

Uma Abordagem ao Problema de Interconexão  
de Redes Locais a Redes de Longa Distância

Cesar Augusto C. Teixeira\*

Elsa Deguti\*\*

Lee Kwong Sing\*\*\*

Este artigo é uma síntese do trabalho, realizado pelos autores, na disciplina "Protocolos para Redes de Computadores", ministrada pela Profª Drª Stefania Stiubiener no segundo semestre de 1983, dentro do programa de Pós-Graduação da EPUSP.

O objetivo do texto é servir como subsídio inicial ao estudo da interconexão de redes locais (RL) a redes de longa distância (RLD), que é um problema atual, imposto pela necessidade de novas aplicações, e de solução viável devido à evolução tecnológica na área de redes de computadores. No entanto existem muitas questões sujeitas a maiores estudos para se estabelecerem soluções adequadas.

Dentro do escopo do problema de interconexão de RL a RLD, abordam-se no artigo, com maior especificidade, as questões de compatibilização de protocolos das redes a serem interligadas, e o nível em que deve ser estabelecida a interconexão.

\* Universidade Federal de São Carlos - Deptº Computação

\*\* Digirede Ind. Com. de Equipamentos Eletrônicos Ltda.

\*\*\* Pirelli S.A. Cia. Ind. Brasileira

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 - Motivação

A necessidade do estabelecimento de comunicação entre processadores implicou no surgimento de redes de computadores. À medida em que a tecnologia nessa área foi-se desenvolvendo, e novas necessidades, não satisfeitas pelas redes, foram surgindo, fez-se necessário evoluir no sentido de se interconectar duas ou mais redes, formando-se o que se denomina inter-rede.

A interconexão de redes, além de possibilitar a comunicação entre usuários situados em redes distintas, permite também a utilização de recursos não disponíveis localmente, ou seja, na rede a qual pertence. A utilização ocasional de recursos computacionais especializados, geralmente muito caros, não justifica a aquisição desses. O compartilhamento de recursos é a solução mais viável nesse caso.

Entre as aplicações que adquirem maior abrangência pela interconexão de redes citam-se: correio eletrônico, acesso a banco de dados especializados, compartilhamento de "software" e/ou "hardware" não disponível localmente, transmissão de voz, etc.

### 1.2 Interconexão Heterogênea

Uma interconexão heterogênea interliga redes com características distintas quanto ao protocolo, a taxa de transmissão, etc; a interconexão homogênea por sua vez interliga redes similares.

O protocolo X.75 [1] é uma recomendação que especifica e disciplina os procedimentos necessários nas interconexões homogêneas de redes que obedecem a padronização X.25 [2]. A interconexão de RL's a RLD's, porém, é bastante heterogênea, e devido às grandes disparidades existentes entre esses dois tipos de redes, apresentam-se problemas característicos que devem ser considerados numa proposta de protocolo para tal interconexão.

Entre as questões a se deparar na interconexão de RLs a RLDs citam-se:

- a) Como a Rede Local deve estar fisicamente ligada à RLD?
- b) Como a Rede Local deve acessar a RLD para poder se comunicar com outra Rede Local?
- c) Até que nível do protocolo deve haver a compatibilização, para que se realize a comunicação?
- d) Como resolver o problema da incompatibilidade das taxas de transmissão?
- e) Como conciliar os atrasos sem aumentar muito o tempo de resposta ao usuário?
- f) Que tipo de endereçamento deve ser utilizado?

As decisões acerca da interconexão devem ser tomadas, preferencialmente, antes da implementação das redes. Assim é possível construí-las moldadas à interligação, o que certamente implica na diminuição dos custos da interface de interconexão e no aumento do desempenho efetivo da inter-rede.

Em geral a RLD já existe e obedece a padrões estabelecidos, e o que sobra é a opção de se construir a RL de maneira adequada, a fim de se facilitar a interconexão.

No entanto, a construção de uma RL compatível à RLD à qual se rá interligada, produz o efeito colateral da deterioração do desempenho nas operações intra-rede (local). A outra opção, geralmente adotada quando o volume de operações intra-rede local for grande, é o projeto da RL visando a maximização da eficiência nas transações locais, e a construção de interfaces mais complexas e caras para a interligação com a RLD.

## 2. INTERFACE DE INTERCONEXÃO

A conexão entre duas redes é realizada por uma interface de interconexão, doravante denominada "gateway".

O "gateway" é um processador incumbido de realizar operações de roteamento, quando necessário, e traduções de protocolos, no sentido de permitir a comunicação entre as redes, num determinado nível. Isso implica no controle de fluxo, armazenamento temporário de informações, compatibilização de taxas de comunicação diferentes, controle de erro, fragmentação de pacotes, etc.

Conforme ilustra-se na figura 2.1, o "gateway" é composto de dois módulos de interface de rede e dois módulos de processamento de protocolo, justapostos e interligados por um módulo de tradução [4].

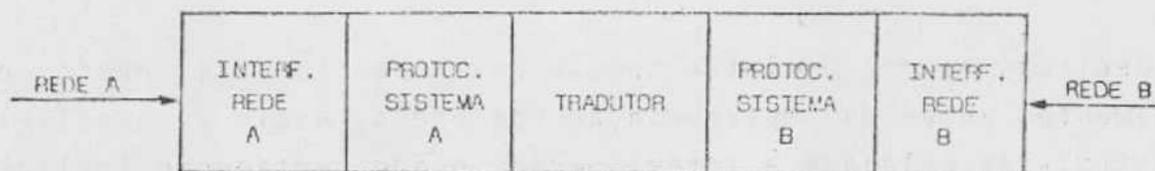


Fig. 2.1 - Estrutura de um "gateway"

Os módulos interface de rede realizam funções equivalentes aos níveis 1 e 2 do modelo ISO. Dependem fundamentalmente das características físicas das redes às quais se ligam, e que podem incorporar desde canais de comunicação rápidos, comuns às redes locais, até multi-canais de comunicação de sistemas baseados em satélites, em redes de longa distância.

Os módulos de processamento de protocolo manipulam as informações, provindas das interfaces de rede respectivas e do módulo de tradução, e suas ações equivalem-se aos níveis 3 e superiores do modelo ISO.

O tradutor realiza as conversões necessárias para compatibilizar as possíveis diferenças entre as duas partes do "gateway", relacionadas a cada rede interconectada. A sua complexidade, como se verá no próximo item, é tanto maior quanto maior for o nível de interconexão.

### 3. NÍVEL DE INTERCONEXÃO E COMPATIBILIZAÇÃO

#### 3.1 - Terminologia

Apresentam-se algumas técnicas de estruturação utilizadas em redes de computadores, e focaliza-se o problema de interconexão de redes dentro desse contexto [5].

##### Encadeamento

Encadear consiste em formar uma cadeia linear de entidades (Fig. 6.1), que repassam ou programam solicitações e objetos ao longo da cadeia. O repasse de um pacote, através do caminho entre sua estação de origem e seu destino, numa rede de comutação de pacotes, é um exemplo de encadeamento. O encadeamento é a única forma de se estabelecer a comunicação entre duas entidades, que não estejam conectadas diretamente.

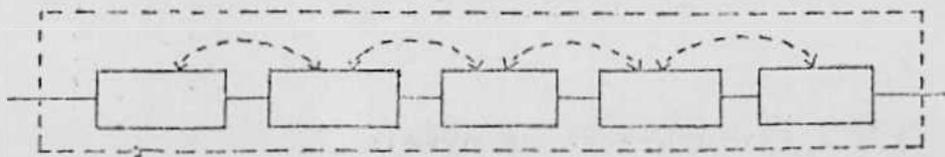


Fig. 3.1 - Encadeamento de entidades

##### Cobertura

Quando as funções, executadas por um conjunto de entidades cooperativas, não são exatamente aquelas requeridas por seus usuários, pode-se adicionar uma camada de entidades, cobrindo o conjunto inicial, como mostra a figura 4.2. As entidades dessa cobertura comunicam-se através do conjunto inicial, e realizam as funções modificadas ou adicionais. Como exemplos citam-se os modems, que permitem a transferência de dados em canais próprios para transmissão de voz, ou os protocolos de transporte, que permitem transmissões confiáveis em redes de comutação de pacotes não confiáveis.

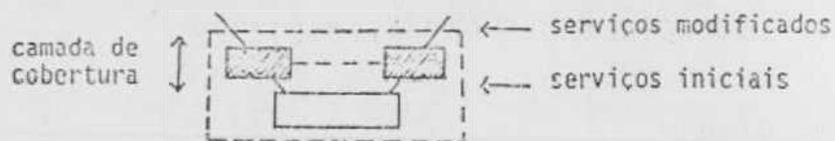


Fig. 3.2 - Cobertura

### Estruturação em Níveis

Como se observa na figura 3.3, as entidades do nível  $n$  servem de suporte para a comunicação entre as entidades do nível  $n+1$ . A estruturação em níveis prossegue dessa maneira até o mais alto nível, onde as entidades cooperam-se para suprirem suas próprias necessidades. Cada nível da estrutura deve ser totalmente independente, qualquer que seja a organização interna dos níveis inferiores a ele.

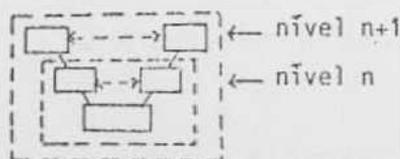


Fig. 3.3 - Estruturação em níveis

### Encadeamento de serviços

A função primordial de um "gateway" é repassar informações de uma rede a outra. É no "gateway", portanto, que se realiza o encadeamento, entre as redes A e B, que apresentam estruturas diferentes.

O "gateway" da figura 3.4 propicia aos usuários X e Y a visão da concatenação das redes A e B como uma única rede global  $A \propto B$ , sem intervir na cooperação entre X e Y. Em outras palavras, o "gateway" é transparente aos protocolos entre X e Y, pois ele situa-se em níveis inferiores.

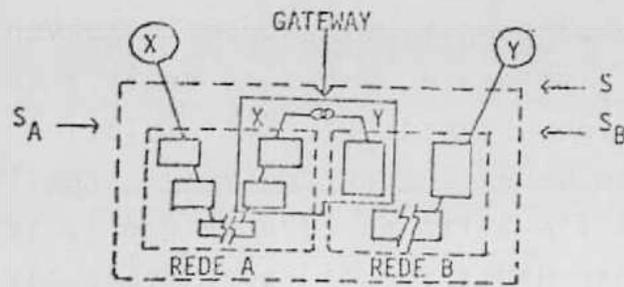


Fig. 3.4 - Encadeamento através de um "gateway"

### Nível de interconexão

O nível de interconexão de redes, é definido como o nível mais alto sujeito a intervenções do "gateway". A interconexão de duas redes locais homogêneas, por exemplo, pode-se dar a nível físico, enquanto que a interconexão de redes públicas ocorre geralmente a nível de pacotes.

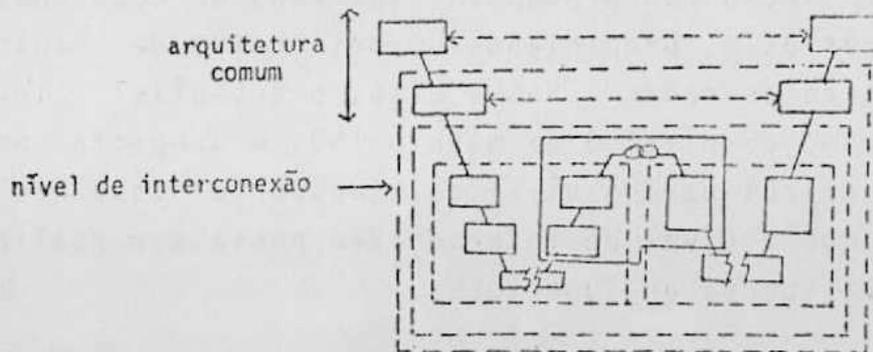


Fig. 3.5 - Nível de interconexão

### 3.2. Equivalência de Serviços e Compatibilização de Protocolos

Entre os itens de compatibilização de protocolos, em seus diversos níveis, citam-se: endereçamento, controle de fluxo, casamento de velocidade, tipos de serviços (circuito virtual X "datagrama"), etc.

Para se realizar essas compatibilizações, é conveniente adicionar-se mais um nível em uma ou ambas as redes a serem interligadas. Este nível é denominado sub-nível inter-rede e é inserido apenas na estação usuária e no "gateway", realizando-se portanto uma cobertura fim-a-fim na rede original, sem necessitar modificar os nós intermediários da rede. (vide fig. 3.6)

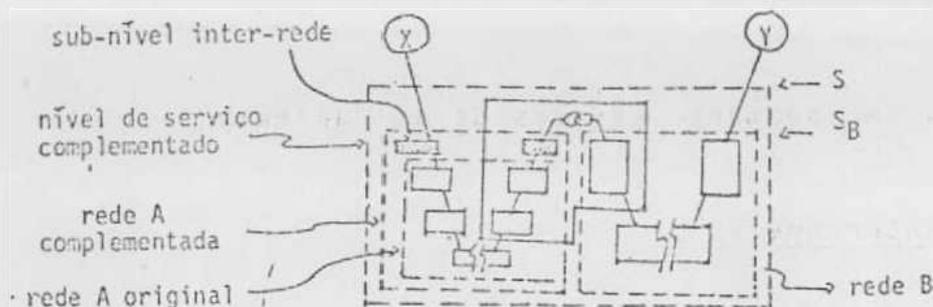


Fig. 3.6 - Adaptação de serviços para compatibilização de protocolos

Cerf & Kirstein [6] consideram que "o princípio do gateway" é dar uma terminação aos protocolos internos de cada rede, conectados através dele, propiciando um meio comum de transferência de dados entre as redes". Nesse caso, o sub-nível inter-rede situa-se acima do nível 3 do modelo ISO, e propicia um nível comum de serviços para o nível de transporte. Isso não impede, entretanto que o nível de interconexão possa ser realizado no nível de transporte ou superiores.

As conversões de protocolos que precisam ser realizados pelo "gateway", dependem do nível a partir do qual existe compatibilidade entre os sistemas conectados. Deve-se notar que o "gateway", ao realizar conversões de protocolos acima do nível 3, estará realizando algumas funções normalmente inerentes aos usuários finais, como por exemplo o controle fim-a-fim a nível de transporte (vide fig. 3.7).

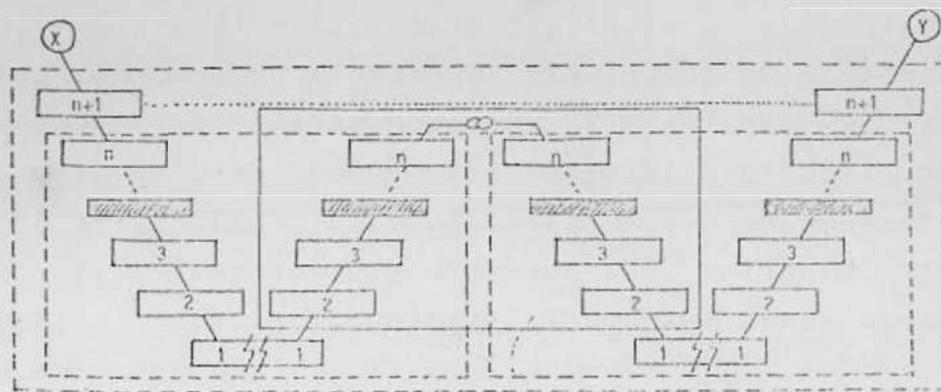


Fig. 3.7 - Nível de interconexão acima do nível 3

Uma rede local geralmente oferece serviço tipo datagrama, enquanto que RLDs fornecem comumente serviço tipo circuito virtual. Ao se interconectar duas redes com essas características, pode-se optar por duas soluções de compatibilização:

- a) Interconexão a nível de circuito virtual (vide figura 3.8). Nesse caso, deve-se adicionar um sub-nível que cubra a rede datagrama, de maneira a realizar um circuito virtual. As funções adicionais do sub-nível incluem, por exemplo: estabelecimento, manutenção e cancelamento de conexão; manutenção da ordem dos pacotes; controle de fluxo, etc.

O protocolo X.25, por exemplo, não permite que uma linha de acesso à RLD seja compartilhada por vários endereços. Sendo assim, torna-se necessário cobrir também as funções de circuito virtual, para a realização de endereçamento e roteamento inter-rede.

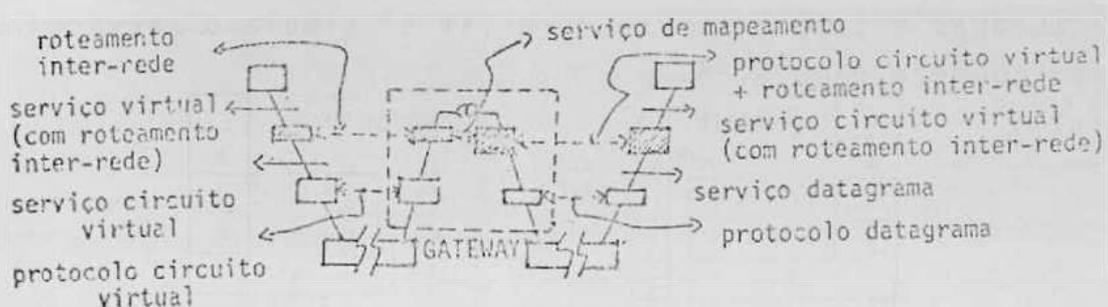


Fig. 3.8 - Interconexão a nível circuito virtual

b) Interconexão a nível datagrama (vide figura 3.9). Deve-se adicionar um sub-nível, cobrindo a rede com circuito virtual, de maneira a se obter um serviço datagrama no topo dos circuitos virtuais. O sub-nível deve requerer o estabelecimento de circuitos virtuais e providenciar a liberação entre usuários da inter-rede e o "gateway". Os datagramas passam então transparentemente por esses circuitos virtuais.

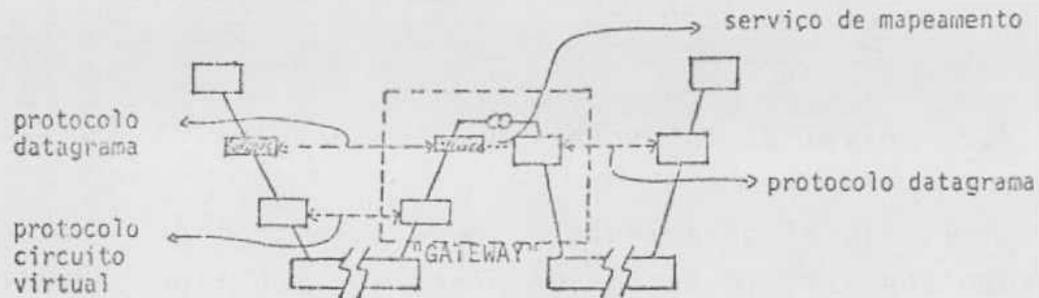


Fig. 3.9 - Interconexão a nível datagrama

### 3.3. Interconexão de RLs através de RLDs

Além da questão de interconexão de uma rede local a uma RLD, para que um usuário da rede local possa utilizar recursos alocados num hospedeiro da RLD, existe o problema específico do uso da RLD apenas como meio de comunicação na interligação de várias redes locais. Nesse caso, não existe comunicação fim-a-fim entre usuários da rede local e usuários da RLD.

A interconexão pode ocorrer a nível 3, ou superior, e através de serviço datagrama ou circuito virtual [7].

Na figura 3.10, o nível 3 proporciona um serviço datagrama entre as duas estações finais. O nível 3' simula o serviço datagrama sobre a rede X.25.

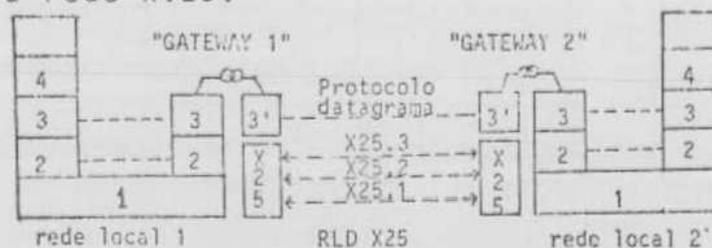


Fig. 3.10 - Interconexão de duas RLs através de uma RLD X.25 com simulação de serviço datagrama.

Na figura 3.11, o nível 3' adicionado na comunicação das estações da rede local com o "gateway", permite a construção de circuitos virtuais sobre o serviço datagrama oferecido pela rede local.

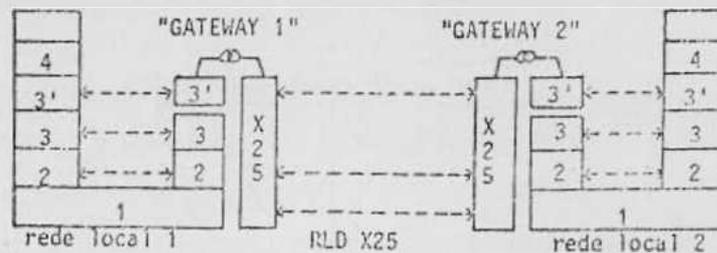


Fig. 3.11 - Interconexão de duas RLs através de uma RLD X.25 com serviço circuito virtual

#### 4. FUNÇÕES OPERACIONAIS

##### 4.1. Controle de Erros

No ambiente de interconexão, o controle de erros pode variar de acordo com o tipo de redes sendo interconectadas.

O cascadeamento de procedimentos de controle de erros numa rede pode ser facilmente estendida para outras redes, sem se ter perda no seu desempenho. A figura 4.1 ilustra o controle de erros efetuado sobre uma interconexão de redes com serviço datagrama.

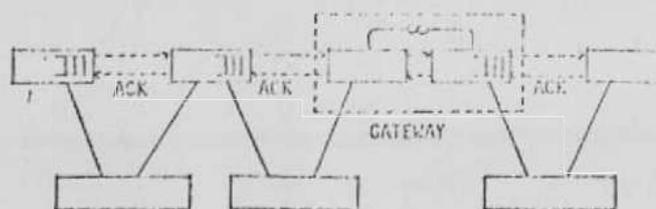


Fig. 4.1 - Controle de erros - interconexão com serviço datagrama

Se o controle de erros for fim-a-fim em ambas redes, então, na interconexão, o nível de serviço pode ser mantido preservando-se assim o significado fim-a-fim dos reconhecimentos. Portanto,

neste caso o "gateway" deve operar de forma transparente, apenas transferindo os pacotes de reconhecimento de uma rede para outra (vide figura 4.2).

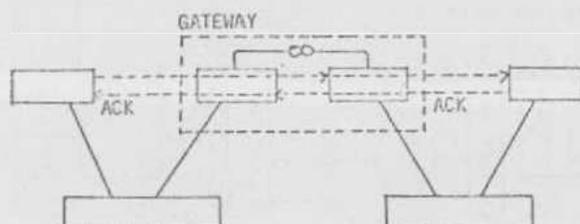


Fig. 4.2 - "Gateway" passivo preservando o controle de erro fim-a-fim

Existe um problema de desempenho neste tipo de interconexão, pois os atrasos médios dos pacotes pode aumentar bastante, devido ao aumento de tempo de retorno dos reconhecimentos, juntamente com a sua variância, devido a variação do tempo de trânsito de um pacote através do sistema.

Quando a interconexão for entre redes com controle de erros incompatíveis (uma sendo fim-a-fim e a outra sendo local), existe a necessidade de se efetuar um ajuste nos respectivos níveis de serviço. Os "gateways" para este tipo de interconexão serão considerados efetivamente como o usuário final do ponto de vista do controle de erro (vide fig. 4.3).

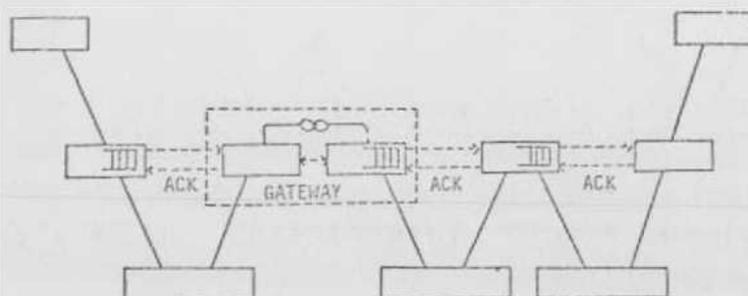


Fig. 4.3 - Controle de erro sem significado fim-a-fim

#### 4.2. Controle de Fluxo

Se o controle de fluxo das redes interconectadas for fim-a-fim, então o "gateway" deve apenas transferir as informações de controle de fluxo entre as redes. Neste caso surgem problemas no desempenho, pois os atrasos nos pacotes tendem a aumentar, com o controle fim-a-fim ao longo de todo o sistema.

Na interconexão de duas redes com controle de fluxo incompatíveis, a solução é a escolha de um serviço comum e ainda, fim-a-fim, para se executar essa função.

#### 4.3. Controle de Congestionamento

No ambiente de interconexão, o controle de congestionamento é necessário a fim de prevenir excesso de tráfego de pacotes através do "gateway". Isto pode ser feito de várias maneiras, dependendo do grau de complexidade desejado.

Por exemplo, no P.U.P. (modelo de interconexão baseado em datagrama) [8], não é necessário que todo pacote seja transmitido com sucesso através do "gateway". Assim, quando o "gateway" entra numa condição de excesso de tráfego, este pode começar a descartar os pacotes que chegam, enviando à origem um pacote de reconhecimento negativo.

#### 4.4. Fragmentação de Pacotes

Dois tipos de fragmentação de pacotes, inter-rede e intra-rede, podem ser aplicados na interconexão.

Na fragmentação inter-rede, o procedimento de subdivisão dos pacotes está na interface inter-rede, que verifica o tamanho dos pacotes em relação à rede na qual estão para entrar, e subdivide-os se necessário. Cada fragmento é transmitido independente ao longo da rede e o pacote é reconstituído no destino.

Na fragmentação intra-rede, (network-specific fragmentation), quando o pacote chega à rede o próprio driver específico verifica seu tamanho e o fragmenta se necessário. Quando um pacote vai sair da rede, então um driver similar irá reconstituí-lo antes de transmiti-lo ao "gateway".

## 5. CONCLUSÃO

A interconexão de uma rede local a uma rede RLD é uma realização que envolve muitas decisões, devido às grandes diferenças existentes entre essas duas categorias de rede. A previsão de interconexão desse tipo, feita na época de concepção da rede local, pode, entretanto, amenizar as discrepâncias e diminuir as dificuldades. O controle de erros por exemplo deve compatibilizar uma rede altamente confiável, praticamente sem controle de erros, com uma rede mais complexa e com uma taxa de erros maior, sendo seu controle bem mais sofisticado. O controle de fluxo e de congestionamento devem compatibilizar as altas taxas de operação das redes locais (10 Mbits/s) com as taxas menores de operação da rede pública (56 Kbits/s).

As opções, envolvidas no processo de interconexão, são funções: do nível de independência de protocolos entre as redes conectadas; dos defeitos colaterais sobre o comportamento intra-rede em decorrência da interconexão; da complexidade e do custo do "gateway"; da capacidade das estações finais em suportar vários protocolos fim-a-fim; do atraso de pacotes inter-rede; da quantidade de "software" que necessita ser desenvolvido; etc. Portanto, para uma determinada finalidade, a forma mais adequada de se interconectar uma rede local a uma RLD, é uma questão de compromisso existente entre esses fatores, que devem ser ponderados e analisados a fim de chegar a uma solução satisfatória.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - CCITT X.75 - "Recommendations provisionally adapted"  
Geneva - 1979
- [2] - Sloman, M.S. - "Standards and Protocols: X.25 Explained"  
Computer Communications, vol. 1, nº 6, pg. 310-328,  
12/1978
- [3] - Schneidewind, N.F. - "Interconnecting Local Networks to  
Long Distance Networks" - IEEE Computer, pg. 15-24 -  
09/1983
- [4] - Benhamou E., Estrin J. - "Multilevel Internetworking Ga  
teway: Architecture and Applications" - IEEE Computer  
pg. 27-34 - 09/1983
- [5] - Giev M., Zimmermann H. - "Design Principles for Network  
Interconnection" - Proceeding of the 6th Data Communica  
tions Symposium, pg. 109-119 - 11/1979.
- [6] - Cerf V.G., Kirstein P.T. - "Issues in Packet Network In  
terconnection" - Proc. IEEE - Vol. 66, 11, pag. 1386 -  
1408 - 11/1978.
- [7] - Ansart J.P et al. - "Danube Local Network Interconnections"  
Computer Networks, vol. 6, pag. 279-287 - IFIP 1982
- [8] - Boggs D.R., et al - "PUP: An Internetwork Architecture"-  
IEEE - Transactions on Communications - vol. 28, nº 4,  
pg. 612-634, 1979.