantes diferentes e de projetos diversificados e ainda possibilitar a interconexão entre redes de diferentes países como a interligação da TELENET nos EUA e DATAPAC no Canadá ROBERTS 78 e GROSSMAN 79

2.3.4 - Especificação de protocolos

Observamos que protocolo executa suas funções mediante a troca de mensagens entre processos parceiros que cooperam para sua implementação. Daí surgir a necessidade de se prover para cada protocolo a sua definição formal ou especificação que será composta de dois elementos: a sintaxe e a semântica.

Por sintaxe entende-se o formato e o significado dos campos das mensagens do protocolo e por semântica o conjunto de ações a serem tomadas no evento do recebimento de uma mensagem, ou seja, um conjunto de regras de procedimentos que determinam as ações dos processos que cooperam na implementação do protocolo.

A semântica de um protocolo pode ser descrita através:

- 1) diagrama de estados;
- 2) linguagem de alto-nível.

A descrição de uma implementação de protocolo, usando diagrama de transição de estados, torna-se difícil no caso de protocolos complicados com um grande número de estados.

Uma alternativa para a descrição de protocolo é o uso de uma linguagem de alto nível. Tal método está menos sujeito a erros bem como tem a vantagem de descrever as funções de um protocolo no ambiente em que serão implementadas, evitando, sobre maneira, discrepâncias entre a descrição e a implementação

Os métodos acima provêem uma valiosa ferramenta para uma definição mais precisa da semântica do protocolo do que se usássemos a linguagem natural, simplesmente.

Outros formalismos têm sido usados para a especificação de protocolos como:

- 1) fluxogramas estruturados.
- 2) matrizes de transição de estados
- 3) Petri Nets.

A finalidade fundamental de uma especificação formalizada é a de que seja útil para permitir um melhor entendimento da operação e validação do protocolo assim como facilitar uma implementação correta. É evidente que a especificação formal deve ser complementada por um texto informal, em linguagem natural, provendo as necessárias explicações dos fundamentos e bases do protocolo, da operação dos procedimentos e do escopo de sua aplicação BOCHMANN 77 e SUNSHINE 78 .

Quando a definição precisa de um protocolo, estiver pronta, há necessidade de testá-la quanto a correção STENNING 76 . Métodos tem sido desenvolvidos para técnicas formais de provas na definição de protocolos, da mesma forma que existem técnicas para a prova formal de correção de programas. Todavia, essas técnicas têm-se revelado difíceis e complexas de se aplicar e as provas são obtidas somente nos casos mais simples. Na reunião da "Third International Computer Communications Conference" já se antecipava a necessidade de uma Engenharia de Protocolos para elaboração de metodologias de testes de correção e

validação de protocolos MANNING 78 b

2.3.5 - Interface e significado das mensagens

Verificamos que processos trocam mensagens para implementar protocolos e que entre protocolos de níveis adjacentes são trocadas informações de controle e dados. Essas informações são chamadas de comandos de interface ou primitivas que definem a interface entre o nível n e os níveis acima (n+1) e abaixo (n-1).

Assim, entre níveis n e n+1 existe um protocolo de interface ou simplesmente interface e que trocam mensagens de dois tipos a saber:

- 1) Comandos: que consiste de mensagens entre os dois níveis para
 - a) assegurar a correta operação da interface;
 - b) para solicitar uma tarefa específica a ser executada pelo nível mais abaixo; e
 - c) para informar o progresso ou o término de uma tarefa para o nível mais acima.

- 2) Dados: consiste dos dados que passam pela interface e que constituem-se de:
 - a) mensagem de controle associadas com o protocolo e destinadas ao processo do nível n remoto;
 - b) dados a serem entregues para o nível n+1 remoto.

Com essas definições, podemos ver que um processo em um nível de protocolo possui 3 interfaces: duas físicas e uma lógica:

interface física: com o nível acima n+1;
com o nível abaixo n-1;

interface lógica: com o processo remoto do mesmo nível n.

Significado das mensagens

Deve-se ter em mente que, sejam quais forem as funções do protocolo, o conteúdo das mensagens, enviadas por um processo de nível n+1 ao nível abaixo n para serem entregues ao processo remoto associado ao nível n+1, são transparentes para os níveis inferiores (ver figura 2.4).

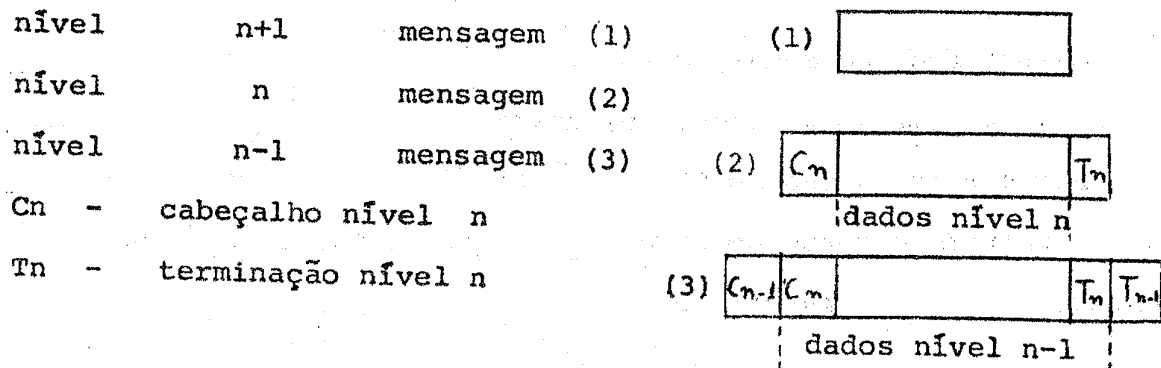


FIGURA 2.4: Composição das mensagens entre níveis de protocolos

Vemos, então, que quando uma mensagem em um nível é entregue ao nível abaixo, ela vai constituir a informação do campo de dados do formato da mensagem desse nível inferior.

O cabeçalho acrescentado em cada nível está associado com

a operação do protocolo desse nível e pode, por exemplo, incluir parâmetros, entre outros, para:

- 1) numeração de seqüência da mensagem;
- 2) controle de fluxo;
- 3) identificação da origem da mensagem.

A terminação, que pode ser acrescida ou não, pode incluir campo para verificação de erros de transmissão. Quando a mensagem avança em direção dos níveis mais baixos, até o nível de linha, mais cabeçalhos e/ou terminações são acrescentados.

Por outro lado, quando a mensagem começa a subir de nível, do mais baixo até o mais alto, na extremidade remota, os cabeçalhos e terminações são retirados, processados e o campo de dados é passado para o nível acima.

Sempre que uma mensagem em um nível n é passada para o nível n-1, um comando é acrescido, nessa interface, a essa mensagem. Por sua vez, esse comando é retirado e interpretado no lado da interface junto ao nível n-1, isto é, sua atuação só é de conhecimento nessa interface.

2.4 - Redes públicas e padronização

É sabido que as atividades de comunicação (Correio, Telefonia, Telegrafia, etc) são de monopólio do Estado e para cuja prestação de serviços, contratos são realizados com empresas denominadas de concessionárias de serviços públicos. Devido a esse comportamento monopolista, nas mãos do Estado ou de conces

sionárias autorizadas, ele foi, inicialmente, um elemento estimulador para que as redes privadas fossem desenvolvidas ao invés de incentivar um mercado de redes públicas de comunicação de dados, tendo em vista que essas concessionárias reagiram contra a nova técnica de comutação de pacotes. Como razão principal deste enfoque podemos apresentar os elevados investimentos públicos, feitos até então, na área de comutação de circuitos, uma vez que tais investimentos em bens de capital não poderiam ser transformados da noite para o dia ROBERTS 78 e CHORAFAS 80 . Havia, também, o fantasma do risco comercial envolvido sempre que uma nova tecnologia fosse introduzidas em substituição a uma já consagrada pelo costume.

No entanto, a ampla atividade proporcionada pelas redes privadas, no início da década dos anos setenta, encorajou algumas das concessionárias dos serviços de telecomunicações a orientarem seus planos para redes de comutação de pacotes e foi assim que, a partir de 1973, surgiram os primeiros planos de redes públicas para comunicação de dados.

Dentre os fatores que motivaram essa nova atividade das concessionárias em redes públicas, podemos destacar KLEINROCK 76, MOLI 78, CERF 78 :

- 1) o grande número de redes privadas com pleno êxito em operação, demonstrando a exequibilidade dessa nova atividade;
- 2) redes públicas, pela fácil oportunidade de obtenção de créditos financeiros e o lucro detido da qualidade dos serviços prestados, podem expandir-se atingindo inúmeras

ros locais, atuando pois, como elemento acelerador de desenvolvimento;

- 3) economias de escala, pelo fato do desconto oferecido por um grande sistema de compartilhamento de recursos, como ocorre com os sistemas de serviços públicos. No caso, em particular, das redes públicas temos: linhas de maiores velocidades, utilização de linhas reservas, permitindo assim maior confiabilidade das redes de comunicação de dados;
- 4) o atendimento a pequenos usuários que, ou não teriam meios de construir a sua própria rede privada ou não necessitariam dela porque a demanda por serviços seria pequena;
- 5) possibilidade de interligação de redes de computadores de diferentes países, permitindo maior facilidade no intercâmbio de dados e serviços, desde que padrões comuns tenham sido estabelecidos;
- 6) padronização de interfaces e protocolos, o que torna possível alcançar-se uma independência em relação a fabricantes, dando assim um poder de barganha aos proprietários das redes;
- 7) enfim, um novo campo de mercado para as concessionárias.

Dentre os fatores desfavoráveis a construção dessas novas redes públicas podemos destacar ROBERTS 78 :

- 1) alto custo de investimento inicial, com retorno e lu

cro somente após alguns anos de operação e desde que os benefícios, a serem oferecidos, sejam satisfatórios para que compense esse investimento;

- 2) essas redes devem ser grandes, desde o início, para a apresentar o fator desconto proporcionando economias de escala;
- 3) falta de padronização em alguns pontos e que leva as concessionárias a uma atitude de cautela;
- 4) o necessário levantamento de todas as possibilidades de utilização da rede pública pelos usuários, pois a experiência tem demonstrado que após a entrada da rede em operação, o comportamento do usuário é diferente do previsto inicialmente MONTEIRO 79 .

Em 1975, entrou em fase operacional a primeira rede pública de comutação de pacotes: TELENET nos EUA. Em 1977, surgiram a DATAPAC no Canadá e a EPSS na Inglaterra. Em 1978, entrava em operação na França a TRANSPAC, e a partir desse ano outras redes públicas surgiram no mercado oferecendo serviços: a DDX e KDD no Japão; a EURONET na Europa, uma rede semi-pública dos países do Mercado Comum Europeu.

Hoje, alguns outros países já contam com redes públicas de comutação de pacotes quer na fase de planejamento, construção ou em operação (Alemanha, Bélgica, Espanha) RYBCZYNSKI 80 .

Durante o biênio de 74-75, com várias redes públicas em fase de estudo e construção, houve um grande incentivo para que

as nações, através de suas concessionárias de serviço de telecomunicações, procurassem estabelecer um acordo sobre um padrão de interface do usuário com a RECOMDOS, de modo que os computadores de qualquer origem, pudessem ter acesso à rede, necessitando de mínimas modificações.

Diferente de outros campos de atividade que requerem padronização e onde não existem muitos incentivos para que as partes cheguem a um consenso, mútuo, as concessionárias chegaram a conclusão de que, elas, só poderiam auferir lucros, com as facilidades oferecidas, se adotassem padrões e possibilitassem interligações fáceis do usuário com a rede bem como a interligação de redes entre países. Daí a importância assumida pela padronização.

Existem basicamente dois tipos de interface entre um ETD e uma rede comutada por pacotes: circuito virtual e datagrama. A padronização adotada pelo CCITT (Comite Consultivo Internacional para Telefonia e Telegrafia), em 1976, para o acesso de terminais inteligentes operando em modo pacote, está baseada no conceito de circuito virtual. Esta padronização é conhecida como Recomendação x. 25 do CCITT. A seguir explicaremos em maiores detalhes a diferença entre datagrama e circuito virtual.

2.5 - Mecanismos de transporte de pacotes nas redes de computadores e em particular na rede de comunicação de dados

2.5.1 - Datagrama - DG

As redes experimentais de comutação de pacotes se tor-

naram operacionais ao final da década de sessenta e início da década de setenta, empregavam o mecanismo de transporte tipo datagrama. Nessa modalidade, cada pacote faz o seu caminho, a través da rede de comunicação independentemente e isolado dos demais. O endereço do destinatário final, carregado por cada pacote em sua jornada, é usado pelos nodos de comutação inter mediários, para a escolha do próximo enlace em direção ao desti no, de acordo com algum algoritmo de encaminhamento POUZIN 78 e YOSHIDA 78

Entende-se, pois, por datagrama um simples pacote e o serviço de datagrama, oferecido pelas redes pioneiras, o simples transporte de um pacote DAVIES 79 .

Com este conceito, se vários pacotes forem encaminhados in dependentemente pela rede de comunicação e com um mesmo endere ço de destino, é bem possível que, pelo encaminhamento dentro da rede, esses pacotes cheguem fora da seqüência RYBCZYNSKI 77 .

Sabemos que as comunicações interativas ocorrem pela tro ca alternada de um único pacote ("single - packet - message") MANNING 78a e YOSHIDA 78 . Nessa esquema, se cada extre midade espera até receber um pacote da outra, antes de respon der, não haverá perda de seqüência. O problema de seqüenciação de pacotes surge quando uma extremidade transmite mais do que um pacote, sem necessitar uma resposta para cada pacote envia do. É necessário, então, um procedimento para restaurar a cor reta seqüência desses pacotes na extremidade de destino.

Se o usuário estiver operando um protocolo para remontagem

ou reordenação dos pacotes, recompondo a mensagem original, então, esse protocolo deverá levar em conta a numeração serial desses pacotes que constituem a mensagem e, desse modo, a remontagem será executada pelo próprio usuário da rede.

Muitas das redes privadas iniciais (ARPA, CYCLADES, entre outras) operavam sob o princípio de que a seqüência dos pacotes da mensagem multi-pacotes devesse ser manipulada pelo usuário, como parte de um protocolo de remontagem que eles deveriam estabelecer ZIMMERMANN 75 .

Embora o mecanismo básico de transporte fosse o mesmo em todas essas redes, havia uma substancial diferença na interface que elas ofereciam ao ETD. Por exemplo, na ARPANET o nodo de origem é quem dividia a mensagem de no máximo 8064 bits em 8 pacotes de 1008 bits cada e o nodo destino remontava os pacotes dessa mensagem. Para mensagens maiores que 8064 bits, o protocolo ETD-origem/ETD-destino é quem fazia a divisão das mensagens, onde uma mensagem na interface ETD/NODO tinha um comprimento máximo definido (8064 bits), bem como a remontagem das mensagens CERF 75 .

Quando foi proposta a construção de redes públicas, os futuros usuários manifestaram a preferência por um sistema em que, mesmo usando a comutação de pacotes, a seqüência dos pacotes entregues pela rede ao usuário destinatário fosse preservada. Dessa discussão nasceu o conceito de circuito virtual, que já tinha sido apresentado no relatório da RAN CORPORATION, nos EUA no período de 1962 a 1964, isto é, antes do aparecimento da ARPANET ROBERTS 78 e DAVIES 79 .

Portanto, quando os projetistas das redes públicas começaram a prever o risco comercial envolvido com a nova atividade, foram procurar saber com os possíveis clientes quais as suas reais necessidades e concluíram que a manutenção da seqüência de pacotes era um fator importante na qualidade do serviço a ser prestado por essas novas redes.

Assim, o novo serviço de transporte de pacotes requeria um modo de operação que, apesar de ter sido demonstrado viável na rede francesa RCP, ainda não era muito difundido: a chamada virtual ou "virtual call"

Com a contínua evolução da comutação de pacotes, várias controvérsias tem surgido, mesmo com a adoção universal da recomendação X.25 do CCITT, que implementa o conceito de circuito virtual na interface ETD/RECOMDOS, e atualmente usuários tem solicitado um padrão para datagrama RYBCZYNSKI 80, MANNING 78 a e ROBERTS 78 .

É previsto que o uso das futuras redes será a simples transação, empregando não mais que um pacote de informação em cada direção da interação e tais serviços, por exemplo:

- 1 consulta/resposta a banco de dados;
- 2 validação de crédito;
- 3 transferência eletrônica de fundos.

E para tal troca de informação, torna-se duvidoso se o "overhead", envolvendo a fase de estabelecimento do circuito virtual, será compensado por um serviço de melhor qualidade se usada a chamada virtual ROBERTS 78 e YOSHIDA 79 . É evidente

que se o volume de tráfego tipo transação em relação ao tráfego total da rede justificar o serviço de datagrama, esta será a modalidade empregada DAVIES 79 . Na subseção 2.5.3 serão apontadas algumas argumentações dos serviços DATAGRAMA X CIRCUITO VIRTUAL para maiores detalhes ROBERTS 78, MOLI 78 e YOSHIDA 79 .

2.5.2 - Circuito virtual - CV

Como já foi por demais explorada, na sua forma mais simples, a comutação de pacotes provê o transporte de pacotes individuais de sua origem até seu destino, isoladamente.

Já vimos, na subseção anterior, que perdas na seqüência dos pacotes podem ocorrer (pacotes sendo recebidos fora de ordem) e assim um procedimento fim-a-fim, na rede de comunicação, deve cuidar desse problema.

O conceito de circuito virtual tem a característica de parecer ao usuário como um circuito real de comunicação de dados, em que a seqüência de pacotes é mantida. Todavia, uma chamada virtual, modo como se exercita o circuito virtual, necessita, além da fase de transferência de dados, da fase de estabelecimento e da fase de liberação do circuito virtual, isto é, um procedimento muito similar ao que existe no estabelecimento de uma chamada telefônica.

Para cumprir a meta de manter a seqüência dos pacotes, cada circuito virtual necessita de um procedimento interno ou de uma estrutura que mantenha os pacotes em ordem.

Conceitualmente, a maneira mais simples de estabelecer um circuito virtual é construindo-se uma rede que ofereça um simples serviço de transporte de pacotes (datagrama) e acrescentando-se a seqüênciação de pacotes como uma característica extra, mediante um procedimento fim-a-fim.

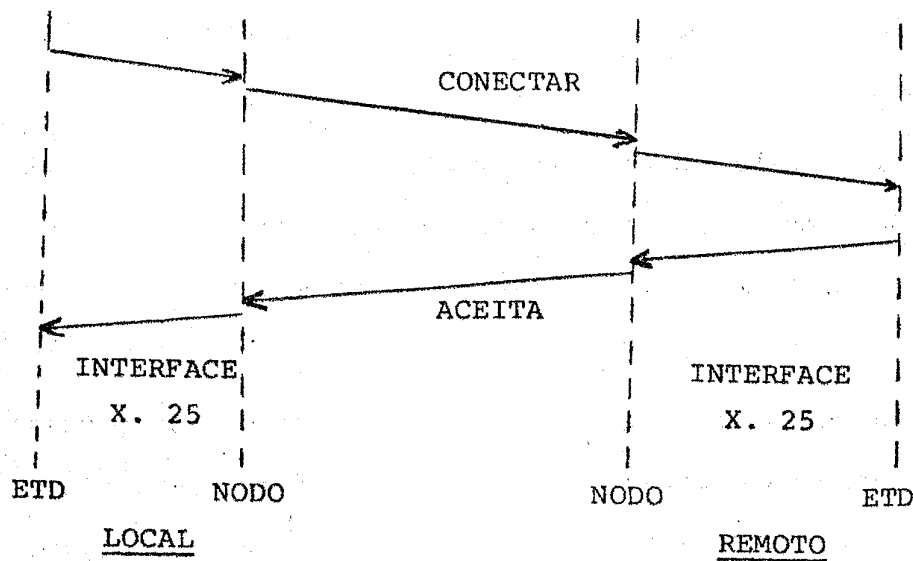
O modo como o circuito virtual é estabelecido por uma chamada virtual varia para as diferentes redes. Existem, basicamente, dois métodos para implementação de um circuito virtual:

1º Método

A responsabilidade pela existência do circuito virtual na RECOMDOS é de cada par de nodos de comutação origem/destino. No interior da rede deve-se distinguir dois tipos de pacotes em trânsito:

- 1) pacotes de dados de usuário entre os nodos terminais;
- 2) pacotes especiais para a supervisão do circuito virtual tais como: estabelecimento, controle, liberação, entre esses nodos: origem e destino.

O procedimento tem início quando o nodo-origem recebe do ETD a ele conectado um pacote de pedido de estabelecimento de circuito virtual (figura 2.5) e que especifica o ETD-destino. Este pacote é então encaminhado pela rede (tabelas de encaminhamento existentes em cada nodo) até chegar ao nodo-destino que está ligado ao ETD-destino. No nodo-destino este pacote é entregue ao ETD-destino. Se o ETD-destino estiver em condições de aceitar a chamada, ele responde com um pacote que confirma, para o nodo-destino a ele conectado, a aceitação da conexão. Este pacote é então, passado para a rede que encaminha-o até o nodo - origem,



Somente os nodos : origem e destino tomam conhecimento do CV. O encaminhamento dentro da RECOMDOS é totalmente adaptativo.

FIGURA 2.5: Circuito virtual - estabelecimento.
1º método

de onde partiu o pedido inicial de estabelecimento, que por sua vez encaminhou-o ao ETD-origem para maiores detalhes DAVIES 79 e RYBCZYNSKI 80 .

Verifica-se que, em toda esta troca de pacotes para o estabelecimento do circuito virtual, o monitoramento é feito pelos dois nodos nas extremidades desse circuito. E serão esses dois nodos que estabelecerão:

- 1) mapeamento do número dos canais lógicos (local a cada extremidade);
- 2) alocação de "buffers" no nodo-origem e nodo-destino;
- 3) número de seqüência para os pacotes.

Esse número de canal lógico, local a cada extremidade ETD/NODO identifica ETD-origem/nodo-origem e ETD-destino/nodo-destino, pois somente esses nodos de comutação possuem, dentro da rede de comunicação, um registro da existência desse circuito virtual.

A fase principal, qual seja a da transferência de pacotes de informação ou de dados de usuários, começa com a troca de pacotes de informação mantidos em seqüência pelo mecanismo do protocolo que implementa o circuito virtual na rede de comunicação. Assim, o nodo-destino entregará ao ETD-destino os pacotes na mesma seqüência em que eles foram entregues ao nodo-origem pelo ETD-origem.

A final da conversação (interação), um pacote de solicitação de término do CV, partindo de um dos nodos, percorre a rede de comunicação e após ter sido confirmado o circuito virtual é terminado, liberando, inclusive: o número do canal lógico utili

zado, números de seqüência e "buffers".

A implementação desse método tem a vantagem de deixar a rede básica de comunicação muito simples e permite que o encaminhamento adaptativo seja utilizado ao máximo (exemplo é a DATA PAC). Nesta implementação, o protocolo fim-a-fim, dentro da rede de comunicação, que gerência o circuito virtual, será o responsável em fazer a reseqüenciação dos pacotes, isto é, fazer a ordenação dos pacotes que compõem a mensagem do usuário da rede

MANNING 78 a .

2º Método

A rede de comunicação de pacotes não somente transporta os pacotes mas, também, mantém um registro do caminho do pacote em cada nodo intermediário até o nodo-destino. Para cada chamada virtual um caminho fixo fim-a-fim entre nodo-origem ao nodo-destino é estabelecido no interior da rede de comunicação e o registro desse caminho é mantido em tabelas, em cada nodo intermediário, de modo que pacotes que circulam por esse circuito virtual fluem sempre pelo mesmo caminho fixo, uma vez estabelecido.

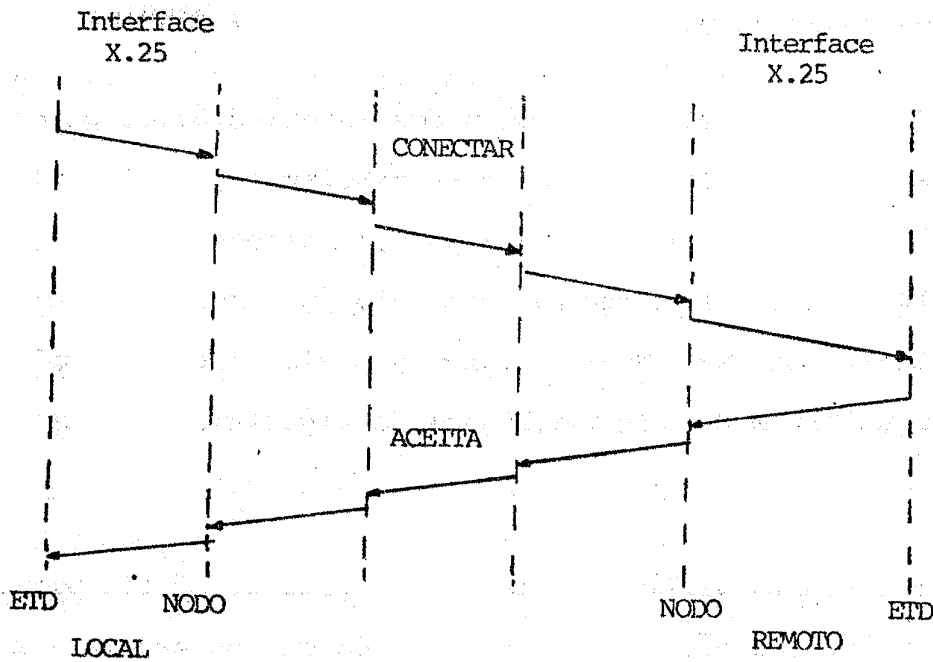
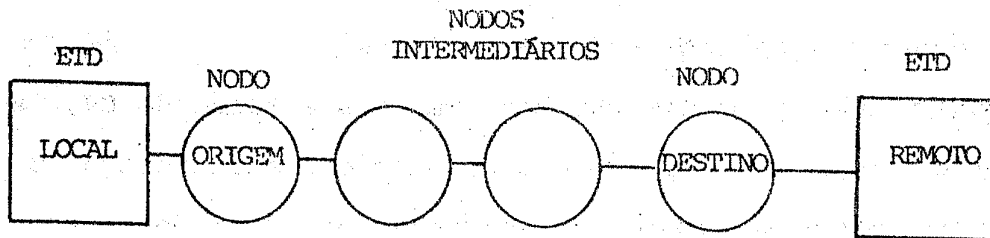
Neste método, o caminho virtual torna-se um verdadeiro caminho físico através da rede, mas os enlaces individuais, entre cada par de nodos de comutação, mantem os mesmos espectos do multiplex por demanda (multiplex por divisão de tempo estatístico), isto é, pacotes de diferentes circuitos virtuais estão sendo intercalados no mesmo circuito físico.

Este método é utilizado na rede TRANSPAC e TYMNET II. Nesta implementação, um pacote de pedido de estabelecimento de cir

cuito virtual é encaminhado através da RECOMDOS como se fosse um simples datagrama, porém, ele vai descobrindo o caminho até o nodo-destino e em cada nodo visitado um registro desse caminho é registrado. O pacote que confirma a aceitação do CV, em seu retorno, segue o mesmo caminho do pacote que solicitou o CV bem como todos os pacotes subseqüentes transferidos nesse CV (figura 2.6). É como se existisse um caminho "full-duplex" fixo entre os nodos origem e destino MANNING 78 e MANNING 78b .

Se ocorrer uma falha nos nodos intermediários ou nas linhas, ao longo desse caminho pré-estabelecido, o circuito virtual será liberado. Este problema pode, facilmente, ser recuperado no 1º método pelo próprio protocolo que implementa o circuito virtual, uma vez que os pacotes são vistos como simples datagrama e utilizam da adaptabilidade do algoritmo de encaminhamento.

O circuito virtual implementado pelo 2º método possui como vantagem, em relação ao 1º método, a de que os pacotes, na fase de transferência de informação, não necessitam levar um esquema de endereçamento do nodo-destino. Uma vez que existe um caminho fixo, tais pacotes só precisam levar o número que identifique o circuito virtual, entre os demais, em cada enlace que compõe o caminho fixo. Em cada nodo do caminho fixo, uma tabela registra para um número e enlace de entrada qual o número e enlace de saída correspondente SCHWARTZ 80a e b . Com este procedimento obtém-se economia do campo de endereço do nodo destinatário que não será necessário. Em ambos os métodos, o pacote inicial que fará o estabelecimento do circuito virtual levará todo o endereçamento completo para a realização da conexão, per



Em cada nodo intermediário, além do origem e destino, é montada uma tabela que registra o par: número de enlace de entrada / número do CV nesse enlace e número de enlace de saída / número do CV nesse enlace de saída.

FIGURA 2.6 : Circuito virtual - estabelecimento
2º método

mitindo a utilização do encaminhamento adaptativo desse pacote.

No 2º método, após o caminho fixo ter sido estabelecido e montadas as tabelas para esse caminho fixo, em cada nodo de comutação, o mecanismo de comutação fica mais simples, não havendo consultas às tabelas de encaminhamento gerenciadas pelo algoritmo de encaminhamento adaptativo da rede.

A grande vantagem do 2º método é que, havendo um caminho fixo, a seqüência dos pacotes está assegurada. No 1º método, ficando a rede de comunicação mais simples, somente eles - nodos de comutação e linhas - não garantem que pacotes sejam entregues em seqüência ao nodo-destino. Garantem, sim, que o campo de informação seja entregue correto, daí necessitar de um procedimento, que reside em cada extremidade nodo-origem/nodo-destino, cuja função é restabelecer a seqüência fim-a-fim de pacotes que estão sendo encaminhados individualmente entre pares nodo-origem/nodo-destino RYBCZYNSKI 77 .

2.5.3 - Datagrama versus circuito virtual

Estudos realizados apontam que o serviço de datagrama, ao ser aplicado para uma seqüência de pacotes de uma mensagem, além do problema da seqüenciação é também mais caro que se esses pacotes fossem encaminhados através um circuito virtual ROBERTS 78 .

Enquanto os custos de memória e comutação tenham decrescido de um fator de 30%, comparado com os custos de transmissão nos últimos doze anos, resulta que o "overhead" necessário para

os cabeçalhos dos pacotes tipo datagrama se constitui no maior fator de custos. Para um único pacote, quer utilizando-o o serviço de datagrama quer o serviço de chamada virtual, os cabeçalhos são praticamente os mesmos.

Dependendo do número de pacotes em que se constitui uma mensagem, o serviço de datagrama acresce de 13% a 90% o custo de toda a transmissão ROBERTS 78 .

Com a tecnologia eletrônica progredindo, a ponto de não haver escassez de capacidade de processamento ou mesmo de memória, tem-se apontado que esse desenvolvimento tecnológico foi parcialmente responsável pela mudança do datagrama para circuito virtual. Contudo isso, há ainda uma classe de usuários que reivindicam para o serviço de datagrama alguns benefícios como:

- 1) confiabilidade
- 2) eficiência para aplicações do tipo transação (consulta/resposta)

Todavia, ainda surgem discussões quanto ao controle de fluxo fim-a-fim na rede de comunicação:

- 1) ou será provido pelo protocolo ETD-origem/ETD - destino, nas redes de comunicação operando na modalidade de datagrama;
- 2) ou será provido pela rede de comunicação, entre pares nodo-origem/nodo-destino, se a rede estiver operando na modalidade de circuito virtual.

Resumidamente:

VC dentro da rede	Datagrama dentro da rede
É uma associação bidirecional nodo-origem/nodo-destino.	ETD-destino é o responsável pela seqüenciação e controle de erro
Espera-se mais da rede de comunicação em termos de controle de erro e fluxo.	A rede de comunicação é mantida simples.
A rede de comunicação deve garantir a seqüência de pacotes.	Há necessidade de controle de fluxo na interface.
Significa "software" dos ETDs e nodos, origem e destino, mais complexo.	Com tráfego mais intenso, a rede de comunicação poderá atingir, rapidamente, o congestionamento
Maior é a responsabilidade da rede de comunicação.	Os mecanismos de controle de fluxo e erro ficarão por conta dos usuários da RECOMDOS.
A rede de comunicação é mais controlada, evitando o congestionamento.	Substanciais recursos, em termos de "software" embutidos nos ETDs e modificações nos equipamentos dos usuários, serão requeridos para implementar um protocolo fim-a-fim que torne a comunicação entre usuários mais confiável MANNING 78a

3 - CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE A REDE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS NO AMBIENTE DA REDE DE COMPUTADORES

3.1 - O que é, o que faz e parâmetros de projeto

A rede de comunicação de dados, utilizando a técnica de comutação de pacotes, funciona exclusivamente como um sistema de comunicação cuja tarefa básica é transferir bits de dados, agrupados em pacotes de tamanho máximo fixo, sem impor nenhuma restrição ao conteúdo deles - transparência de dados -, de uma origem a um destino. Esta transferência é realizada com total confiança, rapidez e segurança, fazendo com que o sistema apareça ao usuário mais confiável e seguro do que seus próprios componentes. Dessa maneira, se os pacotes são levados através de: pares de fios de cobre, cabos coaxiais, micro-ondas ou outro meio qualquer é irrelevante, pois o que importa é que eles, pacotes sejam entregues ao destinatário sem alteração de conteúdo. Para que esta meta seja alcançada, o transporte de pacotes é realizado através de protocolos de comunicações de baixo nível, no interior da rede de comunicação.

Com este simples propósito é surpreendente a quantidade de detalhes complexos que existem na rede. De imediato, surgem dois pontos que devem merecer cuidadosa atenção no estudo de uma RECOMDOS:

- caminhos ou meios de comunicação estão sujeitos, inevitavelmente, a ruídos, interferências e falhas;
- tarifas de comunicações não são baratas e no projeto da rede deve-se ter em pauta a economia da utilização dos

meios de comunicação, mediante o compartilhamento deles entre as interações com vários computadores ao mesmo tempo.

Portanto, no projeto de um sistema de comunicação para uma rede de computadores, deve ser levado em consideração um complexo e inter-relacionado conjunto de parâmetro:

- 1 - Objetivos do projeto, quando devem ser identificados os requisitos de:
 - desempenho que inclui: retardo (1), vazão (2), integridade e segurança dos pacotes sendo transportados;
 - funcionalidade que abrange: controle de erro, controle de fluxo, congestionamento, endereçamento, recuperação de falhas, retransmissão, transporte de dados;
 - tipos de aplicações que serão apoiados como: transferência de arquivos, entrada remota de jobs, consulta/resposta e outras aplicações
- 2 - Facilidades de transmissão, que se constitui na análise dos vários meios de transmissão disponíveis;
- 3 - Métodos de comutação, que se constitui na análise das técnicas usadas para o compartilhamento dos meios de transmissão e que foi assunto do capítulo 2;
- 4 - Topologia, constituindo-se do estudo do aspecto geográfico

(1) retardo: tempo decorrido entre a transmissão do 1º bit do pacote e a entrega desse 1º bit.

(2) vazão: número de bits transmitidos por unidade de tempo.

de como os ETDs e processadores de comutação são unidos através das linhas de comunicação, de modo a minimizar os custos e satisfazer certos requisitos de desempenho;

- 5 - Equipamentos de comunicações, composto da análise funcional dos equipamentos considerado: desempenho, funções e interfaces;
- 6 - Projeto de protocolos e interfaces, constituindo-se do estudo necessário ao estabelecimento de responsabilidades, funções dos níveis de protocolos bem como da definição das interfaces entre processos em níveis adjacentes de protocolos.

Com os parâmetros acima definidos e após a entrada em operação da rede de comunicação ela deve funcionar totalmente autônoma e com uma interface bem definida para os usuários. Em consequência, os processos em execução nos ETDs encaram a RECOMDOS como um baixo nível de hierarquia de funções, provendo as de comunicação, não necessitando conhecer a estrutura interna do sistema de comunicação que, inclusive, pode ser mudado por outro sistema desde que a interface, que este novo sistema apresente para os processos nos ETDs, tenha as mesmas funções e características que o substituído.

Podemos concluir que a rede de comunicação deve permitir o compartilhamento das facilidades de comunicações de forma a utilizar os meios de transmissão de modo eficiente (menor custo) e devendo satisfazer algumas restrições:

- o retardo sofrido pelos pacotes deve ser limitado;
- confiabilidade, isto é, os pacotes devem ser entregues ao

destino tal qual o foram recebidos para a transmissão na origem.

3.2 - Uma visão de conjunto da RECOMDOS e os usuários da rede de computadores

Muito embora a escolha apropriada de camadas ou níveis de protocolos não esteja ainda apoiada por uma demonstração rigorosa POUZIN 78 , um consenso tem surgido da experiência, desde 1969, e sendo o palco dessa experiência a rede ARPA.

Podemos, então, estabelecer na rede de computadores três camadas básicas de protocolos, conforme a figura 3.1:

- camada de transmissão;
- camada de transporte fim-a-fim;
- camada orientada para as aplicações.

Camada de transmissão

É o nível mais baixo da estrutura apresentada e inclui as funções requeridas para a realização da tarefa de transferência de informação entre processos remotos. É onde a comutação de pacotes é exercida, utilizando melhor as linhas de comunicação pela intercalação de pacotes de diferentes fluxos de informações. Esses pacotes transitam pela RECOMDOS de acordo com um formato especificado, como se fosse uma embalagem. A esta embalagem vamos chamar de quadro.

Nesta camada se insere a RECOMDOS e o tema desta dissertação, onde cada pacote, embutido em um quadro, é encaminhado de nodo a nodo, através das linhas de comunicação de uma origem a

um destino.

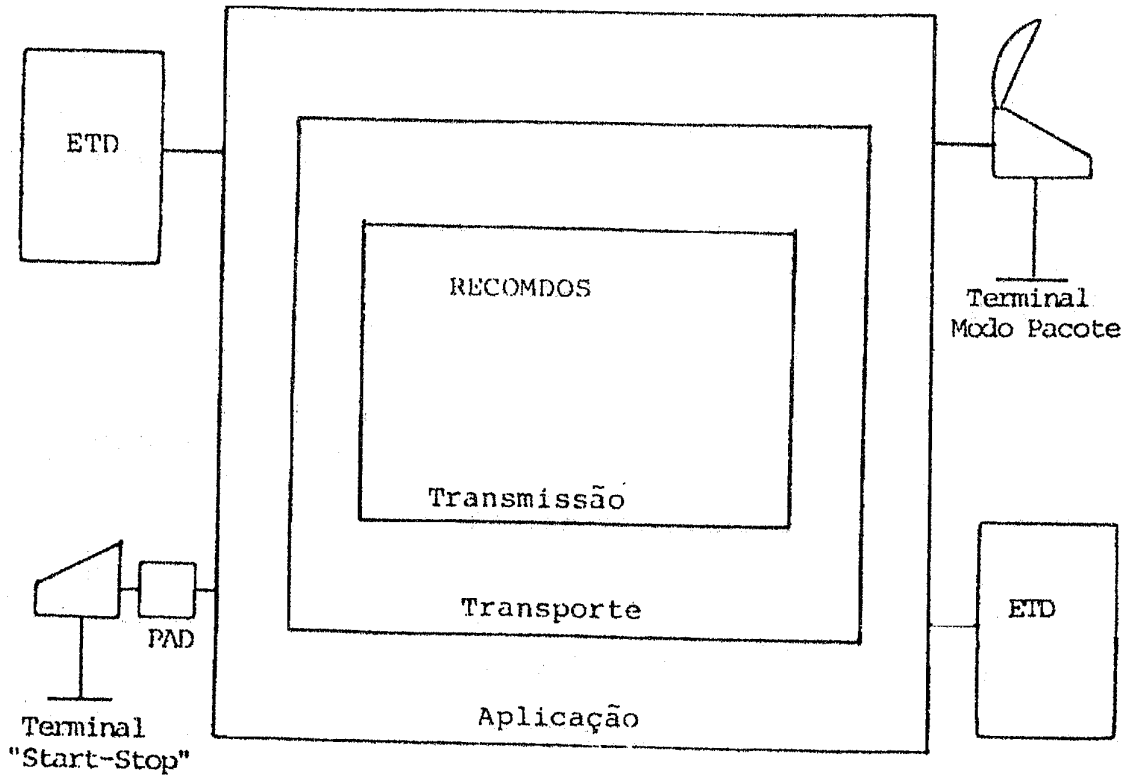


FIGURA 3.1: Camadas básicas de protocolos

Por outro lado, a constituição dessa cadeia de nodos e seus processos, construindo um caminho para que os quadros possam ser transferidos de uma origem em direção a um destino, vão compor protocolos "em cascata", de mesmo nível e iguais.

Dentro da camada de transmissão podemos identificar dois sub-níveis, de acordo com a figura 3.2:

- nível NODO_NODO
- nível NODO_ORIGEM/NODO_DESTINO

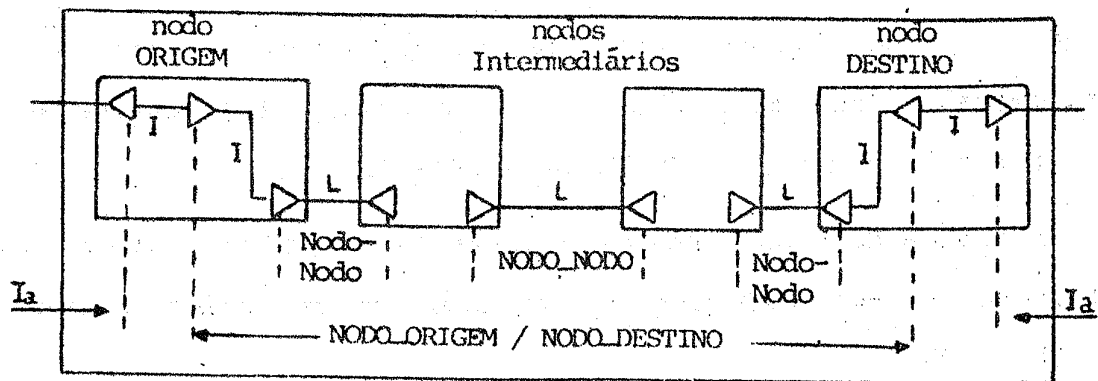
O nível NODO_NODO se constitui em uma "cascata" de proto

colos NODO_NODO idênticos cuja função principal é o controle de linha (como os bits são transmitidos em um enlace físico).

O nível NODO_ORIGEM/NODO_DESTINO define um conjunto de protocolos idênticos, um protocolo para cada par nodo_ origem/nodo_destino, cujas funções principais são:

- controle de fluxo;
- seqüenciação de pacotes;

Camada de Transmissão



- ▷ Processo
- Ia Interface de acesso a rede
- L enlace
- I Interface

FIGURA 3.2 : Camada de Transmissão

Assim, a comutação de pacotes, protocolos NODO_NODO e ORIGEM_DESTINO são usados em conjunção de modo a formar uma rede com multi-caminhos.

O nível NODO-NODO, sendo definido entre nodos de comutação vizinhos, tem o acoplamento dos protocolos desse nível dentro de cada nodo, de um enlace de entrada para um enlace de saída, feito pelo procedimento de encaminhamento.

No NODO/ORIGEM e no NODO/DESTINO existe uma interface entre o protocolo NODO_NODO e o protocolo NODO_ORIGEM/NODO_DESTINO.

NO. Também nesses nodos, existe uma interface para o protocolo de acesso à rede de comunicação que aceita o tráfego de pacotes para a rede.

Camada de transporte

Acima da camada de transmissão - RECONDOS -, responsável pela transmissão de quadros, temos a camada de transporte, normalmente localizada nos ETDs. Esta camada possui em cada ETD um processo que implementa o serviço de transporte, que interagindo com o serviço de transporte remoto, através da camada de transmissão, implementa o protocolo de transporte, considerado um protocolo fim-a-fim: ETD-ORIGEM/ETD-DESTINO.

A camada de transporte está acima do conjunto: protocolo de acesso à rede (ETD/nodo de comutação) e protocolos dentro da RECONDOS.

A função desta camada não é específica para uma aplicação, mas é usada por quaisquer aplicações. Em outras palavras, todas as aplicações em um ETD podem compartilhar do mesmo protocolo de transporte POUZIN 78 e MOLI 78.

Em resumo, o protocolo de transporte compreende um conjunto de mecanismos que permitem que dois processos remotos de nível superior estabeleçam associações e transfiram informações do domínio de um processo de um extremo ao outro domínio, na extremidade remota. Embora não faça parte dos protocolos existentes no interior da RECONDOS, o protocolo de transporte provê facilidades que incluem mecanismos de controle de erro a nível de mensagem (multi-pacotes) para assegurar que as mensagens sejam entregues na sequência correta para o nível acima

(aplicação) ou senão, assegurar que as mensagens sejam corrigidas ou retransmitidas, além de exercitar o controle de fluxo nessa camada.

Camada de aplicação

A camada de aplicação utiliza-se do conjunto de funções implementadas pelo serviço de transporte a fim de que funções específicas e de grande utilização sejam implementadas, tais como:

- transferência de arquivos;
- simulação de terminais virtuais;
- entrada remota de programas;
- transferência de informações gráficas a distância, entre outras.

3.3 - Protocolos dentro da RECOMDOS e suas funções

3.3.1 - Introdução

De modo geral, não há um padrão de regras para protocolos na rede de comunicação de dados e sua implementação é muito dependente do tipo de serviço desejado para a rede de comunicação, embora tais protocolos venham a constituir, praticamente, a quase totalidade de "software" básico do sistema de comunicação da RECOMDOS.

Para evidenciar a afirmativa acima, a recomendação X.25 do CCITT, adotada para as redes públicas a partir de 1976, desenvolvida para permitir que ETDs (computadores, concentradores programáveis de terminais) e terminais inteligentes possam acessar redes públicas que operem na modalidade de circuito

virtual, tem sido selecionada por algumas organizações de telecomunicações como interface padrão entre usuários e a RECOMDOS, como por exemplo

- DATAPAC no Canadá;
- KDD e DDX no Japão;
- TELENET nos E.U.A.;
- TRANSPAC na França;
- RETD na Espanha.

Entretanto, pelo fato de que muitas questões são deixadas em aberto nessa recomendação e em outras, várias interpretações individuais para implementação da rede de comunicação tem sido feitas. Por consequência, tal recomendação meramente define uma técnica de acesso à rede de comunicação, que ofereça o serviço de circuito virtual, permitindo liberdade na escolha da estratégia interna da rede de comunicação, se datagrama ou circuito virtual de encaminhamento fixo. Para evidenciar tal liberdade de escolha podemos citar:

TRANSPAC: apresenta internamente o mecanismo de circuito virtual de caminho fixo (2º método de implementação, subseção 2.5.2), onde o circuito virtual segue uma rota fixa entre as extremidades, do no do-origem ao nodo-destino;

DATAPAC: apresenta a sua rede de comunicação como que oferecendo um mecanismo tipo datagrama, embora entre o nodo-origem e o nodo-destino o serviço apresentado seja o de circuito virtual (1º método de implementação, subseção 2.5.2) KURINCKX 80.

Como visto na seção 2.5 do capítulo 2, o 2º método de implementação do circuito virtual - CV de caminho fixo - apresenta como sua maior vantagem prática a de que os pacotes em um CV chegam ao destino na seqüência correta. Tal característica reflete-se na simplicidade do protocolo fim-a-fim, que não terá que tratar com a rearrumação de pacotes, caso eles fossem encaminhados na RECOMDOS como datagrama (1º método de implementação de CV). Portanto, não constitui surpresa o fato de que muitas redes, atualmente em operação, utilizam o protocolo fim-a-fim na RECOMDOS para CV de caminho fixo. SCHWARTZ 80a .

Tal tendência pode ser justificada, também, pela vantagem adicional de que, a qualquer momento, um nodo manuseia todos os CVs que passam ou terminam ou originam nesse nodo e, conseqüentemente, conhece a máxima demanda de recursos que pode ocorrer a nível de "buffers", tempo de UCP e taxa de transmissão de dados.

Face as justificativas dadas acima, a rede de comunicação que aqui está sendo estudada oferecerá o serviço interno de circuito virtual implementado com caminho fixo por CV, após seu estabelecimento. Em MENDES 81 são dados maiores detalhes de como será possível esta implementação.

3.3.2. - Protocolo NODO-NODO: NONO

Como já identificado, este protocolo, na verdade, se constitui em uma cadeia de protocolos idênticos - em cascata - que compreende o nodo origem, os nodos-intermediários e o nodo destino. A função principal deste protocolo é o controle de linha, entre dois nodos de comutação ligados através de um enla

ce físico.

Os principais problemas em uma linha de comunicação, que liga dois processadores de comutação, podem ser identificados como:

- truncamento de pacotes;
- perda de pacotes.

Para encontrar soluções viáveis para esses problemas, as seguintes funções se fazem necessárias para a tarefa de transferência de bits de modo confiável, em uma linha de comunicação, entre dois nodos de comutação:

- 1) CONTROLE DE ERRO;
- 2) TRANSPARÊNCIA;
- 3) ESTABELECIMENTO, TÉRMINO DE CONEXÃO E SINCRONIZAÇÃO;
- 4) SEQUÊNCIAÇÃO
- 5) RECUPERAÇÃO EM CASO DE FALHAS DE PROCEDIMENTOS;
- 6) CONTROLE DE FLUXO LOCAL

Antes de discutir cada função, vamos criar uma situação, para um melhor entendimento do que ocorre em um enlace físico, conforme a apresentação da figura 3.3.

O nosso meio de comunicação é um enlace físico e é usado pelos processos p1 e p2, respectivamente nos nodos A e B. Esses processos implementam um protocolo e como tal para executarem uma tarefa necessitam trocar mensagens. O nosso meio de comunicação não é confiável, estando o enlace sujeito a falhas, ruídos e interferências, e assim o protocolo implementado pelos dois processos podem falhar, a menos que esses mesmos processos

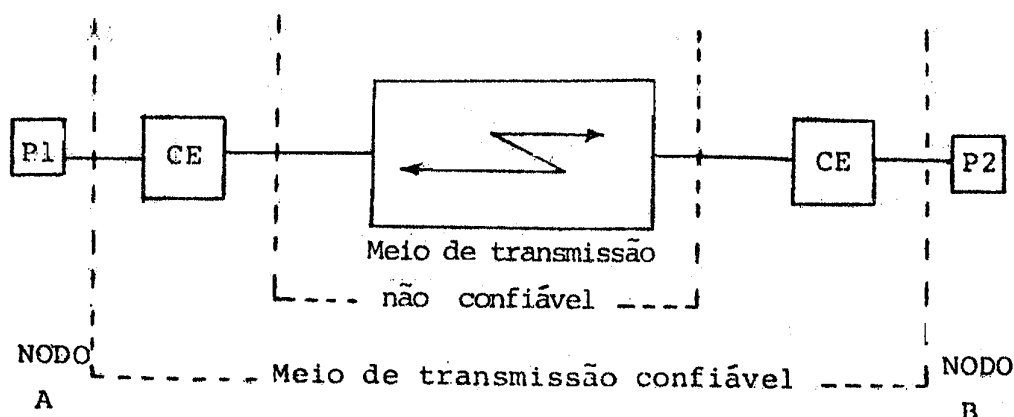


FIGURA 3.3 : Uma concepção de um enlace entre dois nodos.

implementem mecanismos de correção para fazer frente às inevitáveis avarias ou desacertos.

1 - CONTROLE DE ERRO - É um mecanismo que permite realizar recuperação de quadros em caso de erros de transmissão no enlace e tornando possível comunicações apuradas.

O controle de erro é de vital importância em redes de computadores e em particular na rede de comunicação de dados; podendo ser aplicado em todos os níveis de protocolos. A exata operação dos procedimentos de controle de erro depende das características do meio de comunicação. Este meio de comunicação, que vamos nos referir como um meio de transporte, pode ser usado por vários processos, todos requerendo o mesmo grau de confiabilidade. Assim, não faz sentido reproduzir o mecanismo de controle de erro em cada e todo processo mas definir esse mecanismo em um nível independente, servindo a vários processos e convertendo o meio de transporte não confiável em uma facilidade de comunicação confiável.

Assim, o protocolo de controle de linha NODO-NODO deve ser capaz de detectar erros em uma seqüência qualquer de bits, pois os processos de alto-nível (aplicações dos usuários) são inteiramente livres para escolher qualquer seqüência de bits para implementar seus protocolos. Infelizmente, não há método que possa detectar erros em um fluxo contínuo e arbitrário de dados. Então, para permitir que erros sejam detectáveis, deve-se transmitir esses dados em blocos de tamanho máximo fixo e que são chamados de quadros.

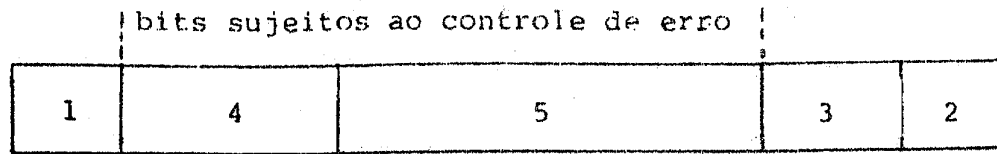
Para permitir a detecção de erros, procura-se introduzir uma quantidade de bits redundantes junto com os dados a serem transmitido. Esses bits fazem parte do CRC - "Cyclic Redundancy Check" que são transmitidos juntos com os dados que compõem o quadro. Esse método de controle de erro envolve "a divisão" dos bits de dados por uma pré-definida seqüência de bits e transmitir o resto dessa "divisão" como parte do bloco que constitui o quadro a ser transmitido. Na extremidade receptora a mesma "divisão" é feita pela mesma pré-definida seqüência de bits e é verificado se o resto obtido, no receptor, é igual ao resto que foi recebido com o quadro. Caso afirmativo, o quadro é aceito e caso contrário, o quadro não é aceito sendo, então, descartado. Tal mecanismo de detecção de erros é obtido pela utilização de códigos polinomiais, descritos em termos das propriedades da álgebra dos polinômios, e que são considerados um dos meios mais eficientes de detecção de erros. Atualmente existem, disponível comercialmente, circuitos integrados que perfazem as operações necessárias por "Hardware" para calcular a seqüência de bits que será utilizada para a detecção de erros

como é o caso da pastilha 8273 da INTEL, entre outras.

Estamos discutindo o caso de um enlace entre dois nodos vizinhos, mas o meio de transporte pode ser a própria rede de comunicação de dados, no caso da rede de computadores. Em um enlace as características do meio de comunicação são mais previsíveis do que aquelas existentes na RECOMDOS, onde poderá ocorrer que um pacote chegue fora de ordem ou mesmo uma duplicata seja recebida, quando o mecanismo interno utilizado for o datagrama. Para a detecção desses erros, um procedimento fim-a-fim deverá ser estabelecido para executar a recuperação necessária.

Em cada nodo de comutação, ao longo da rota de um quadro, o "hardware" do nodo, em sua unidade transmissora, gera um padrão de bits de controle, interpretados como delimitadores de início e fim de quadro, bem como os bits do CRC que são enviados em cada quadro. Então, erros na transmissão poderão ocorrer afetando o quadro, quer pela destruição dos delimitadores quer truncando os bits de dados do quadro. Se os delimitadores forem truncados o quadro ou será rejeitado pela unidade de recepção do nodo, referente ao enlace em questão, ou não será reconhecido. O campo CRC provê proteção contra erros nos campos de controle e de informação do quadro, devido a ruídos e interferências. Um exemplo de formato de mensagem, neste nível de protocolo, pode ser o da figura 3.4.

De tudo o que foi descrito, erros de transmissão devem ser detectados e corrigidos, pois o desempenho da rede de comunicação será reduzido em proporção a taxa de ocorrências de erros, visto que quanto menor for a taxa de bits errados ("Bit Error Rate") melhor a qualidade da linha de transmissão. Baixas ta



- 1 :: Delimitador de início de quadro 4 : campo de controle
- 2 : Delimitador de terminação de quadro 5 : campo de informação
- 3 : Campo de detecção de erro

FIGURA 3.4 : Formato de um quadro em um enlace

xas de erros são desejáveis, desde que o objetivo principal, em grandes transferências de arquivos e tráfego interativo, é a absoluta eliminação de todos os erros [KIMBLETON 75]. Na rede de ARPA, a meta foi de 1 bit em erro a cada 10^{12} bits transmitidos.

Uma vez detectado o erro de transmissão, o que deve ser feito? Dois métodos são apresentados:

Estático : a informação redundante é usada para permitir não somente a detecção, mas também a automática correção. Tal método é complexo computacionalmente e não é muito usado na prática. Exemplo deste método é o código Hamming.

Dinâmico : determina que o quadro em erro seja retransmitido, sendo este método o mais utilizado normalmente.

Portanto, a retransmissão é um mecanismo associado ao controle de erro para possibilitar a recuperação quando ocorrerem erros na transmissão. Existem duas estratégias para a recuperação de quadros com erro de transmissão:

Seletiva: é feita solicitação individual do quadro detectado com erro, mantendo assim a retransmissão de quadros ao mínimo necessário. Nesse esquema, o receptor de verá manusear quadros fora de seqüência e entregá los para processamento na seqüência correta.

Seqüencial: retransmite todos os quadros pendentes a partir do primeiro não recebido corretamente, tendo como van tagem a fácil implementação e é adequado quando o ruído ou a interferência afetar vários quadros em uma linha.

Pode-se disparar o mecanismo de retransmissão por mensagens de controle do tipo REJ - rejeição seqüencial ou SREJ - rejeição seletiva, mas as mensagens de controle podem também, ser perdidas ou corrompidas no enlace e como último recurso existe o mecanismo de temporização ("time-out"). Neste mecanismo, quando a unidade de transmissão de um modo transmite um quadro, ela dá partida em um contador de tempo - temporizador. Subseqüentemente, se o contador estiver funcionando por ocasião da transmissão de outros quadros, isto implica que os quadros anteriormente transmitidos estão aguardando o reconhecimento - ACK e nenhuma ação é tomada. Se o contador de tempo expirar no nodo, através da unidade de transmissão, ele retransmitirá os quadros não reconhecidos naquele enlace. Nem todos os quadros transmitidos operam o temporizador, somente os quadros que transportam pacotes de dados do usuário têm associado a si o mecanismo de temporização.

Os procedimentos de recuperação de erro: retransmissão se

letiva, retransmissão seqüencial ou retransmissão por temporização, podem ser combinados para produzir um protocolo mais robusto e eficiente.

Além do erro de transmissão causado pelo ruído ou interferência, implicando no descarte do quadro errado, pode ocorrer que um quadro esteja correto mas fora de seqüência daí o nó, em sua unidade de recepção, deverá ter habilidade para checar a numeração de seqüência dos quadros. E a solução para detectar quadros fora de seqüência é usar um esquema de numeração dos quadros, tal mecanismo será abordado na função de seqüenciação.

Os mecanismos que possibilitam o controle de erro servem, com pequenas alterações, para efetuar o controle de fluxo no enlace como veremos na função de controle de fluxo. Podemos concluir que o controle de erro é a função principal do protocolo de NODO-NODO e embora a rede de comunicação seja a responsável pelo controle de erro, isto não tira a responsabilidade, totalmente, do usuário da rede.

2 - TRANSPARENCIA - Os bits de dados que compõem um quadro, quer contenham informações do usuário quer contenham informações de controle do protocolo, são tratados apenas como uma configuração binária, independente do seu significado lógico. Padrões de bits de dados e de bits de controle - que delimitam o início e o fim de um quadro - devem fluir ao longo do enlace, entre dois nodos de comutação, e certas técnicas são necessárias para distinguir os bits de dados desses bits de controle.

Os quadros são demarcados por uma seqüência de bits que se constitui no delimitador ou "flag". Para evitar que uma seqüên

cia de bits não representando um delimitador seja interpretada como tal, deve-se definir um mecanismo de inserção de bits ("bit stuffing") na transmissão e posterior eliminação na recepção, de modo que o delimitador seja detectado apenas quando for efetivamente um delimitador do quadro, e assim não se restringe o conteúdo do padrão de bits de dados por se ter atribuído um significado de controle a certos padrões de bits.

Desse modo, o problema de indicar onde um quadro começa e termina e ainda ser capaz de transmitir qualquer padrão de bits é resolvido com o mecanismo de inserção de padrão especial de bits pelo nodo_transmissor(em sua unidade de transmissão do enlace considerado) e que o nodo_receptor (em sua unidade de recepção desse enlace) remove, preservando o padrão original de bits de dados. Um exemplo de "bit stuffing" é ilustrado na figura 3.5.

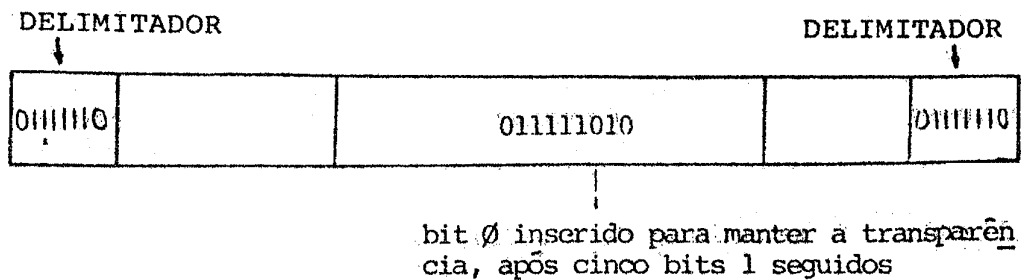


FIGURA 3.5 : Inserção de bits - transparência.

3 - ESTABELECIMENTO, TÉRMINO DE CONEXÃO E SINCRONIZAÇÃO - De modo geral, os nodos de comutação possuem a habilidade de iniciar a conexão e a desconexão de um enlace (ativar e desativar). Durante a fase de conexão ou fase de estabelecimento de uma con

versação, os nodos, com suas unidade de transmissão e recepção, podem trocar várias espécies de informações conhecidos como pa râmetros da conversação e com isto permitir a inicialização de variáveis associadas a essa conexão: número do próximo quadro a ser transmitido, número do próximo quadro a ser reconhecido, número do próximo quadro a ser recebido, alocação de "buffers", entre outras. Esta troca de parâmetros ou contexto é feita pa ra alcançar-se a sincronização e caso esta seja perdida, meios devem ser providos para se atingir a reinicialização através da reconexão ou restabelecimento da ligação lógica, durante a ope ração do protocolo. Quando ocorrer a desconexão, os recursos alocados deverão ser liberados para utilização posterior. Esses mecanismos são necessários de modo que o protocolo NODO-NODO pos sa operar em presença de erros, falha total do enlace ou dos nodos.

4 - SEQÜENCIACÃO - Para assegurar que os quadros sejam aceitos pelo receptor na ordem que foram transmitidos, torna-se necessá rio numerar os quadros em trânsito em um enlace. E assim, para permitir que a numeração seja cíclica, o mecanismo de janela é utilizado. O mecanismo de janela, descrito em Davies 79 per mite manter a seqüência e detectar e corrigir problemas de per da, duplicação de quadros e quadros fora de seqüência. Normal mente, usa-se janela de 7 quadros, com a numeração de quadros módulo 8 cíclica (0,1,2...,7), nos procedimentos de controle de linha.

5 - RECUPERACÃO EM CASO DE FALHA EM PROCEDIMENTOS - O procedi mento de controle de linha deve possibilitar a recuperação da ligação lógica a partir de falhas na operação do protocolo, per

mitindo a reinicialização explícita dos vários parâmetros da conversação (contexto). Esse mecanismo é normalmente conhecido como "reset" ou reinicialização. Tal mecanismo deve assegurar que o protocolo continue a operar não importando que tipo de erro ocorreu, se na transmissão de dados ou informação de controle.

6 - CONTROLE DE FLUXO. (Local) - Esta função está associada com a utilização eficiente dos recursos de enlace, de modo a assegurar que a unidade de transmissão de um nodo envie quadros em uma taxa aceitável pela unidade de recepção do outro nodo. E como um enlace, entre dois nodos, é uma ligação ponto-a-ponto, o mecanismo para efetuar o controle de fluxo está interessado em proteger o nodo-receptor contra a sobrecarga de seus "buffers" bem como evitar sobrecarga na capacidade de processamento do receptor. Assim, um mecanismo de janela, que permita uma explícita alocação de "buffers", pode ser utilizado. Este mecanismo permite que um número de "buffers" no nodo-transmissor e nodo-recep^{tor} sejam alocados para a fase de transferência de dados. Por este mecanismo, entende-se que é desejável limitar o número de quadros que podem estar em transito entre o nodo-transmissor e nodo-receptor do enlace, de modo a evitar a inundação do meio de transmissão com quadros que não podem ser entregues ao nodo-receptor por falta de disponibilidade de "buffers" nesse nodo. Assim, o número de quadros transmitidos e esperando receber a confirmação de recebimento não deve exceder o tamanho W da janela. Isto permite ao nodo-receptor fazer duas coisas:

- 1) controlar o fluxo de informação pelo retardo no envio do ACK para o nodo-transmissor;

- 2) alocar recursos no nodo-receptor em termos de "buffers", pois ele não pode receber mais quadros que um número estiputado para isso.

O fundamento deste controle, no protocolo NODO-NODO, é de que cópias dos quadros transmitidos pelo nodo-transmissor sejam mantidas em "buffers" aguardando:

- ou a delegação, liberando "buffers", quando a correta recepção é confirmada pelo nodo-receptor, através da remessa de uma mensagem do tipo ACK;
- ou a retransmissão, após um período de tempo - temporização, se a confirmação do ACK não for recebida nesse período.

No nodo-receptor, a correta recepção de um quadro depende da:

- disponibilidade de "buffers" no nodo-receptor;
- verificação quanto a correção do quadro para posterior remessa do ACK.

Concluindo esta subseção, é necessário que no projeto de um protocolo e de seus parâmetros, alguma análise de desempenho seja feita usando-se da simulação ou técnicas analíticas (maiores detalhes em DANTHINE 75, IRLAND 75, KLEINROCK 78).

3.3.3 - Protocolo ORIGEM-DESTINO : ORINO

Na subseção 2.5.2 introduzimos o conceito de circuito virtual de encaminhamento fixo (2º método de implementação) no qual os pacotes serão transportados sempre pelo mesmo caminho e cita

mos algumas vantagens e desvantagens dessa implementação. Na subseção 3.3.1 justificamos a nossa escolha pela solução do circuito virtual de caminho fixo para a nossa RECOMDOS. Isto posto, temos em mente que esse caminho fixo é construído pela utilização do encaminhamento adaptativo para o pacote inicial que percorre a RECOMDOS, do nodo-origem ao nodo-destino, para estabelecer a conexão que institui o circuito virtual. Entendemos que, a não ser por avarias em nodos ou enlaces que integram o caminho fixo de um CV, esse caminho origem-destino é o mesmo para toda a duração da interação entre processos remotos. Desse modo, os pacotes que entram na RECOMDOS por um nodo origem terão assegurada a chegada na seqüência correta ao nodo-destino, valendo-se dos procedimentos de controle de linha dos enlaces pertencentes ao caminho fixo.

Com este tipo de CV não teremos problemas de pacotes de dados, associados a um CV, seguirem diferentes caminhos como ocorre no 1º método de implementação do CV, quando poderá acontecer que um pacote chegue ao destino antes que seu antecessor em uma seqüência de pacotes ou que devido a falhas, em nodos ou enlaces, duplicatas sejam recebidas no destino. As figuras 3.6 e 3.7 ilustram esses fatos. Para este caso - encaminhamento adaptativo - a RECOMDOS deverá detectar e corrigir esses problemas através do protocolo fim-a-fim, entre nodo-origem e nodo-destino, mais sofisticado que o protocolo ORIGEM-DESTINO que iremos especificar.

Assim, quando for usado o encaminhamento adaptativo (1º método) teremos: perda de pacote, ocasionada por falha do nodo ou do enlace na hora de transmissão de um pacote previamente recebido correto. Por conseguinte o nodo-destino receberá os

pacotes seguintes fora de seqüência.

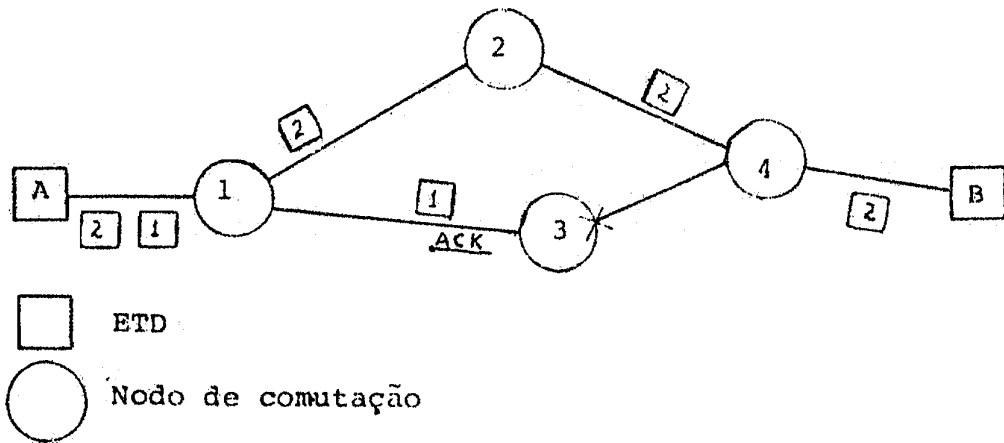


FIGURA 3.6 : Perda de pacotes

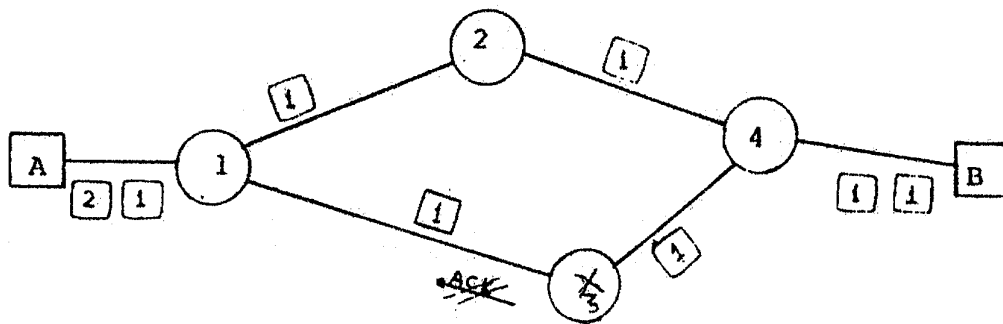


FIGURA 3.7 : Duplicação de pacotes

Duplicação de pacotes, no nodo_destino acarretada pela perda ou truncamento do ACK e a falha do nodo após ter transmitido o pacote previamente recebido correto.

Todavia, se em algum enlace do CV de caminho fixo (2º método) ocorrer alguma tentativa de restabelecimento da ligação lógica, entre os nodos interligados por esse enlace, quadros e consequentemente pacotes serão perdidos. Assim, para detectar a perda de pacotes um esquema de numeração cíclica será usado para cada origem_destino. Isto feito, quando essas falhas ocorrerem,

para se reinicializar o contexto do protocolo nas duas extremidades do CV, procedimento de "reset" será estabelecido.

Desde que estamos considerando a ligação origem-destino de um CV como fixa, o protocolo ORIGEM-DESTINO não contará com mecanismo de temporização para a retransmissão dos pacotes de dados de usuário perdidos devido ao evento considerado no parágrafo anterior. Neste caso, o nível de transporte ficará com a responsabilidade da retransmissão não do pacote mas sim da mensagem completa e da qual o pacote perdido faz parte.

Para o caso de falhas em nodos ou enlaces que se reflita na liberação do CV, o nível de transporte, também, se responsabilizará pela tentativa de recuperação da conexão fim-a-fim.

Um outro problema que se destaca na troca de pacotes de um nodo-origem a um nodo-destino, dentro da rede de comunicação, é o controle de fluxo, isto é, a quantidade de pacotes transmitidos por um nodo-origem não poderá exceder a capacidade do nodo-destino em recebê-los. Este problema está diretamente relacionado com a alocação de "buffers" no nodo-destino. Desse modo, o protocolo ORIGEM-DESTINO deverá implementar funções que, através da operação do protocolo, assegurem a correta transferência de pacotes de dados a uma taxa em que o nodo-destino possa aceitar esses pacotes. A necessidade desse mecanismo - controle de fluxo - é fundamental, pois se o fluxo para o nodo-destino não for controlado, a congestão estabelecer-se-á na RECOMDOS, afetando outros nodos intermediários, degradando ou parando totalmente o serviço de comunicação.

Já verificamos, no protocolo NODO-NODO, que um elemento

de controle de fluxo na RECOMDOS é proporcionado pelos controles da "cascata" inter-nodos, através dos quais o pacote é manipulado de nodo a nodo, enquanto ele atravessa a rede do nodo-origem ao nodo-destino.

Entretanto, para que haja alguma espécie de notificação pelo nodo-destino ao nodo-origem de que ele não pode aceitar o tráfego na taxa atual do nodo-origem, ela não deve ser feita através da congestão gradativa se propagando do destino à origem, pois isto exigirá que uma série de nodos fiquem congestionados até que o nodo origem seja, então, sinalizado a reduzir sua taxa.

Para este protocolo ORIGEM-DESTINO usaremos para o mecanismo de controle de fluxo a estratégia de créditos na qual o nodo-destino informa ao nodo-origem a quantidade de pacotes que ele poderá transmitir e que o nodo-destino estará apto a receber (RYBCZYNSKI 77, DAVIES 79 e BARBER 78 .

Do exposto, concluímos que o protocolo ORINO deverá prover:

- 1) um mecanismo de conexão entre nodo-origem e nodo-destino para sincronizar os parâmetros da conversação (contexto) entre os processos nos nodos extremos de um CV, por exemplo: esquema de numeração de pacotes, número de créditos disponível pelo nodo-receptor para recepção de pacotes de dados transmitidos pelo nodo-transmissor, etc;
- 2) um mecanismo que permita manter a sincronização ORIGEM-DESTINO quando por qualquer motivo ela for perdida (procedimento de reinicialização do contexto);

- 3) um mecanismo, associado com o estabelecimento da conexão, deverá ser construído para evitar que um nodo-origem sobrecarregue um nodo-destino com um fluxo de dados para um ETD inoperante.
- 4) um mecanismo de alerta, para os níveis acima do protocolo ORINO, para quando houver o rompimento de um CV por causa de avarias em nodos ou enlaces do caminho fixo.

Para finalizar esta subseção, destacamos que no capítulo 5 de MENDES 81 são descritos em maiores detalhes os mecanismos aqui identificados.

3.4 - Importância do controle de fluxo na RECOMDOS

O controle de fluxo na RECOMDOS, como um todo, pode ser visto como as regras de policiamento da rede e que incluem os seguintes objetivos:

- 1) evitar a degradação do desempenho da rede devido a sobrecarga;
- 2) evitar congestionamento;
- 3) evitar a ocorrência de impasse ou "deadlock";
- 4) proporcionar uma alocação justa das facilidades, evitando que um nodo monopolize a rede;
- 5) permitir um casamento de velocidade entre a rede e seus usuários;
- 6) não congestionar o nodo destino.

As linhas de comunicação, entre nodos e entre usuários e RECOMDOS, podem operar em diferentes taxas de transmissão. Devido ao fato de que pacotes são armazenados nos nodos, utilizando o sistema armazena e envia ("store and forward"), não há razão pela qual as velocidades das linhas sejam as mesmas. Em particular, as conexões dos usuários são geralmente de diferentes velocidades e a RECOMDOS opera para eles como um conversor de velocidade. Por exemplo, um display que opera a 4.800 BPS (bits por segundo) pode-se comunicar com um computador que tenha linha de acesso à rede, que opere em 50 KBPS. No fluxo de dados que entra no computador, os pacotes do display estarão intercalados com os pacotes de outros terminais. A verdadeira taxa, na qual os dados são enviados, depende de como freqüentemente os pacotes são fornecidos e transmitidos. Assim, um transmissor pode criar pacotes mais rapidamente do que o receptor poderá aceitá-los e isto implica na necessidade de controle de fluxo, o que significa que o receptor, de algum modo, controla a taxa de transmissão do nodo-transmissor.

Um problema associado é a possibilidade de congestionamento da RECOMDOS. Neste caso, pacotes poderão fluir mas a custo de um retardo maior, fazendo com que os usuários experimentem uma interação mais lenta do que eles estavam esperando.

O controle de fluxo e controle de congestionamento são necessários, pois tanto a capacidade das linhas quanto a capacidade de armazenamento dos nodos são limitadas. Então, é fundamental que a utilização desses recursos obedeça a uma disciplina justa e dinâmica. Onde o projeto for pobre a congestão conduzirá a um estado em que a capacidade total será reduzida porque as medidas de controle falharam.

Embora a capacidade de transporte da rede tenha sido planejada para fazer frente as demandas esperadas, o aumento do tráfego devido a eventos externos e/ou os resultados de um planejamento sem uma adequada antecipação do aumento da demanda forçará a certas redes irem além de seus limites. Nesta situação, "buffers" serão encontrados sempre cheios e o congestionamento poderá espalhar-se por toda a rede. Um caso extremo de congestionamento, onde certos fluxos pararão de vez por causa de erro lógico no projeto, é conhecido como "lock-up" e não adianta a acrescentar mais capacidade de armazenamento nos nodos pois isto só iria aumentar o retardo KAHN 71 e HERMANN 76 .

Do que foi visto acima, entendemos que enquanto o controle de fluxo regula o fluxo de pacotes em operação normal e é principalmente um mecanismo para transmitir restrições ao fluxo para o local de onde ele possa ser controlado: a fonte transmissora; o controle para evitar o congestionamento é um mecanismo para prevenir a sobrecarga na rede e que se não for aplicado causará perda de desempenho total da rede. Todavia, controle de fluxo e de congestionamento estão relacionados, porque os procedimentos necessários para controlar o congestionamento são forçados pelos mecanismos de controle de fluxo.

CONCLUSÕES:

Para finalizar esta subseção podemos concluir que:

- 1) a alocação de "buffers" no nodo-destino é requerida para evitar congestionamento nesse nodo;
- 2) a alocação de "buffers" é um importante aspecto do controle de fluxo não somente nos ETDs mas tam

- bém nos nodos de comutação;
- 3) a divisão da responsabilidade do controle de flu
xo entre nodos e ETDs poderá aumentar a confiabi
lidade total da operação da RECOMDOS;
 - 4) o controle de fluxo dentro da RECOMDOS deve pro
ver um fluxo uniforme de pacotes, sem a introdu
ção de retardos indevidos, a partir do momento
em que o pacote entra na RECOMDOS até que ele se
ja entregue ao destino;
 - 5) dentro do número finito de "buffers" em cada no
do, o controle de fluxo será diretamente regula
do pela disponibilidade de "buffers" no nodo-des-
tino: mantendo pacotes para serem entregues ao
ETD-destino e será afetado pela disponibilidade
de "buffers" nos nodos intermediários: armazenan
do pacotes em trânsito;
 - 6) o gerenciamento dos "buffers", para regular o flu
xo entre um par origem e destino, envolve um es
quema de sinalização entre nodos nas duas extre
midades da conexão: NODO-ORIGEM/NODO-DESTINO;
 - 7) a congestão pode resultar de:
 - excesso de tráfego na RECOMDOS, devido ao
insuficiente controle na aceitação de paco
tes pelos nodos-origens;
 - pontos de estrangulamento na RECOMDOS, oca
sionado por falhas componentes;
 - falha no projeto dos procedimentos dos no
dos (sistemas operacionais).
 - 9) um bem projetado controle de fluxo é vital na re

de de computadores e desse modo o fluxo de pacotes deve ser controlado:

- entre nodo a nodo;
- entre ETD-origem e ETD-destino;
- entre nodo-origem e nodo-destino;
- entre processo usuário-origem e processo usuário-destino;

Em todos esses níveis, o controle deve assegurar que a taxa de transmissão do transmissor não exceda a capacidade de recepção do receptor, além de assegurar que a carga imposta ao meio de comunicação, ligando o transmissor ao receptor, não exceda a sua capacidade;

- 9) a congestão, refletindo-se na degradação do desempenho da rede, manifesta-se ou como a redução de vizão, apesar da não correspondente redução na carga aplicada, ou como um acréscimo do retardo enfrentado pelos pacotes, em sua travessia pela rede, e ambas podem ser encontradas juntas;
- 10) em uma rede congestionada, os pacotes ao chegarem aos nodos intermediários ou final e não encontrado "buffers" disponíveis para armazená-los são dependendo do protocolo usado, ou retransmitidos a partir do nodo transmissor no enlace ou toda a mensagem (multi-pacotes) será retransmitida através do protocolo de transporte;
- 11) quanto maior o grau de congestão, maiores recursos da rede estarão devotados para a retransmissão, acarretando a perda de desempenho.

12) a causa da congestão é, sem dúvida, o não controle do tráfego de pacotes que ganham acesso à rede.

3.5 - Controvérsias quanto ao processamento de mensagens multi-pacotes pela RECOMDOS

Antes do advento das redes públicas, existiram consideráveis argumentações e mesmo controvérsias sobre o fato de que a RECOMDOS, em sua tarefa de transferir pacotes de um ponto a outro (origem-destino), deveria se ocupar em dividir as mensagens no nodo-origem e remontar os pacotes resultantes no nodo-destino, compondo a mensagem inicial.

Assim, alguns projetistas de redes eram da opinião de que a RECOMDOS deveria ser um mero transportador de pacotes com pouca ou nenhuma preocupação quanto:

- ao armazenamento para mensagens multi-pacotes no nodo-origem e nodo-destino;
- à integridade e seqüência de mensagens multi-pacotes.

Por sua vez, os fabricantes e usuários de computadores pretendiam que a RECOMDOS tomasse a responsabilidade de muitos procedimentos de processamento de mensagens multi-pacotes fim-a-fim. Desse modo, como a RECOMDOS transporta pacotes de tamanho máximo fixo, mensagens maiores que o tamanho de um pacote seriam divididas em pacotes na extremidade transmissora (nodo-origem) e remontadas na extremidade receptora (nodo-destino) e esse processo seria transparente aos ETDs como ocorre na rede AR

PA. É viável pela divisão em pacotes, começar a transmitir antes que a mensagem completa esteja armazenada na fonte e a entrega dos pacotes ao destino começar antes que todos os pacotes tenham chegado, diminuindo assim o retardo das mensagens.

Muitas das redes públicas, que já entraram em operação e outras que estão em fase de construção ou mesmo de estudo, não oferecem facilidades para executar a divisão da mensagem em pacotes no nodo-fonte e a remontagem no nodo-destino. E é considerada como uma alternativa filosófica de que a divisão e remontagem seja uma tarefa para o usuário, que deverá planejar um protocolo adequado para isso.

Embora não sendo uma rede pública, a rede ARPA faz a divisão da mensagem de no máximo 8.064 bits em pacotes de 1008 bits no nodo-origem, conforme foi apresentado na subseção 2.5.1. A razão principal disto foi uma característica de projeto em prover um meio de controle de fluxo fim-a-fim entre processos a nível de mensagem. Na la versão do protocolo de controle de fluxo fim-a-fim, ocorreram problemas identificados por KAHN 71 como "reassembly lock-up" e que se constituía na situação da falta de "buffers" disponíveis no nodo-destino para remontar os pacotes de uma mensagem multi-pacotes. Nessa la versão, no nodo-destino não eram alocados "buffers" para a mensagem multi-pacotes. Este protocolo atualmente já está em sua 3a versão (1975) onde este problema foi corrigido. Todavia, foi questionável o quanto foi alcançado pela função divisão/remontagem feita pela RECOMDOS. Em CERF 75 e McQUILLAN 75 eles chegaram a conclusão de que a eliminação da divisão/remontagem pela RECOMDOS

permitiria considerável simplificação dos protocolos da RECOMDOS e, ao mesmo tempo colocando a responsabilidade nos ETDs que fariam a seqüenciação das mensagens, detecção de duplicatas bem como eliminaria as condições de "lock-up" em potencial.

A título de ilustração damos a conhecer que, em agosto de 1973, durante uma semana, várias medidas de desempenho foram realizadas na rede ARPA ("ONE WEEK OF ARPANET DATA") e, dentre outras muitas observações, concluiu-se que o comprimento médio das mensagens foi de 234 bits, o que indicava que não somente existiam poucas mensagens multi-pacotes mas, também, que muitas mensagens de um único pacote tinham tamanho muito pequeno: 218 bits. Em KLEINROCK 76 foi feita a sugestão de que a filosofia do tratamento de mensagens multi-pacotes, como executada pela ARPA, fosse reexaminada.

Acreditamos que, através do uso universal da recomendação X.25 pelas redes públicas, implementando circuitos virtuais entre ETD-origem/ETD-destino, o problema do processamento de mensagens multi-pacotes, ficará a cargo do protocolo de transporte que o CCITT está estudando e que em breve publicará alguma recomendação, ficando a RECOMDOS responsável pela entrega dos pacotes recebidos do ETD-origem em seqüência ao ETD-destino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBER 78 Barber, D.L.A.; Halin, T.; Solomides, C.; "An Implementation of the X.25 Interface in a Datagram Service". Computer Network vol. 2, pp. 340-345 (1978).
- BOCHMANN 77 Bochmann, G.V.; Chung, R.J.; "A Formalized Specification of HDLC classes of Procedures". In "Advances in Computer Communications and Networking" - ARTECH HOUSE (1979).
- CERF 75 Cerf, V.G.; "An Assessment of Arpanet Protocols" In "A Practical View of Computer Communications: TUTORIAL" - IEEE (1978).
- CERF 78 Cerf, V.G.; McQuillan, J.M.; "A Practical view of computer communications: TUTORIAL" IEEE (1978).
- CHORAFAS 80 Chorafas, D.M.; "Data Communications for Distributed Information Systems"-Petrocelli Books, Inc (1980).
- DANTHINE 75 Danthine, A.; Eschenauer, E.; "Influence on the Node Behaviour of the Node-to-Node Protocol". Fourth Data Communications Symposium -IEEE (1975).
- DAVIES 79 Davies, D.; Barber, D.L.A.; Price, W.; Solomides, C.; "Computer Networks and their Protocols" cap. 1,2,4,5,7. John Wiley & Sons (1979).
- FREEMAN 80 Freeman, R.L.; "Telecommunications System Engineering-Analog and Digital - Network Design" cap 8. John Wiley & Sons (1980).

- GROSSMAN 79 Grossman, G.R.; Hinchley, A.J.; Sunshine, C.A.; "Issues in Internacional Public Data Networking". Computer Network vol 3, pp. 259-266 (1979).
- HEART 70 Heart, F.E.; Kahn, R.E.; "The Interface message Processor - IMP - for the ARPA computer network".. AFIPS - Conference Proceeding vol 36, pp. 551-567 (1970).
- HERMANN 76 Hermann, J.; "Flow Control in the ARPA Network". Computer Network vol 1, pp.65-76 (1976).
- IRLAND 75 Irland, M.; "Simulation of Cigale 74". Fourth Data Communications Symposium - IEEE (1975).
- KAHN 71 Kahn, R.E., Crowther, W.; "Flow Control in Resource - Sharing Computer Network". Second Symposium on Problems in the Optimization of Data Communications Systems (1971).
- KIMBLETON 75 Kimbleton, S.R.; Schneider, G.M.; "Computer Communications Networks: Approaches, Objectives and Performance". Computing Surveys vol III, n° 3 (1975).
- KLEINROCK 76 Kleinrock, L.; "Queueing Systems, vol II, cap 5 e 6: Computer Applications". John Wiley & Sons (1976).
- KLEINROCK 78 Kleinrock, L.; "Principles and Lessons in Packet Communications". Proceedings of the IEEE, vol 66, n° 11 (1978).
- KURINCKX 80 Kurinckx, A.; Pujolle, G.; "Overallocation in a Virtual Circuit Computer Network". INRIA-France (1980).
- MANNING 78a Manning, E.G.; "On Datagram Service in Public Packet Switched Networks". Computer Network, vol 2, pp. 79-83 (1978).

- MANNING 78b Manning, E.G.; "The 1976 - Internacional Computer Communications Conference - An Assessment". Computer Network, vol 2, pp. 125-154 (1978).
- McQUILLAN 75 Mcquillan, J.M. "The Evolution of Message Processing Techniques in the ARPA Network". In "A Pratical Vlew of Computer Communications Protocols: TUTORIAL" IEEE (1978).
- MENDES 81 Mendes, I.A.; "Redes de Computadores: Protocolos na rede de comunicação de dados, uma especificação". Tese de Mestrado do Departamento de Informática da PUC/RJ (1981).
- MOLI 78 Moli, G.L.; "On Networking" - In "Computer Networks and Simulation". North Holland (1980).
- MONTEIRO 79 Monteiro, M.A.; "Transmissão automática de Mestrado do Departamento de Informática da PUC/RJ (1979).
- OGUCHI 76 Oguchi, B.; "Computer Telecommunications and Information Networks". Computer Network, vol 1, pp. 259-266 (1976).
- POUZIN 78 Pouzin, L.; Zimmermann, H.; "A Tutorial on Protocols" Proceeding of the IEEE, vol 66, nº 11 (1978).
- ROBERTS 78 Roberts, L.G.; "The Evolutions of Packet Switching" Proceeding of the IEEE, vol 66, nº 11 (1978).
- RYBCZYNSKI 77 Rybczynski, A.M.; Weir, D.F.; "DATAPAC X.25 Service Characteristics". Fifth Data Communications Symposium IEEE (1977).
- RYBCZYNSKI 80 Rybczynski, A.M; Palframan, J.D.; "A Common X.25 Interface to public Data". Computer Network vol 4, pp. 97-110 (1980).

- SCHWARTZ 77 Schwartz, M.; "Computer Communication Network Design and Analysis" capítulos 1, 2,3 e 5. prentice-Hall Inc (1977).
- SCHWARTZ 80a Schwartz, M.; Stern, T.E.; "Routing Techniques used in Computer Communication Networks". IEEE Transactions on Communications, vol. COM 28, nº 4 (1980).
- SCHWARTZ 80b Schwartz, M.; "Routing and Flow Control in Data Networks". Research Report - IBM (1980).
- STENNING 76 Stenning, N.V.; "A Data Transfer Protocol". Computer Network vol 1, pp. 99-110 (1976).
- SUNSHINE 78 Sunshine, C.A.; "Survey Protocol Definition and Verification Techniques". Computer Networks vol 2, pp. 346-350 (1978).
- YOSHIDA 78 Yoshida, I.; Miyasaki, N.; Sahuma M.; Matsushita, Y.; "An Overall Network Architecture Suitable for Implementations with Datagram or Virtual Circuit Facilities" Computer Communication Review - ACM, vol 8, nº 3 (1978).
- YOSHIDA 79 Yoshida, I.; Matsushita, Y.; yamazaki, H.; "An Evaluation of Virtual Circuits and Lettergram Services". Computer Network vol 3, pp. 287-294 (1979).
- ZIMMERMANN 75 Zimmermann, H.; "The Cyclades End-to-End Protocol". Fourth Data Communications Symposium - IEEE (1975).