

Título: PROTOCOLOS DE ENLACE
DE DADOS

Autores: J.F.M.ARAÚJO, W.F.GIOZZA,
J.A.B.MOURA, J.P.SAUVÉ

Relatório Técnico nº 06/85
(Circulação Restrita)*

Data: SETEMBRO/85

- * Este Relatório Técnico é parte de um livro sobre Redes Locais sendo escrito pelos autores com apoio da EMBRATEL. Pedese não reproduzir ou divulgar o seu conteúdo sem a prévia autorização dos autores e da EMBRATEL.

Í N D I C E

1. Introdução
2. Detecção de Erros
3. Correção de Erros
 - 3.1 - Reconhecimento Positivo
 - 3.2 - Reconhecimento Negativo
 - 3.3 - Protocolos Contínuos
 - 3.4 - Controle de Fluxo
4. Funcionamento do Enlace de Dados
 - 4.1 - Protocolos Orientados a Caracter
 - 4.2 - Protocolos Orientados a Bit
5. Exemplos de Protocolos de Enlace - o BSC
6. Exemplos de Protocolos de Enlace - o HDLC
 - 6.1 - Descrição Geral
 - 6.2 - Elementos de Procedimentos
 - 6.3 - Exemplos de Troca de Comandos/Respostas
7. Nível de Enlace em Redes Locais
 - 7.1 - Descrição Geral
 - 7.2 - A Proposta IEEE 802
8. Resumo
9. Referências

1. - INTRODUÇÃO

A camada de enlace de dados é a segunda na hierarquia, imediatamente acima da camada de meios físicos, no modelo de referência da ISO para padronização de protocolos.

Os mais diversos meios tem sido utilizados para interconexão de computadores: rede telefônica, cabo coaxial, fibra ótica e micro ondas entre outros. A responsabilidade da camada de meios físicos, é levar uma sequência de bits do transmissor ao receptor. Nessa camada são estabelecidos os níveis elétricos que representarão os bits, definida a taxa de transmissão, o formato e número de pinos nos conectores atenuação máxima e outras características elétricas e mecânicas.

Durante a transmissão, esses bits podem sofrer alterações indesejáveis por uma série de razões: ruído eletromagnético, falha na sincronização do receptor em relação ao transmissor, ou defeito nos componentes que implementam os circuitos de transmissão e recepção.

A camada de meios físicos portanto oferece um mecanismo de transporte de dados não confiável do ponto de vista de erros de transmissão.

Como transmissão sem erros é um requisito essencial de quase todas as aplicações de comunicação de dados (imagine transferência eletrônica de fundos entre bancos sujeita a erros!), uma série de mecanismos devem ser implementados para detetar e corrigir possíveis erros.

A principal finalidade da camada de enlace é implementar mecanismos de detecção e recuperação de erros, oferecendo desse modo aos níveis superiores um serviço mais confiável (Fig. 1).

Outras funções dessa camada incluem: o estabelecimento de uma conexão e procedimentos que permitam o uso eficiente dos meios de transmissão.

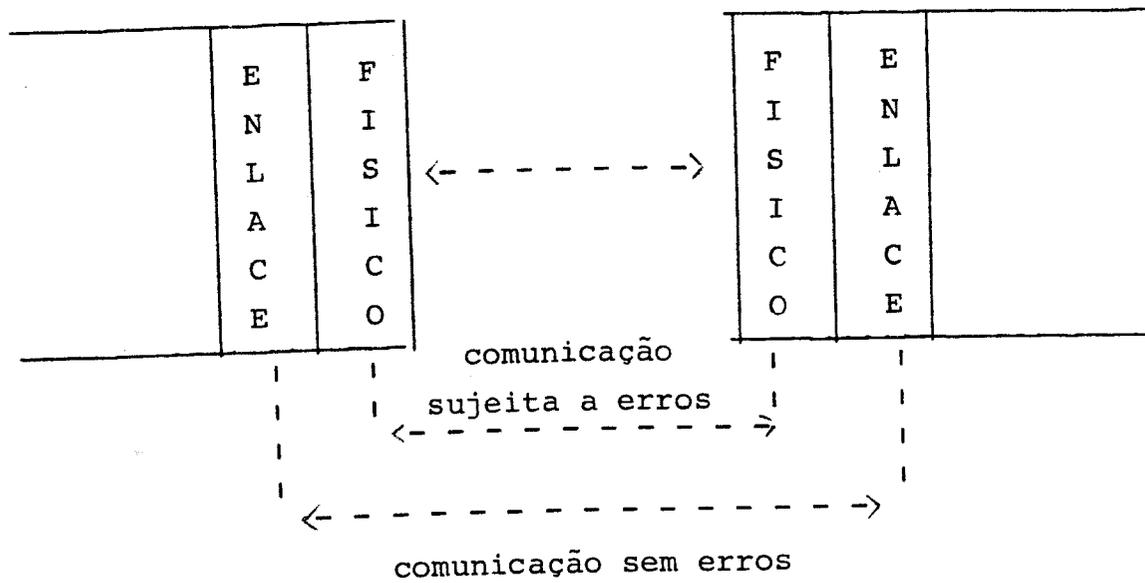


Fig. 1 - Níveis Físico e de Enlace

2. - DETEÇÃO DE ERROS DE TRANSMISSÃO

A maneira utilizada para detetar que bits de informação foram alterados durante a transmissão, consiste em incluir bits adicionais de redundância na mensagem a ser transmitida, de modo a permitir verificar na recepção se houver erro na mensagem recebida.

A figura 2 ilustra esse procedimento. Um bloco de k bits de informação é codificado em um bloco de n bits pelo acréscimo de $n-k$ bits de redundância e então transmitido. Na recepção o bloco de n bits é decodificado e os k bits de informação entregues ao destinatário.

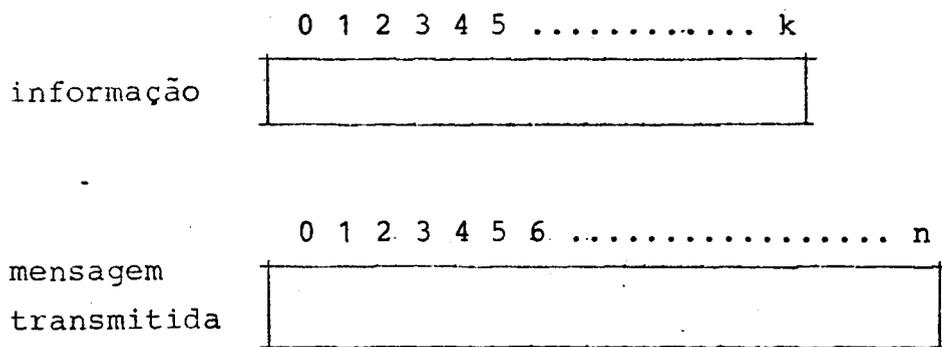


Fig. 2

Diversas técnicas tem sido utilizadas para essa finalidade como por exemplo:

- . Bit de paridade por caracter
- . Paridade horizontal (Longitudinal Redundancy Check)
- . Redundância cíclica (Cyclic Redundancy Check)

Bit de Paridade - A técnica mais simples, consiste em acrescentar um bit as palavras do código de representação dos caracteres. No exemplo abaixo o caracter A, é representado no código ASCII - American National Standard Code for Information Interchange, pela configuração de bits mostrada:

A - 1000001 P

O bit P de paridade é acrescentado com o valor zero ou um de modo a fazer o número total de bits em 1 na palavra de código par (paridade par), ou impar (paridade impar).

No exemplo acima, usando paridade par o bit P seria igual a 0. Caso desejássemos paridade impar, faríamos o bit P igual a 1.

O caracter é transmitido e na recepção o bit de paridade é verificado. Se a paridade não conferir com o valor esperado, então houve um erro de transmissão. Esse método deteta erros que envolvam a troca de apenas 1 bit.

Paridade Horizontal - O método de paridade horizontal consiste em acrescentar à mensagem, um caracter (bcc - block character check), que represente uma operação sobre os bits dos caracteres que compõem a mensagem. No exemplo abaixo a mensagem UFRJ é representada no código ASCII e o bcc calculado como a paridade dos bits de mesma posição em cada palavra do código.

| U | F | R | J | bcc |
|---|---|---|---|-----|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Os bits são transmitidos serialmente por coluna, desse modo são detetados os erros que consistam na inversão de apenas 1 bit e também erros do tipo rajada (vários bits alterados).

O comprimento da rajada é definido como sendo o número total de bits entre o primeiro e o último alterado incluindo estes. A paridade longitudinal permite a detecção de rajadas, com comprimento i igual ou menor que o número de linhas da matriz, uma vez que apenas 1 bit de cada linha seria alterado. Rajadas maiores que esse número ou várias rajadas menores, podem não ser detetadas.

Esse método é bastante mais poderoso em termos de detecção de erros que o uso apenas de paridade por caracter, e é facilmente implementado por software uma vez que para calcular o bcc basta fazer uma operação ou-exclusivo (exclusive-or), dos caracteres a serem transmitidos, uma instrução existente em quase todos os computadores.

Redundância cíclica - O método de verificação cíclica (CRC), é mais eficiente na detecção de erros e é bastante utilizado. Consiste também em acrescentar a um bloco de k bits de informação, n-k bits de verificação (CRC). Para transmissão, a representação binária da informação é dividida módulo 2, por um número pré-determinado. O resto da divisão é acrescentado a mensagem como bits de verificação. Na recepção, a mensagem recebida é dividida pelo mesmo número e o resto comparado com o que foi recebido, se não coincidir então houve erro de transmissão.

Para analisar o método é conveniente pensar na representação binária da informação como coeficientes de um polinômio em uma variável x qualquer [1].

Assim o bloco de informações 10101011, pode ser representado pelo polinômio de grau 7:

$$P(x) = 1 \cdot x^7 + 0 \cdot x^6 + 1 \cdot x^5 + 0 \cdot x^4 + 1 \cdot x^3 + 0 \cdot x^2 + 1 \cdot x^1 + 1 \cdot x^0$$

ou excluindo os termos com coeficientes zero:

$$P(x) = x^7 + x^5 + x^3 + x + 1$$

A idéia desse método é transformar esse polinômio $P(x)$, em um outro $F(x)$, múltiplo de um polinômio gerador predefinido $G(x)$ de grau $n-k$, para transmissão. Na recepção $F(x)$ é dividido por $G(x)$ e o resto da divisão deve ser zero pois $F(x)$ é múltiplo de $G(x)$, se não for zero então houve erro na transmissão.

As operações com os polinômios são feitas usando álgebra comum e aritmética módulo 2, ou seja na soma e subtração não tem "vai um", como mostrado abaixo.

S O M A

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 0$$

S U B T R A Ç Ã O

$$0 - 0 = 0$$

$$0 - 1 = 1$$

$$1 - 0 = 1$$

$$1 - 1 = 0$$

S O M A

$$\begin{array}{r} x^3 + x^2 + 1 \\ x^2 + x + 1 \\ \hline x^3 + x \end{array}$$

M U L T I P L I C A Ç Ã O

$$\begin{array}{r} x^3 + x^2 + 1 \\ \hline x + 1 \\ \hline x^3 + x^2 + x + 1 \\ x^4 + x^3 + x + 1 \\ \hline x^4 + x^2 + x + 1 \end{array}$$

Suponha o seguinte bloco de $k = 8$ bits de informação: 10101011, ao qual queremos acrescentar $n - k = 3$ bits de verificação. Como visto, esse bloco pode ser expresso como um polinômio da forma:

$$P(x) = x^7 + x^5 + x^3 + x + 1$$

O seguinte método é então usado para calcular o CRC:

1. São acrescentados tantos zeros no final do bloco de informações, quanto forem os bits de CRC desejados, teremos então:

10101011 000

que corresponde a operação:

$x^{n-k} \cdot P(x)$ no caso $n-k = 3$ logo:

$$x^3 \cdot P(x) = x^{10} + x^8 + x^6 + x^4 + x^3$$

2. O polinômio $x^{n-k} \cdot P(x)$ é dividido por $G(x)$, o polinômio gerador. Nesse exemplo $G(x) = x^3 + x + 1$ (como dito anteriormente, $G(x)$ deve ser de ordem $n-k$).

$$\begin{array}{r} x^3 \cdot P(x) \text{ -- } 10101011000 \\ G(x) \quad \quad \text{-- } 1011 \end{array}$$

Como resultado dessa divisão obteremos um polinômio cociente $Q(x)$ e um resto $R(x)$.

| | | | | |
|--------|-----|------|---|--|
| $Q(x)$ | --- | 1011 | $\begin{array}{r} 10011101 \\ \hline 101010111000 \\ 1011 \\ \hline 00011 \\ 0000 \\ \hline 00110 \\ 0000 \\ \hline 01101 \\ 1011 \\ \hline 01101 \\ 1011 \\ \hline 01100 \\ 1011 \\ \hline 01110 \\ 1011 \\ \hline 01010 \\ 1011 \\ \hline 0001 \end{array}$ | <p>--- $Q(x)$</p> <p>--- $x^3 \cdot P(x)$</p> <p>--- $R(x)$</p> |
|--------|-----|------|---|--|

O polinômio $R(x)$ é portanto 1

Como $x^3 \cdot P(x) = Q(x) \cdot G(x) + R(x)$, e em módulo 2 soma é igual a subtração, pode-se fazer:

$$x^3 \cdot P(x) + R(x) = Q(x) G(x)$$

O polinômio a ser transmitido será:

$$F(x) = x^3 \cdot P(x) + R(x)$$

Um múltiplo de $G(x)$ como desejado. Nesse caso:

$$F(x) = x^{10} + x^8 + x^6 + x^4 + x^3 + 1$$

1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1

Como mostrado, a sequência a ser transmitida é constituída simplesmente dos bits de informação seguidos dos bits de verificação.

Na recepção o polinômio $F(x)$ recebido é dividido pelo polinômio gerador $G(x)$. Como $F(x)$ é múltiplo de $G(x)$ o resto dessa divisão deve ser zero no caso da mensagem estar correta.

Em caso de haver erro, o polinômio recebido não será $F(x)$, mas um outro polinômio $H(x) = F(x) + E(x)$, onde $E(x)$ representa as posições alteradas.

Erros não serão detetados se $(F(x) + E(x))/G(x)$ tiver resto igual a zero. Como $F(x)$ é divisível por $G(x)$, então um erro não será detetado se $E(x)$ for divisível por $G(x)$.

Para minimizar a possibilidade de um erro não ser detetado, $G(x)$ deve ser criteriosamente escolhido [1]. Por exemplo se $G(x)$ contiver pelo menos dois termos, ele não dividirá x^i e portanto detetará todos os erros de troca de apenas 1 bit.

Para analisar a eficiência do método para detecção de erros do tipo rajada, suponha uma rajada de comprimento b , o número de bits entre o primeiro e o último errados incluindo esses, por ex. polinômio $E(x) = x^9 + x^7$, contém uma rajada de tamanho 3, x^i , representa as posições alteradas.

Qualquer polinômio gerador de grau $n-k$ que contenha o termo x^0 , não conterá x^i como fator e detetará todos os erros tipo rajada de comprimento menor ou igual a $n-k$. Para provar isso, considere que qualquer polinômio $E(x)$ pode ser fatorado em: $x^i \cdot E_1(x)$. No exemplo acima, $E(x) = x^7 \cdot (1 + x^2)$.

Como x^i não é o fator de $G(x)$, x^i não é divisível por $G(x)$. Para que o erro não fosse detetado seria necessário que $E_1(x)$ fosse divisível por $G(x)$. Como porém $E_1(x)$ é de ordem b , menor ou igual a $n-k$, ele também não é divisível por $G(x)$, logo qualquer rajada de

comprimento b , menor ou igual a $n-k$ será detetada.

O polinômio gerador CRC-16 padronizado pela CCITT $x^{15} + x^{12} + x^2 + 1$, é capaz de detetar todos os erros tipo rajada de comprimento menor ou igual a 16, 99,997% de rajadas de 17 bits e todos os erros simples, duplos ou erro com número ímpar de bits alterados.

3. - CORREÇÃO DE ERROS

As técnicas mostradas na seção anterior, servem para detar que houve erro na transmissão. O método em geral usado para corrigir o erro é baseado no pedido de retransmissão do bloco errado.

Existem códigos que permitem a detecção e identificação do erro [2] e portanto sua correção no destino, sem necessidade de retransmissão. Eles no entanto exigem muitos bits de redundância, o que limita sua aplicação em transmissão de dados à aplicações onde a retransmissão é impossível.

Os objetivos do mecanismo de retransmissão são [3,4]:

- Garantir a confiabilidade
- Garantir o uso eficiente dos recursos de transmissão, minimizando o atraso nas retransmissões e ao mesmo tempo evitando retransmissões redundantes de duplicatas.
- Operação simples, para permitir a definição do procedimento sem ambiguidade e reduzir a complexidade da implementação.

Duas alternativas são empregadas na retransmissão de blocos com erro: reconhecimento positivo e reconhecimento negativo.

. Reconhecimento Positivo:

Nesse caso existe associado a fonte da mensagem um temporizador (timer). A fonte envia o bloco e aguarda um determinado intervalo de tempo (temporização), por uma mensagem resposta, indicando que o bloco chegou corretamente (reconhecimento positivo). Se o reconhecimento não chegar dentro desse intervalo de tempo, então o bloco deve ser retransmitido. O procedimento no destino é verificar se o bloco está correto e enviar o reconhecimento ou no caso do bloco apresentar erro, descartá-lo e aguardar a retransmissão.

Este método é bastante usado devido a sua simplicidade. É necessário no entanto distinguir de alguma forma os blocos, para evitar que um bloco retransmitido seja interpretado como um novo bloco no destino.

Abaixo esse problema é ilustrado. O protocolo desse exemplo é do tipo para-e-espera (stop-and-wait) ou seja: uma nova mensagem só é transmitida quando o reconhecimento é recebido pela fonte.

Nesse caso um bloco retransmitido pode ser confundido com um novo em duas situações: se o reconhecimento do bloco chegar tarde ou se o reconhecimento chegar com erro como mostrado nas figuras 3a e 3b.

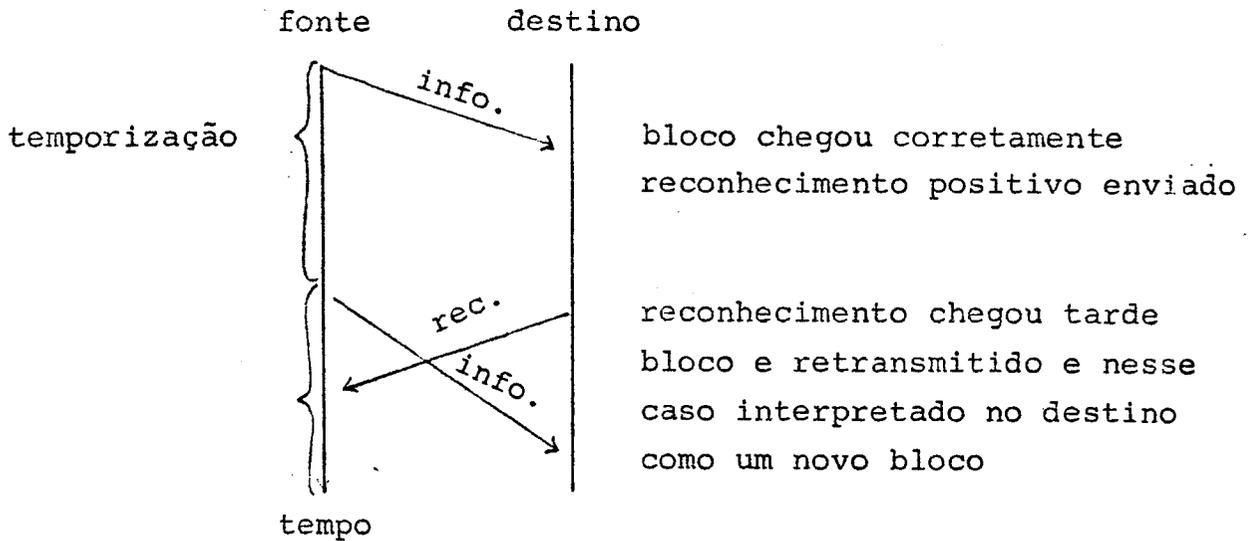
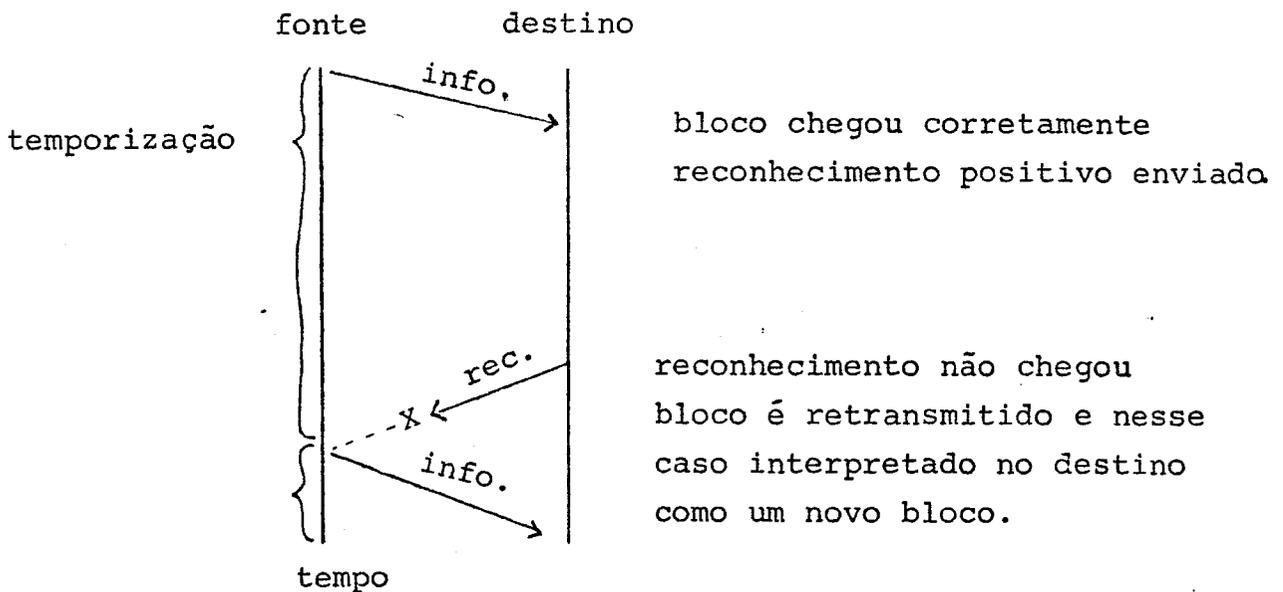


Fig. 3a

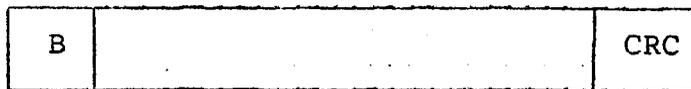


Info. - informação
Rec. - reconhecimento

Fig. 3b

Para que esse protocolo funcione corretamente, é necessário então distinguir entre o original e uma retransmissão de um bloco. Tal distinção pode ser feita numerando os blocos ou melhor ainda, nesse caso particular basta um bit para distinguir um bloco novo de uma retransmissão.

O formato do bloco agora inclui além do CRC um cabeçalho com o bit de distinção.



Informalmente esse protocolo pode ser descrito do seguinte modo:

Transmissor

- faz bit de distinção igual a zero (ou igual a 1 dependendo do que foi convencionado com o destino);
- envia o bloco;
- liga temporizador;
- aguarda resposta. Três eventos podem ocorrer:
 - . esgota o temporizador e o reconhecimento não chega. Nesse caso o bloco deve ser retransmitido.
 - . chega uma mensagem com erro. Também nesse caso o bloco deve ser retransmitido.
 - . chega um reconhecimento do bloco enviado. Nesse caso um novo bloco pode ser enviado e seu bit de distinção será alternado em relação ao do bloco anterior.

Receptor

- aguarda bloco com bit de distinção igual a zero (ou igual a 1 dependendo do que foi convencionado com o transmissor).
- duas situações podem ocorrer:
 - . o bloco chega correto. Nesse caso um reconhecimento deve ser enviado e o receptor volta a aguardar um novo bloco com bit de distinção alternado em relação a esse.
 - . o bloco chega com erro. Nesse caso deve ser simplesmente descartado porque o transmissor retransmitirá o bloco de corrido o intervalo de temporização.

Escolha do Intervalo de Temporização

No reconhecimento positivo, a escolha correta do intervalo de temporização é importante. Um intervalo muito pequeno pode acarretar retransmissões prematuras, enquanto um intervalo muito grande introduz atrasos desnecessários nas retransmissões, comprometendo o desempenho do sistema.

O intervalo pode ser preestabelecido e fixo, ou pode ser dinamicamente avaliado, baseado no tempo médio entre a transmissão do bloco e a recepção do reconhecimento correspondente.

3.2 - Reconhecimento negativo

Nessa alternativa blocos recebidos com erro são detetados e o pedido de retransmissão é feito de modo explícito, através de uma mensagem com essa finalidade.

A principal vantagem do reconhecimento negativo é acelerar a retransmissão do bloco com erro. Como pode haver erros também nas mensagens de reconhecimento, o uso dessa sistemática não exclui a necessidade do uso de reconhecimento positivo caso se deseje alta confiabilidade.

Tráfego nas Duas Direções

O protocolo do exemplo funciona para transmissão de dados apenas em um sentido e reconhecimento no outro. Ele pode ser facilmente estendido para transmissão nos dois sentidos, bastando para isso distinguir as mensagens de reconhecimento das de texto.

Nesse caso, existirão blocos de texto e reconhecimentos fluindo nas duas direções. Uma maneira de melhorar o desempenho do protocolo é enviar os reconhecimentos de "carona" (piggybacking) nas mensagens de texto, aproveitando assim o CRC e cabeçalho dos blocos de texto e com isso reduzindo o "overhead" na linha de comunicação. Obviamente se não houver blocos de texto a transmitir, os reconhecimentos dos blocos recebidos devem ser enviados sozinhos para evitar retransmissão por término do intervalo de temporização (time out).

3.3 - Protocolos Contínuos

Protocolos do tipo para-e-espera como o mostrado no exemplo anterior, são bastante usados devido a sua simplicidade. No entanto eles não fazem o melhor uso possível do canal de comunicação, pela necessidade de esperar um reconhecimento antes de poder enviar uma outra mensagem, durante todo esse tempo o canal de comunicação não é utilizado.

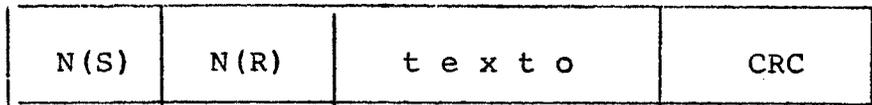
Protocolos mais eficientes, devem poder enviar diversas mensagens antes de receber confirmações das mensagens já enviadas. Nesse caso o mecanismo de bit alternado já não é suficiente para distinguir mensagens, sendo necessário identificá-las de alguma outra forma. O método usual é numerá-las.

O número máximo de mensagens que vale a pena enviar antes de receber confirmação está limitado pelo tempo de propagação no meio de transmissão pela taxa de transmissão usada no canal, distância entre as estações e tamanho da mensagem. Assim a numeração das mensagens pode ser feita usando esse limite como módulo. Se o limite é digamos 7 mensagens, seriam necessários 3 bits em vez de um e elas seriam numeradas: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e novamente 0, 1, 2, ... uma vez que no máximo existirão 7 mensagens "em trânsito", sem confirmação.

O número máximo de mensagens que podem ser enviadas sem esperar confirmação, acordado entre a fonte e o destino das mensagens, é chamado de "largura da janela", e naturalmente tem que ser menor ao número máximo de mensagens que podem ser numeradas.

Havendo erro em uma das mensagens, dois procedimentos podem ser implementados: o destino solicita a retransmissão apenas da mensagem com erro ou de todas as mensagens a partir da que estava errada, o que é um procedimento mais simples de implementar porque evita manter em "buffers" na recepção, as mensagens recebidas de numeração superior a que apresentou erro.

O formato do bloco nos protocolos desse tipo, tem um cabeçalho com um campo de controle onde é colocado o número do bloco e do reconhecimento dos blocos que chegaram corretamente do sentido oposto como mostrado na figura 4.



N(S) - Número do Bloco

N(R) - Reconhecimento de blocos vindos do sentido oposto. N(R) é o número do próximo bloco esperado. Indica que todos os blocos de número menor que N(R) foram recebidos corretamente.

Figura 4 - Estrutura do Bloco

Para permitir a numeração dos quadros e dos reconhecimentos, duas variáveis chamadas variáveis de estado V(S) e V(R), são mantidas em cada estação. Ao preparar um quadro para transmissão é feito o seguinte procedimento:

$$N(S) = V(S)$$

$$V(S) = V(S) + 1$$

$$N(R) = V(R)$$

Ao receber um quadro correto, a variável V(R) é incrementada de um.

Um exemplo da fase de transferência de dados em um protocolo desse tipo com fluxo dos dois sentidos e largura de janela de 2, é mostrado na Figura 5.

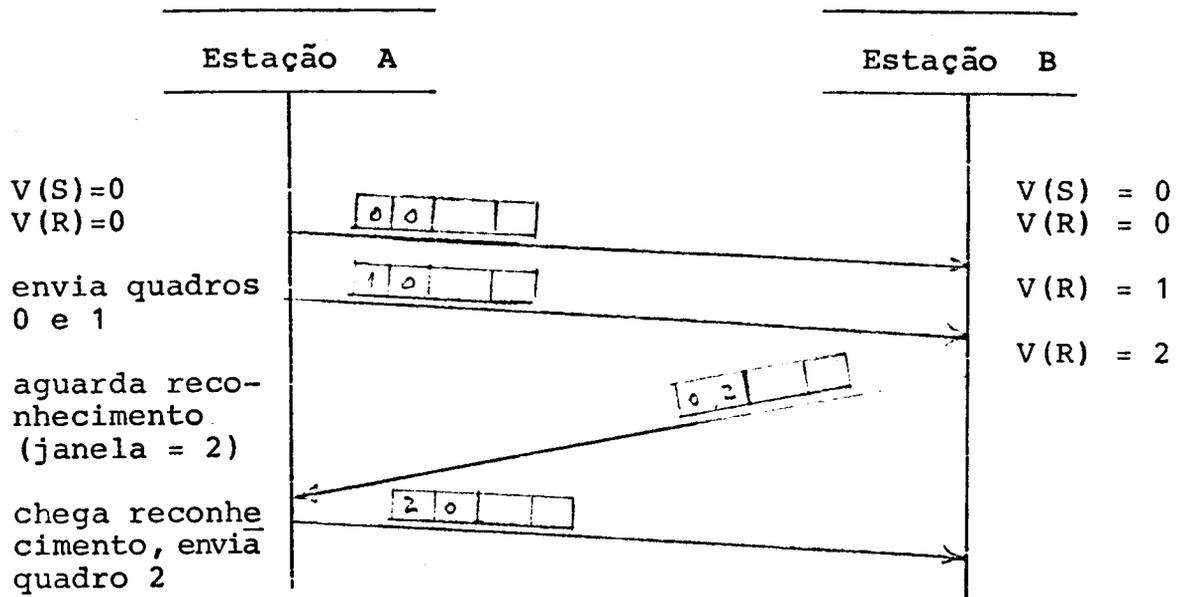


Fig. 5 - exemplo da fase de troca de informações

- Controle de Fluxo

Duas estações conectadas através de um enlace de dados, em geral tem diferentes velocidades de processamento, tamanhos de "buffers" na memória para armazenamento de mensagens diferentes, prioridade para tratamento de mensagens recebidas, ou podem estar tratando mensagens recebidas de diversas ligações concorrentemente. Esses fatos podem provocar situações em que uma fonte de mensagens envia informações mais depressa do que o destino pode receber, sendo necessário implementar procedimentos para controlar o fluxo de informações entre a fonte e o destino evitando transmissões e retransmissões que não poderão ser aceitas pelo destino por exemplo, pela falta momentânea de espaço em seus "buffers".

Nos protocolos do tipo para-e-espera, o problema é muito simplificado pelo fato de apenas uma mensagem ser transmitida por vez. A maioria dos protocolos desse tipo, não possui procedimentos específicos para controle de fluxo, dependendo para isso do mecanismo de retransmissão de mensagens descartadas pelo destino. Já os protoco

los contínuos, utilizam mensagens de supervisão e controle do tipo "destino não pode receber" (receiver not ready) e "Destino pronto para receber" (receiver ready), para regular o fluxo de informações. Esses mecanismos serão mostrados nas seções seguintes.

4. - FUNCIONAMENTO DE UM ENLACE DE DADOS

Fases do enlace de dados - O funcionamento do enlace de dados é em geral estruturado em quatro fases:

Fase de Estabelecimento do Enlace (Conexão) - Esta fase inclui os procedimentos e a troca de mensagens de controle para estabelecer o enlace, usando uma ligação de nível física já estabelecida.

Fase de Transferência de Dados - Esta fase é constituída dos procedimentos que são o objetivo do protocolo de enlace, a troca de mensagens de dados entre os equipamentos conectados.

Fase de Encerramento do Enlace (desconexão) - Esta fase consiste das funções associadas com a desconexão da ligação de enlace, e dependendo do tipo de ligação, sua desconexão é iniciada nessa fase.

Fase de Sincronização - Como mostrado nos exemplos da seção anterior, pode ocorrer que por erro de transmissão ou defeito nos meios físicos de transmissão, ocorram falhas que possam ser superadas pelos mecanismos de detecção e recuperação de erros, como por exemplo a perda do sequenciamento das mensagens. Nesse caso é necessário voltar a um estado onde o sequenciamento possa ser restabelecido. Essa fase inclui os procedimentos para executar essas funções.

Configuração da Ligação - Dois tipos básicos de ligação física influem nas características do protocolo de enlace: a ligação ponto a ponto onde apenas duas estações estão conectadas ao mesmo meio físico, ou aligação multiponto onde várias estações estão conectadas.

(Fig. 6)

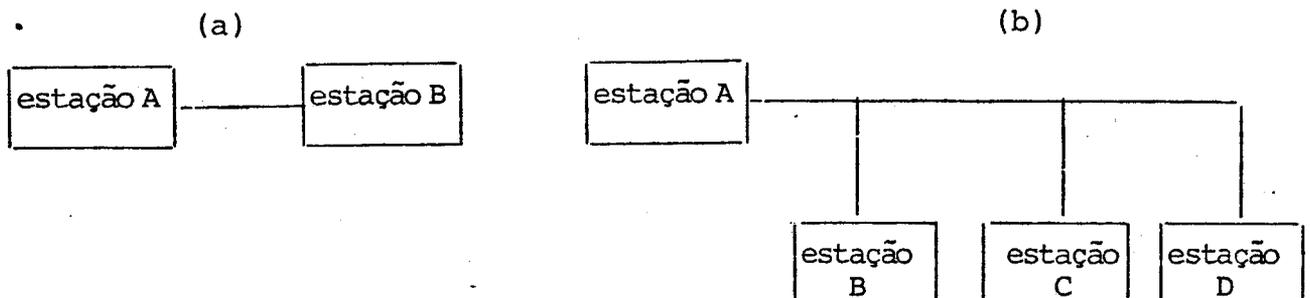


Figura 6(a) ligação ponto-a-ponto e (b) multiponto.

Tipo de Estações - Uma estação pode ser primária ou de Co-
mando, secundária, ou combinada. A estação primária é responsável pe-
la supervisão do enlace, enviando comandos e as demais estações se-
cundárias enviam respostas. Estações combinadas tem as funções de am-
bas; tanto enviam comandos como respostas.

Três modos de operação podem ser implementados:

1. Modo de resposta normal. Para uso em ligações ponto a pon-
to ou multiponto.

2. Modo de resposta assíncrono. Para uso em ligações ponto a
ponto ou multiponto.

3. Modo de resposta assíncrono balanceado. Para uso apenas em
ligações ponto a ponto.

No modo de resposta normal, as estações secundárias só ini-
ciam uma transmissão quando autorizadas pela primária. Esse modo é
usado em geral em configurações multiponto onde uma estação primária
controla a comunicação com várias secundárias.

Nesse caso existem mensagens de supervisão com a finalidade
específica de interrogar ("polling") as estações secundárias para veri-
ficar se elas tem mensagens a transmitir.

No modo assíncrono uma estação secundária pode iniciar uma
transmissão sem necessidade de autorização da primária. Numa configu-
ração ponto a ponto tem a vantagem de eliminar mensagens de "polling"
necessárias no modo normal.

No modo balanceado as estações são consideradas logicamen-
te iguais. Qualquer uma delas pode iniciar e terminar a ligação, am-
bas são responsáveis pelo controle de erros e de fluxo e podem en-
viar tanto comandos quanto respostas.

A grande utilização dos modos normal e, assíncrono é em a-
plicações onde a estação primária é implementada em um computador cen-
tral e as secundárias são terminais. Já o modo balanceado e utilizado

na conexão entre computadores ou entre computador e terminais com capacidade de processamento suficiente para processar os procedimentos de supervisão do enlace.

Identificação da Origem e do Destino da Informação - No caso de configuração multiponto, é necessário distinguir de alguma forma a qual das estações conectadas ao meio de transmissão, se está enviando a mensagem. (Quando qualquer estação pode enviar mensagens para qualquer uma outra, pode ser necessário identificar também a fonte da mensagem). Essa identificação é feita atribuindo a cada estação um "endereço" ou seja uma configuração de bits predeterminada, que é enviado junto com a mensagem.

Estruturação de Dados - Um dos objetivos fundamentais dos protocolos do nível de enlace é manter a integridade da informação. Isso requer a delimitação dos blocos transmitidos e o acréscimo de caracteres de delimitação.

Os elementos de delimitação ou sincronismo dos quadros devem constituir-se em sequências especiais únicas de modo a se evitar ambiguidades na detecção dos mesmos. Em outras palavras, é necessário assegurar uma transparência do sistema de sincronismo ao nível de quadros em relação a informação transportada. Em geral, o comprimento das sequências de sincronismo de quadro é equivalente ao tamanho tradicional das unidades de dados (octetos), podendo, no entanto, em alguns casos, corresponderem a um único bit.

A divisão do quadro de transmissão em vários campos (endereço, controle, informação, etc.) é feita por contagem a partir dos elementos de delimitação do quadro. Cada campo pode ser formado por um ou mais octetos, sendo que o campo destinado ao transporte da informação propriamente dita (i. e., os dados) tem, em geral, um comprimento variável. Desse modo, a identificação dos campos de controle subsequentes aos dos dados (p. ex., campo de controle de erros) exige a existência de um delimitador de fim de quadro como referência para a contagem.

Pode-se eliminar a necessidade do delimitador de fim de qua

dro, incluindo-se no cabeçalho do quadro (i.e., antes do campo de texto) um campo informando o número de bits (octetos) transportados no campo de informação. Esta última estratégia é adotada geralmente pelas redes locais operando no modo básico de transmissão assíncrona intermitente, onde a transmissão de um quadro é sucedida por um silêncio no meio de transmissão. As redes locais cujos mecanismos de controle de acesso ao meio estão associados a transmissão de quadros de comprimento fixo (e.g. técnica de quadro vazio), também não necessitam do elemento de delimitação do fim de quadro.

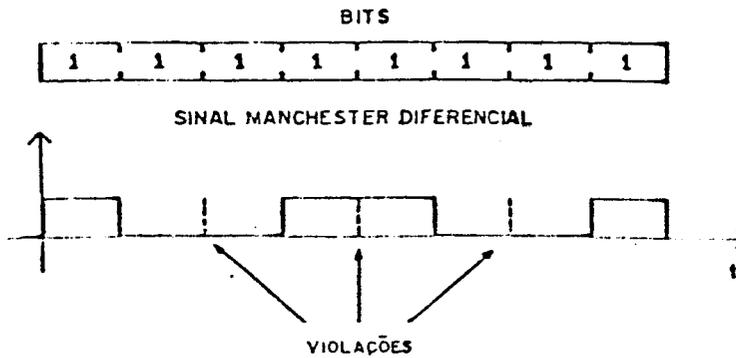
Um método usual de sincronismo na transmissão de quadros ou blocos de bits em sistemas de comunicação de dados ponto-a-ponto (ou multiponto), baseia-se na utilização de caracteres especiais definidos com os alfabetos dos equipamentos.

A necessária transparência do sistema de sincronismo em relação a informação transportada pode ser conseguida através de sinais especiais de violação da regra de codificação em banda básica no nível físico.

Os delimitadores dos quadros podem ser constituídos diretamente pelos sinais de violação, conforme o exemplo mostrado na figura 7. Neste exemplo, uma sequência original de oito 1's com codificação Manchester Diferencial é violada eliminando-se três transições permanentes alternadas. Uma estratégia semelhante de violação do sinal Manchester Diferencial para a delimitação de quadros é adotada pelo padrão IEEE 802.4 (ver capítulo 13).

(VIDE FIGURA PÁG. SEGUINTE)

a)



b)

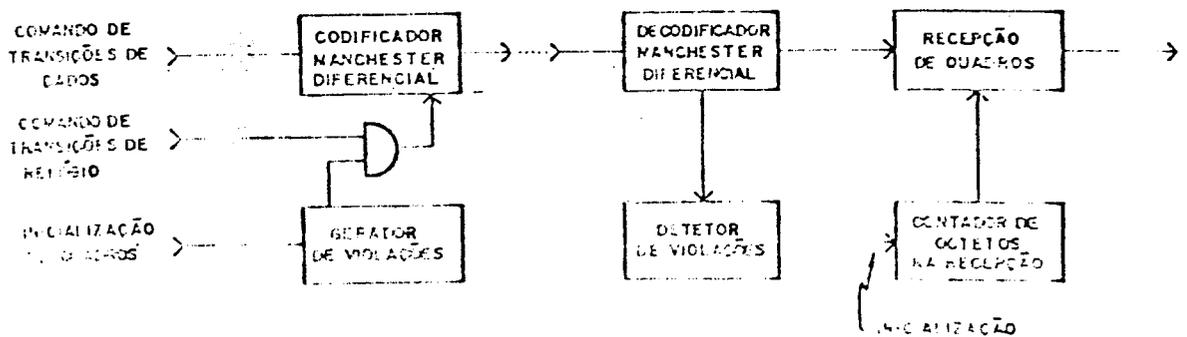


Fig. 7 - Esquema de delimitação de quadros: (a) Violação do sinal em banda básica: (b) Diagrama de blocos.

Uma terceira alternativa é ao invés de usar violações de sinal em banda básica para representar permanentemente os elementos de demarcação do quadro, representá-los por sequências especiais de bits e, eventualmente, utilizar-se de violações para evitar possíveis simulações dessas sequências pela informação transportada pelo quadro. Esta técnica é bastante adotada, por exemplo na delimitação de quadros nos protocolos de enlace de dados baseados no padrão HDLC. Este padrão especifica uma sequência de delimitação de quadros como sendo 01111110.

4.1 - Protocolos Orientados a Caracter [5] - Protocolos mais antigos usados em redes de longa distância, tratam a informação e delimitam os blocos, usando caracteres de um código estabelecido e são por esse motivo chamados de protocolos orientados a caracter (character oriented protocols). Um desses códigos é o ASCII American National Standard ' Code for Information Interchange (Tabela 1). O ASCII prevê 10 configurações especificamente para controle de comunicação: SOH, STX, ETX, EOT, ENQ, ACK, DLE, NAK, SYN e ETB.

SOH (Start of Header) - Caracter que identifica o início dos caracteres de cabeçalho.

STX (Start of Text) - Caracter que identifica o início dos caracteres de texto e fim do cabeçalho.

ETX (End of Text) - Caracter que identifica o fim do texto.

EOT (End of Transmission) - Caracter usado para indicar o fim de uma transmissão, que pode ter contido um ou mais blocos de texto.

ETB (End of Transmission Block) - Caracter que identifica o fim de um bloco, usado quando uma mensagem foi dividida em mais de um bloco para transmissão.

ENQ (Enquiry) - Caracter usado para obter uma resposta de uma estação remota.

ACK (Acknowledge) - Caracter utilizado para representar o reconhecimento positivo de uma mensagem recebida.

NAK (Negative Acknowledge) - Caracter usado para representar reconhecimento negativo de uma mensagem recebida.

DLE (Data Link Escape) - Caracter utilizado para trocar o significado de um número limitado de caracteres contínuos que o seguem. Usado para suprir funções adicionais de controle de transmissão, como transparência.

SYN (Synchronous Idle) - Caracter utilizado em comunicação de dados, na ausência de outros caracteres, para permitir que as estações fonte e destino permaneçam sincronizadas.

| BITS MENOS SIGNIFICATIVOS (3, 2, 1, 0) | BITS MAIS SIGNIFICATIVOS | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 000 | 001 | 010 | 011 | 100 | 101 | 110 | 111 |
| 0000 | NUL | DLE | SP | 0 | @ | P | ` | P |
| 0001 | SOH | DC1 | ! | 1 | A | Q | a | q |
| 0010 | STX | DC2 | " | 2 | B | R | b | r |
| 0011 | ETX | DC3 | # | 3 | C | S | c | s |
| 0100 | EOT | DC4 | \$ | 4 | D | T | d | t |
| 0101 | ENQ | NAK | % | 5 | E | U | e | u |
| 0110 | ACK | SYN | & | 6 | F | V | f | v |
| 0111 | BEL | ETB | ' | 7 | G | W | g | w |
| 1000 | BS | CAN | (| 8 | H | X | h | x |
| 1001 | HT | EM |) | 9 | I | Y | i | y |
| 1010 | LF | SUB | * | : | J | Z | j | z |
| 1011 | VT | ESC | + | ; | K | [| k | { |
| 1100 | FF | FS | , | < | L |] | l | |
| 1101 | CR | GS | - | = | M | ^ | m | ~ |
| 1110 | SO | RS | . | > | N | _ | n | ~ |
| 1111 | SI | US | / | ? | O | ~ | o | DEL |

Tabela 1 - Código ASCII

O formato típico de um bloco de informações nesses protocolos é mostrado abaixo, com os delimitadores definidos no código ASCII.

| | | | | | |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----|
| SOH | cabeçalho | STX | t e x t o | ETX | bcc |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----|

4.2 - Protocolos Orientados a Bit - Os protocolos mais recentes não utilizam caracteres de código para delimitação dos blocos e supervisão da troca de mensagens. Em vez disso tanto as mensagens de texto quanto as de supervisão, são "envelopadas" em um quadro (frame), delimitado por uma configuração de bits especial chamado "flag". A distinção entre mensagens de texto e supervisão é feita pela configuração de bits do campo de controle no cabeçalho do quadro.

A figura 8 mostra a estrutura típica do quadro de informações de um protocolo orientado a bit (bit oriented protocol).

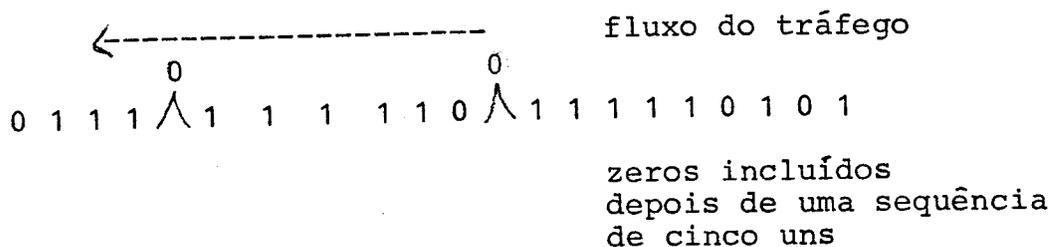
| | | | | | |
|------|------|----------|-----------|-----|------|
| Flag | End. | Controle | T e x t o | CRC | Flag |
|------|------|----------|-----------|-----|------|

- Flag - constituído pela sequência 01111110, funciona como delimitador do quadro.
- End. - Endereço da estação secundária em configurações multi-ponto. Em redes locais em geral existem dois endereços: o da estação fonte e o da estação destino.
- Controle - Campo que contém a numeração do quadro, dos reconhecimentos e a configuração de bits que representa os diversos tipos de quadros utilizados no protocolo, tanto de informação quanto de controle.
- CRC - Caracter(es) para detecção de erros de transmissão.

Fig. 8 - Estrutura típica de bloco de protocolos orientados a bit.

Transparência - Para permitir que o usuário envie qualquer caracter ou sequência de bits como texto, é preciso que determinados procedimentos sejam adotados no protocolo para evitar que textos do usuário que contenham caracteres de delimitação de blocos ou a sequência de bits de "flag", não sejam confundidos com os delimitadores ou mensagens de supervisão.

Um protocolo com essa característica é dito transparente . Nos protocolos orientados a bit, a transparência é obtida pelo procedimento chamado de inserção de zero (bit stuffing). Se o texto do usuário contiver uma sequência de cinco uns seguidos, um bit zero é inserido para evitar uma sequência que possa ser confundida com um "flag". Na recepção é retirado todo zero depois de uma sequência de cinco uns, antes da informação ser entregue ao usuário.



O BSC (binary Synchronous Communication) [2], é um protocolo de controle de linha desenvolvido pela IBM na década de 60 e ainda bastante utilizado tanto em ligações ponto a ponto quanto multiponto. Uma descrição sumária desse protocolo é apresentada nessa seção.

O BSC é um protocolo orientado a caracter, isto é ele utiliza caracteres de um determinado código para delimitação do texto da mensagem e para funções de supervisão e controle de troca da troca de mensagens entre os equipamentos conectados.

A estrutura da mensagem de informação é mostrada abaixo:

| | | | | | | |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----|--|
| SOH | Cabeçalho | STX | T e x t o | ETX | Bcc | |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----|--|

| -- caracteres incluídos no Bcc -- |

Uma mensagem pode ser dividida em blocos para facilitar sua manipulação e reduzir a possibilidade de erros de transmissão. Nesse caso cada bloco é terminado pelo caracter ETB, exceto o último que é terminado com ETX.

Os caracteres de controle e supervisão usados são:

- SYN - Caracter de sincronização (Synchronous Idle)
- SOH - Início de cabeçalho
- STX - Início de texto
- ITB - Fim de transmissão de bloco intermediário
- ETB - Fim de transmissão de bloco
- ETX - Fim do texto
- ENQ - Verifica estado da estação.

- ACK0/ACK1 - Reconhecimento positivo
- WACK - Reconhecimento positivo "espere antes de transmitir"
- NAK - Reconhecimento negativo
- DLE - Usado para permitir transparência
- RVI - Interrupção reversa
- TTD - Usado para indicar demora temporária no envio de texto e evitar fim da temporização ("Time-out")
- DLE EOT - Sequência de desconexão para uma linha comutada

5.1 - Exemplo de Procedimento para Troca de Mensagem na Configuração Ponto a Ponto

A estação que deseja iniciar a transmissão envia a sequência SYNENQ. A resposta pode ser positiva através de um ACK ou caso a estação não esteja pronta para receber ela responde com NAK ou WACK.

Para evitar problemas associados com a transmissão simultânea de pedidos de início de transmissão, uma das estações é definida como primária e a outra como secundária. A estação de mais alta prioridade, envia um ENQ para adquirir a linha e continua a enviar ENQs, até que recebe um ACK0 ou até que esgote o limite de tentativas estabelecido. Se a estação primária recebe um ENQ e não havia iniciado um pedido de transmissão, ela responde com ACK (NAK ou WACK). Assim a estação secundária só ganha controle da linha se a estação primária não a estiver utilizando.

Ao terminar a transmissão de uma mensagem a estação que estava transmitindo envia um EOT para indicar esse fato e não tenta utilizar a linha novamente durante um certo intervalo de tempo permitindo assim que a outra estação a utilize. (Fig. 9)

(VIDE FIGURA NA PÁGINA SEGUINTE)

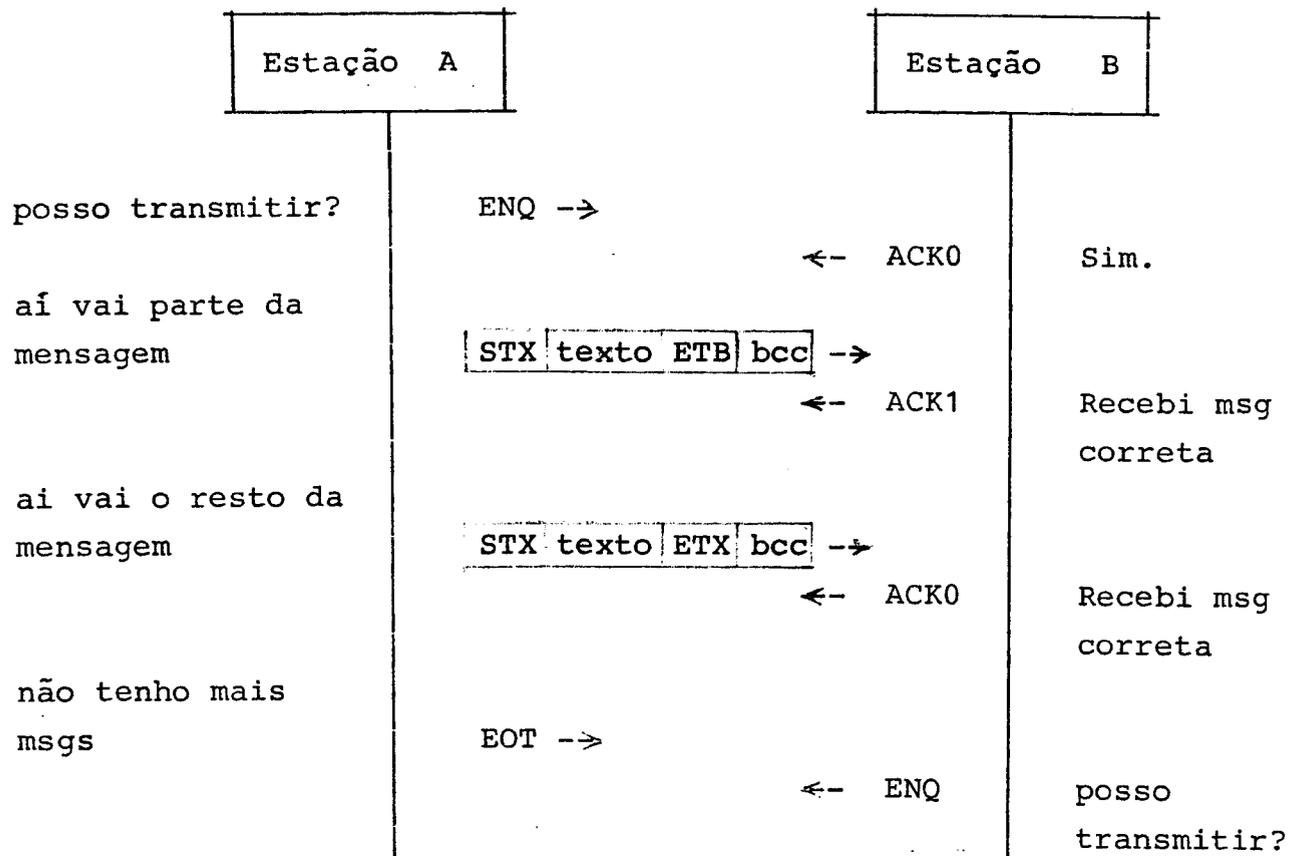


Fig. 9 - Exemplo de Troca de Informações no BSC

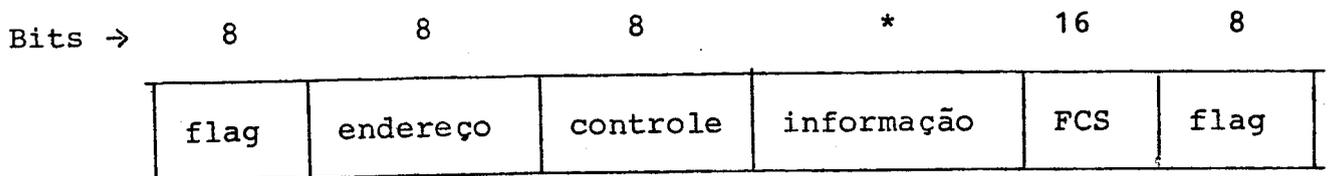
Para obter transparência, ou seja, permitir que qualquer configuração de bits seja transmitida pelo usuário, o BSC tem um modo transparente. Qualquer caracter de controle de linha no modo transparente é precedido do caracter DLE para ser reconhecido como uma sequência de controle. Caso o texto do usuário contenha o caracter DLE, um DLE adicional é inserido na transmissão formando a sequência DLEDLE. Na recepção todo DLE seguido de outro DLE é retirado e o outro tratado como texto.

6 - PROTOCOLOS DE ENLACE - O HDLC

6.1 - Descrição Geral

A família de procedimentos HDLC (High Level Data Link Control Procedures), é do tipo orientado a bit e resultado do esforço de padronização desenvolvido pela ISO (International Standar Organization), para o nível de enlace de dados [8].

A estrutura do quadro HDLC é mostrado na figura abaixo.



Flag - Sequência 01111110 de delimitação do quadro. Todos os quadros começam e terminam com essa sequência, um mesmo flag pode delimitar o término de um quadro é o início do outro.

Endereço - Identifica a estação secundária ou combinada que está recebendo o quadro (no caso de comando) ou enviando (no caso da resposta).

Controle - O campo de controle identifica a função do quadro e os números de sequência. Existem três tipos de quadros : transferência de informações, supervisão e não numerados. A configuração de bits do campo de controle para representar cada tipo é mostrado abaixo.

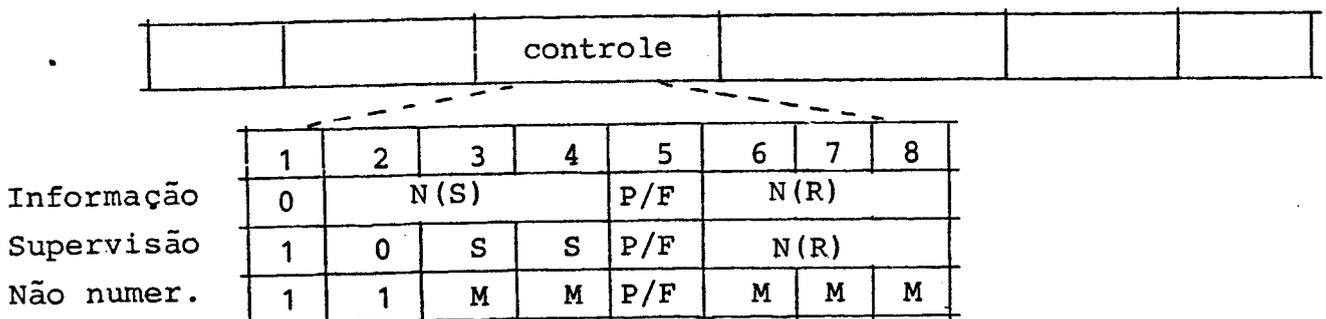


Fig. 10 - Estrutura do Campo de Controle HDLC

Informação - Campo que contém o texto a ser transferido através do enlace nos quadros de informação.

FCS - Frame Check Sequence, sequência de detecção de erros . O FCS é calculado sobre os campos de endereço, controle e informação do quadro, usando como gerador o polinômio $x^4 + x^3 + x + 1$, como mostrado na seção 2.

Um quadro é considerado incorreto, se não estiver limitado pelos flags, se for inferior a 32 bits entre flags ou se contiver mais de 7 bits um seguidos. Quadros incorretos são ignorados pelo destino. Um transmissor que após iniciar a transmissão quiser com que o quadro seja descartado pelo destino, pode enviar o quadro completo e ao final transmitir o FCS incorreto, ou pode a qualquer instante transmitir uma sequência de pelo menos 7 uns seguidos o que provocará a rejeição do quadro no destino.

6.2 - Elementos de Procedimento

Os quadros podem ser de informação, supervisão ou não numerados, e correspondem a comandos e respostas. Eles são identificados pelos dois primeiros bits do campo de controle do quadro.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------|---|------|---|---|-----|------|---|---|
| Informação | 0 | N(S) | | | P/F | N(R) | | |
| Supervisão | 1 | 0 | S | S | P/F | N(R) | | |
| Não numerado | 1 | 1 | M | M | P/F | M | M | M |

O bit 1 do campo de controle quando igual a zero, identifica o quadro como sendo de informação. O bit 1 com o valor 1 e o bit 2 com o valor zero. Identifica o quadro como de supervisão. Os quadros não numerados tem o bit 1 e o bit 2 com o valor 1.

N (S) - Contém o número de sequência (módulo 8), do quadro para identificá-lo unicamente e permitir manter controle sobre a sequência dos quadros durante a transmissão.

N (R) - É utilizado para fazer o reconhecimento de quadros recebidos.

Para permitir numeração até 128, o HDLC dispõe de um modo estendido onde o campo de controle é constituído de 2 octetos em vez de apenas um como mostrado abaixo.

P/F - Esse bit é utilizado com diferentes finalidades, dependendo do modo de operação do enlace. No modo de resposta normal, o bit P é feito igual a 1 (ligado), quando uma estação primária deseja consultar (poll) uma secundária. Nesse modo o último quadro de uma sequência de quadros de resposta enviados por uma estação secundária é enviado com o bit F ligado, indicando final. Nos modos de resposta assíncrono e balanceado, o recebimento de um quadro com o bit P ligado, faz com que a estação secundária ou combinada que o recebeu envie prontamente o próximo quadro com o bit F ligado.

S - Utilizado para identificar funções de supervisão.

M - Utilizado para identificar comandos e respostas sem numeração.

Quadros de Informação (I) - O quadro de informação é utilizado para a transferência de textos entre as estações conectadas. N(S) é o número de identificação do quadro, N(R) é o número do próximo quadro esperado e indica que os quadros de números inferiores a N(R) foram recebidos corretamente.

Quadros de Supervisão (S) - Quadros de supervisão, são usados para reconhecimento e controle de fluxo. Os dois bits S, no campo de controle dos quadros de supervisão (ver figura 10), são usados para representar 4 comandos e respostas:

| | | | | |
|---|---|-----|--------------------|-----------------------|
| S | S | | | |
| 0 | 0 | RR | Receive Ready | (Receptor pronto) |
| 1 | 0 | RNR | Receiver not Ready | (Receptor não pronto) |

| | | | | |
|---|---|------|------------------|---------------------|
| 0 | 1 | REJ | Reject | (Rejeitado) |
| 1 | 1 | SREJ | Selective Reject | (Rejeição Seletiva) |

O campo N(R) nos quadros de supervisão tem a mesma função que nos quadros de informação: indicam o número do próximo quadro de informação esperado e o correto recebimento dos quadros de informação com numeração inferior a N(R).

Receive Ready (RR) - Utilizado para indicar que a estação está pronta a receber e fazer o reconhecimento positivo dos quadros de informação recebidos.

Receive not Ready (RNR) - Utilizado para indicar que a estação está temporariamente impossibilitada para receber. Os quadros de informação de número inferior a N(R), foram recebidos corretamente.

Reject (REJ) - Utilizado para solicitar a retransmissão dos quadros de informação a partir de N(R). Os quadros até N(R) - 1, foram recebidos corretamente.

Selective Reject (SREJ) - Utilizado para solicitar a retransmissão apenas do quadro numerado N(R). Os quadros numerados até N(R)-1, foram recebidos corretamente.

Quadros não Numerados (N) - Esses quadros são utilizados para funções de supervisão como inicialização e término da conexão de enlace. Os cinco bits M permitem a representação de 32 comandos e respostas diferentes.

Os comandos SNRM, SARM e SABM são utilizados na inicialização para especificar o modo de operação desejado: normal, assíncrono ou balanceado com numeração de quadros de informação módulo 8. Os comandos SNRME, SARME e SABME tem a mesma finalidade porém com numeração dos quadros de informação estendida para módulo 128.

Disconnect (DISC) - Esse comando é usado para terminar um enlace previamente estabelecido.

Reset (RSET) - Esse comando é usado para resincronizar as variáveis de estado de transmissão no transmissor e de reconhecimento no receptor. As variáveis associadas com a outra direção não são afetadas.

Unnumbered Poll (UP) - O comando UP é usado para solicitar quadros resposta de uma ou mais estações.

Unnumbered Information (UI) - O quadro UI é usado para enviar quadro de informações fora da sequência normal de numeração.

Exchange Identification (XID) - Quadros XID são utilizados para requerer ou informar a identificação de uma estação e suas características.

Request Initialization Mode (RIM) - Esse quadro é usado para requerer que o enlace seja estabelecido.

Request Disconnect (RD) - Esse quadro é utilizado para requerer que o enlace seja colocado no estado desconectado.

Unnumbered Acknowledgment (UA) - A resposta UA é usada para fazer o reconhecimento de comandos de inicialização, desconexão e resincronização.

Disconnected Mode (DM) - O quadro DM é usado para indicar que um comando de estabelecimento de ligação não pode ser atendido.

Frame Reject (FRMR) / Command Reject (CDMR) - O quadro FRMR é usado para indicar que um quadro recebido está com um erro que não pode ser recuperado por retransmissão como:

- O campo de controle é inválido ou corresponde a um comando que não foi implementado;
- O campo de informações é maior que o máximo estabelecido.
- O campo N(R) está indicando o reconhecimento de um quadro que ainda não foi transmitido.

O quadro FRMR contém um campo de texto com o formato da Figura 11 abaixo, mostrando o motivo da rejeição.

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|------|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 8 | 9 | 10 | 12 | 13 | 14 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| campo de controle do quadro rejeitado | 0 | V(S) | * | V(R) | W | X | Y | Z | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |

W = 1 campo de controle inválido;

X = 1 W = 1 campo de informação não permitido, quadro S ou U de tamanho incorreto;

Y = 1 campo de informação excedendo o tamanho máximo;

Z = 1 N(R) inválido.

* quadro rejeitado era:

comando --- bit 13 = 0

resposta --- bit 13 = 1

Figura 11 - Campo de Texto do Quadro FRMR

Um protocolo HDLC, utiliza o formato de quadro HDLC, um modo de operação e um subconjunto dos comandos/respostas.

O nível 2 da recomendação X.25 da CCITT por exemplo, é um protocolo HDLC. Essa recomendação estabelece as regras para conexão de um equipamento de dados (DTE - Data Terminal Equipment), a um equipamento de comutação de pacotes (DCE - Data Communications Equipment) [9,10].

Na recomendação X.25 nível 2, são utilizados os seguintes comandos/respostas:

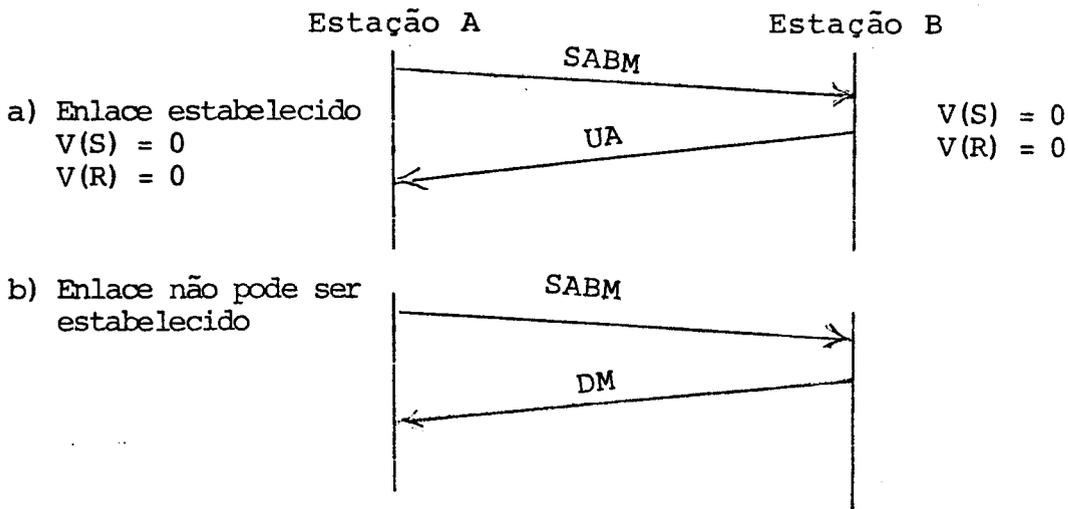
Informação: I

Supervisão: RR, RNR, REJ

Não Numerados: SARM, SABM, UA, DISC, DM, FRMR.

6.3 - Exemplos de Troca de Comandos/Respostas nas Várias Fases do Enlace

Fase de Inicialização - O enlace é inicializado no modo balanceado pelo envio de um comando SABM. Ao receber o SABM a estação zera as variáveis de estado e envia a resposta UA concordando com o estabelecimento do enlace ou a resposta DM para indicar que não pode estabelecer o enlace naquele momento.



Fase de Troca de Informações - Nessa fase são, transmitidos e recebidos quadros de Informação e Supervisão. Uma vez estabelecido o enlace tanto A, quanto B, podem iniciar a transmissão de quadros de informação.

Para transmissão, o quadro é numerado em sequência, transmitido e um temporizador é acionado para aguardar o reconhecimento. Podem ser transmitidos tantos quadros sem confirmação quanto for o tamanho estabelecido para a "janela". A largura da janela pode variar de 1 a 7 (ou de 1 a 127 quando utilizando o modo estendido).

Ao receber quadros de informação corretos, o reconhecimento é enviado nos quadros de informação transmitidos na direção oposta, (como mostrado na figura 12a) ou caso não haja informação a transmitir através dos quadros de supervisão (figura 12b).

O quadro RR é usado quando a estação está pronta para continuar recebendo e o quadro RNR quando a estação está temporariamente impossibilitada de continuar recebendo.

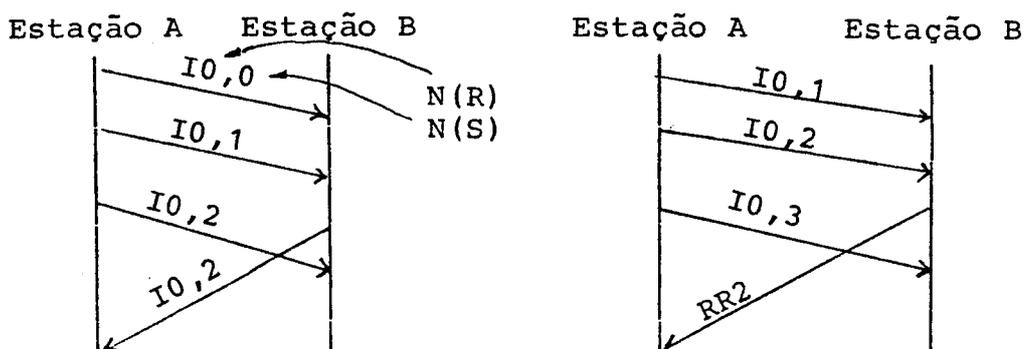


Fig. 12 a) Reconhecimento no quadro de Informação. b) Reconhecimento no quadro de supervisão RR

O recebimento de um quadro de informação com erro de CRC, faz com que a estação receptora o descarte, já o recebimento de um quadro fora da sequência, faz com que a estação receptora envie um quadro REJ indicando em N(R), o número do quadro de informações esperado. Qualquer outro quadro com numeração diferente da esperada, é descartado até que ele seja recebido, como ilustrado na figura 13.

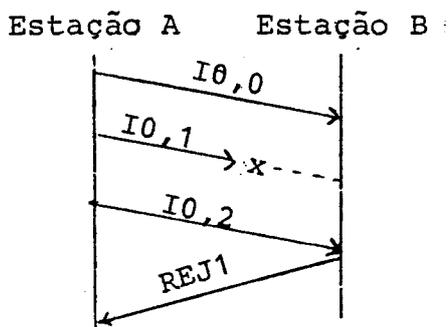


Fig. 13 - Uso do quadro REJ

Exemplo do Uso dos Bits de "Poll" e "Final" - O bit de "Poll", força uma das respostas imediata da estação que o recebeu, e é utilizado ao esgotar uma temporização sem que uma resposta tenha sido recebida. A estação que recebeu um comando com o bit de "poll", responde imediatamente com o bit de "final" igual a um no quadro resposta, como mostrado na figura 14.

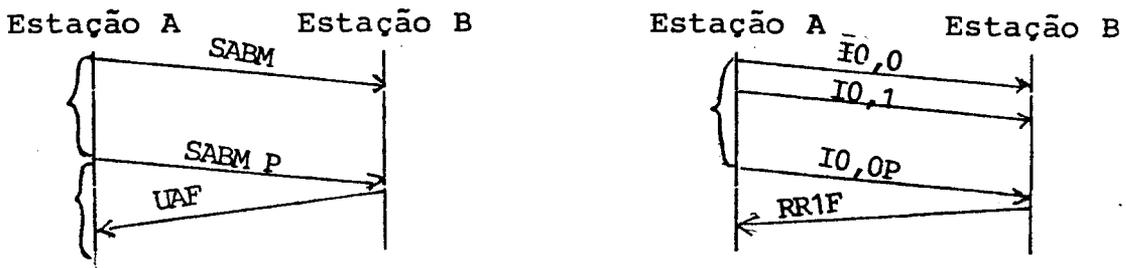


Fig. 14

Fase de Desconexão do Enlace - O enlace é desconectado ao fim da fase de transferência de informações, ou a qualquer momento se houver um erro e uma das estações deseja terminar a comunicação. Qualquer uma das duas estações pode enviar o comando DISC e receber UA como resposta, encerrando o enlace.

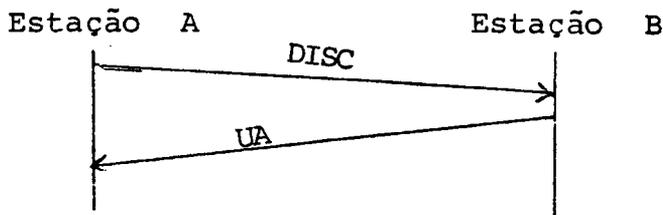


Fig. 15 Fase de Desconexão

Fase de Resincronização - O enlace entra nessa fase se durante a fase de troca de informações ocorrer um erro que não possa ser corrigido pelos mecanismos de detecção e retransmissão, como por exemplo o recebimento de um quadro inválido, quadro de comprimento maior que o estabelecido, recebimento de um "poll" tenha sido enviado e recebimento de um quadro CMDR.

Essa fase é semelhante a fase de inicialização com as variáveis de estados feitas novamente iguais a zero, como mostrado na figura 16

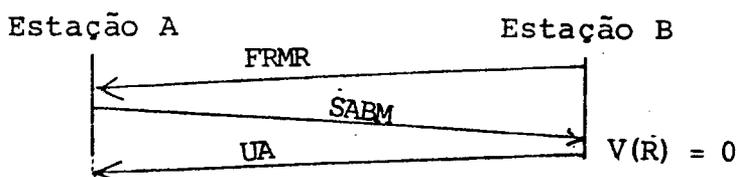


Fig. 16 Fase de resincronização

7 - NÍVEL DE ENLACE EM REDES LOCAIS

7.1 - Descrição Geral

Os protocolos de enlace que foram mostrados nas seções anteriores, foram projetados para operação em redes de longa distância onde a taxa de erros é muito alta comparada com as taxas de redes locais e onde o uso eficiente dos canais de comunicação é um fator muito importante devido aos altos custos envolvidos.

Redes locais, tem características distintas: uma vez adquirida e implantada não existe custo adicional de comunicação, as taxas de erros são muito mais baixas e as taxas de transmissão muito mais altas que em redes de longa distância. Como além disso, em geral, redes locais conectam equipamentos de pequeno porte com capacidade de memória e processamento limitado, os protocolos adotados devem ser o mais simples possível, de modo a utilizar o mínimo de recursos dos equipamentos usuários.

Um aspecto distinto entre redes locais e de longa distância ao nível de enlace, é o endereçamento de mensagens. Em princípio, quando a comunicação de dados ocorre apenas entre dois equipamentos usuários (comunicação ponto a ponto), não há necessidade de identificação da origem e destino das mensagens, pois os correspondentes são conhecidos a priori. No caso de sistemas de comunicação de dados centralizados (estrela ou multiponto) onde o fluxo de informações acontece sempre entre uma estação primária e uma qualquer das várias estações secundárias que lhe são conectadas, é necessário identificar apenas o endereço da estação secundária envolvida na comunicação (destino ou origem da mensagem).

Em redes locais de computadores, por sua vez, as mensagens e, particularmente, os quadros que as transportam devem ser sempre identificados com os endereços tanto do destinatário quanto da sua origem. Um caso particularmente importante para as aplicações em redes locais é o endereçamento de difusão, onde um único endereço no campo de endereço do destinatário permite identificar, simultaneamente, todos os nós ou estações interconectadas (difusão total), ou ainda, um grupo de nós ou estações (difusão parcial ou se-

letiva).

A identificação dos quadros de transmissão é realizada através de um campo contendo endereço do destinatário e de um outro campo com o endereço do remetente. O campo de endereço do destinatário do quadro é constituído por um certo número de octetos (dependente do porte da rede) imediatamente após o delimitador de início de quadros. Isso permite uma identificação imediata do quadro no nó de destino, ao mesmo tempo que evita o armazenamento desnecessário de informação nos nós não envolvidos na comunicação, campo de endereço do remetente do quadro, em geral adjacente ao campo de endereço do destinatário, tem o mesmo tamanho deste.

O espaço disponível para os campos de endereços ao nível de quadro é função de um certo número de características da sub-rede tais como:

- O número de nós ou estações interconectadas;
- Os modos de endereçamento (administração local ou global).

O número de nós ou estações interconectadas a sub-rede de comunicação corresponde ao limitante inferior na definição do tamanho dos campos de endereços. Acima de 256 nós, por exemplo, é necessário um espaço maior do que um octeto para identificá-los.

O tipo de endereçamento que associa um endereço único a cada nó interconectado a sub-rede de comunicação é o mais simples de ser implementado. Uma lógica cabeada simples ou microprogramada, conforme o esquema mostrado na figura 17, permite ao nó de comunicação i identificar os quadros que lhe são endereçados. Um único octeto é suficiente para atender boa parte das aplicações.

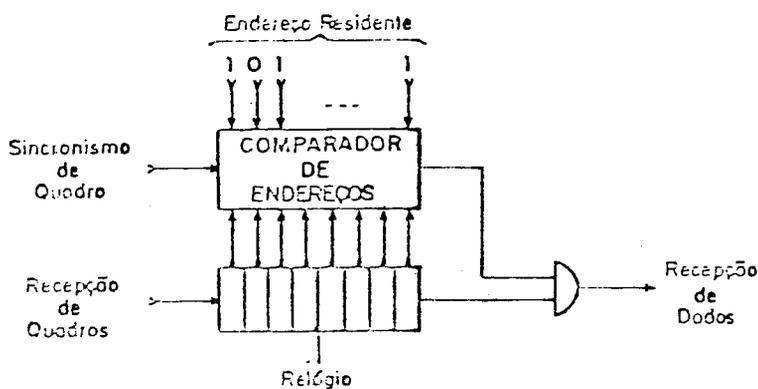


Figura 17 - Esquema de identificação de endereço físico

O endereçamento associativo permite mover um determinado processo destinatário de um nó para outro de modo transparente. Isso é realizado através de uma simples reprogramação das respectivas memórias associativas. Por outro lado, este tipo de endereçamento exige uma maior complexidade no hardware do nó de comunicação, além de dificultar a localização de falhas no caso de mensagens extraviadas.

7.2 - A Proposta IEEE 802.2

O nível de enlace na proposta de padronização do IEEE 802, [11] é constituído de dois subníveis de enlace lógico e o subnível de acesso ao meio de transmissão, a relação entre essa proposta e o modelo de referência da ISO é mostrada na figura 18.

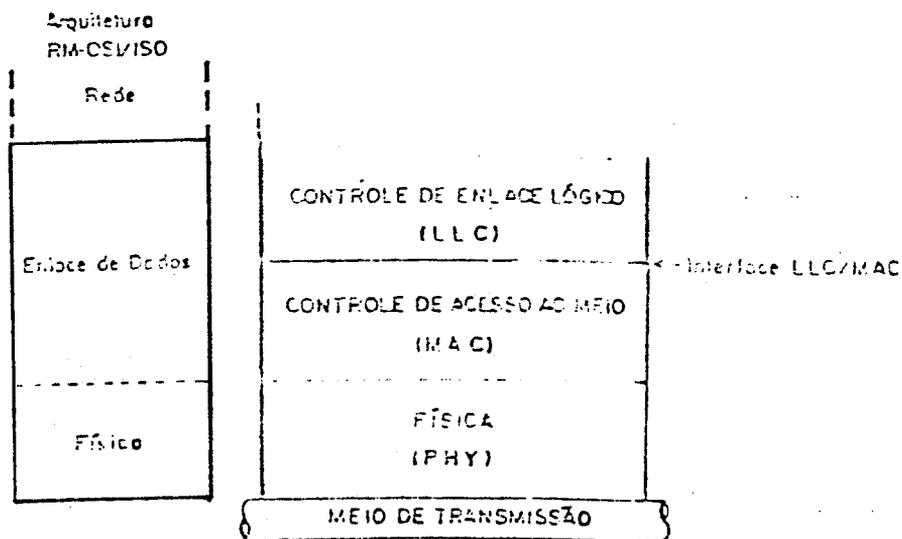


Fig. 18 - Modelos ISO e IEEE 802

As diferentes alternativas utilizadas no subnível de controle de acesso ao meio, foram descritas no capítulo

A proposta especifica dois tipos de serviços a serem oferecidos pelo nível de enlace aos níveis superiores:

- Serviço sem conexão e sem reconhecimento
- Serviço com conexão

O primeiro tipo de serviço, prevê os meios para que seja possível a troca de Unidades de Dados do Serviço de Enlace -(PDU) , sem o estabelecimento de uma conexão de enlace. A transferência de dados pode ser encaminhada a um único endereço (ponto a ponto), vários endereços (multiponto) ou todos os endereços (difusão).

O segundo tipo de serviço é semelhante aos oferecidos pelos protocolos vistos nas seções anteriores como o HDLC por exemplo.

Ele provê os meios para que uma conexão de enlace seja estabelecida, utilizada, resincronizada e terminada. A conexão é estabelecida ponto a ponto e o serviço provê também mecanismos para controle de fluxo, recuperação de erros e numeração para sequenciamento das mensagens na fase de transferência de dados.

A especificação do serviço de um nível, define um conjunto de tarefas que representam o trabalho daquele nível na hierarquia . Tal trabalho é utilizado pelo nível superior através de regras definidas na especificação e denominadas primitivas de serviço ou simplesmente primitivas.

A proposta IEEE 802.2 descreve além do protocolo, as primitivas de serviço na interface (ponto de comunicação entre níveis) , entre o subnível de enlace lógico e os níveis adjacentes: nível de rede que utiliza os serviços do nível de enlace e subnível de acesso ao meio que provê serviços a serem utilizados pelo subnível de enlace lógico (Fig. 19).

(VIDE FIGURA PÁGINA SEGUINTE)

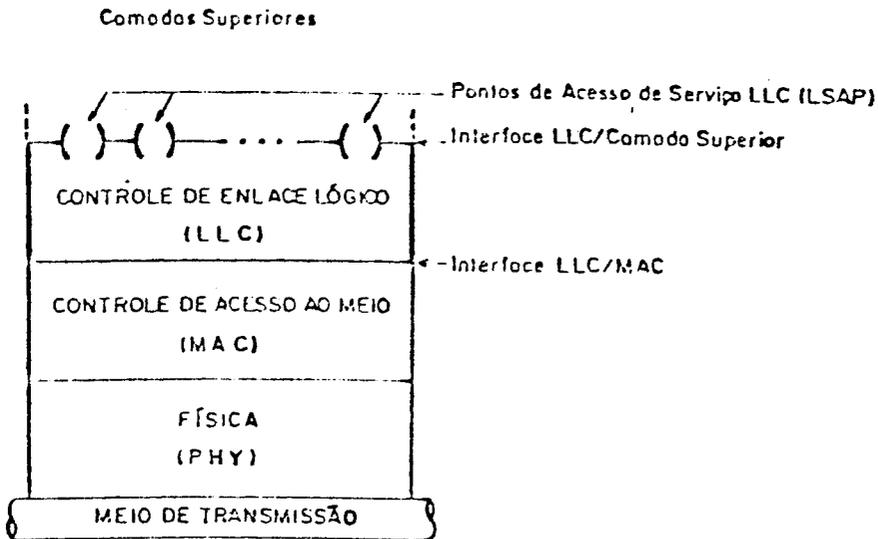


Fig. 19 - Primitivas de Serviço

O serviço sem conexão e sem reconhecimento por exemplo, utiliza apenas duas primitivas:

L-DATA.request
L-DATA.indication

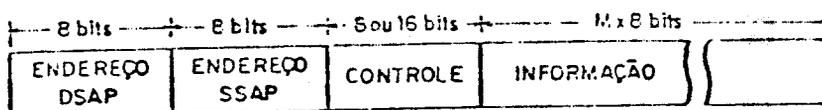
A camada imediatamente superior ao subnível de enlace lógico, solicita uma transmissão através de primitiva L-DATA.request, enquanto a primitiva L-DATA.indication é usada pela subcamada de enlace lógico para indicar a camada superior o recebimento de uma unidade de dados (PDU), de uma estação remota. Os parâmetros associados a cada uma dessas primitivas, incluem: endereço local, endereço remoto, tipo de unidade de dados transferidas e classe de serviço.

7.3 - Protocolo de Enlace Lógico

O protocolo de nível de enlace lógico proposto pelo IEEE 802.2 é do tipo orientado a bit, e utiliza muito dos conceitos e princípios especificados pela ISO e ANSI nos procedimentos conhecidos como Asynchronous balance mode (ABM), também utilizados nos protocolos HDLC descritos na seção 6 desse capítulo.

Unidade de Dados de Protocolo (PDU) tratada pela sucamada de enlace lógico (LLC) é composta de um capô de endereçamento, controle e um campo de informações como mostrado na figura 20.

PDU LLC



- DSAP Campo de Endereço de Ponto de Acesso de Serviço LLC Destinatário
- SSAP Campo de Endereço de Ponto de Acesso de Serviço LLC de Origem
- CONTROLE Campo de Controle (8 ou 16 bits dependendo do tipo de PDU)
- INFORMAÇÃO Campo de Informação ($M \geq 0$)

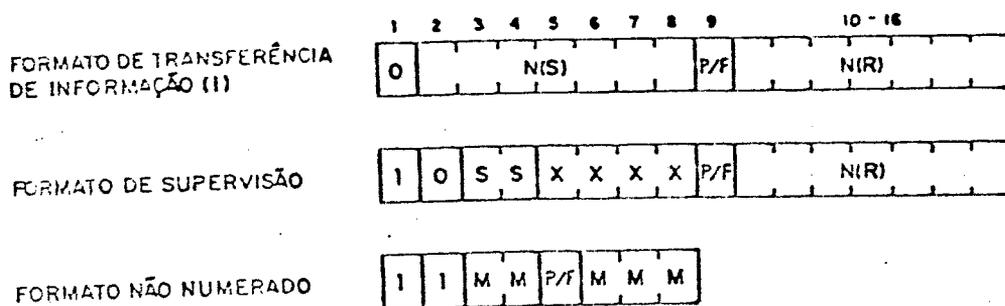
Fig. 20 - Formato da PDU LLC

O campo de controle da PDU LLC é constituído por um ou dois octetos que permitem designar as funções de comando e resposta associadas à unidade de dados. Como no caso dos protocolos HDLC, são definidos três formatos para o campo de controle da PDU LLC conforme mostrado na figura 21. Uma descrição mais detalhada da proposta IEEE 802 é apresentada no capítulo 9.

- Formato de Transferência de Informação (I)
- Formato de Supervisão (S)
- Formato Não Numerado (U)

(VIDE FIGURA NA PÁGINA SEGUINTE)

Bits do Campo de Controle



N(S) número de sequência da PDU transmitido (bit 2 = menor peso)

N(R) " " " esperada (bit 10 = menor peso)

S bit de função de supervisão.

M bit de função de supervisão suplementar.

X bits reservados (colocados em 0).

P/F { bit de solicitação de resposta imediata (P=1) nas transmissões de PDU de comando.
bit de resposta (F=1) nas transmissões de PDU de resposta.

Fig. 21 - Formato do Campo de Comando da PDU LLC

8 - RESUMO

A conexão de duas estações através de algum meio físico , cria condições para que possa haver troca de informações entre essas estações embora sujeitas a erros. É função do nível de enlace, implementar procedimentos para detecção e recuperação de erros e supervisão do meio de transmissão, de modo que ele seja utilizado de forma eficiente. Neste capítulo foram apresentadas diversas técnicas utilizadas para essas finalidades.

R E F E R E N C I A S

1. Peterson W., Brown D., "Cyclic Codes for Error Detection"; Proceedings of the I.R.E. v.49 (1-3) 1961.
2. Hamming R.W. "Error Detecting and Error Correting Codes"; The Bell System Technical Journal, April 1950.
3. Edge S.W., Hinchley A., "A Survey of End-to-End Retransmission Techniques";
4. Burton H.O., Sullivan D.D. "Error and Error Control"; Proceedings of the IEEE v.60, Nov. 1972.
5. Conard J.W. "Character Oriented Data Link Control Protocols"; IEEE Transactions on Communications n° 4, April.
6. Carlson D.E. "Bit-Oriented Data Link Control Procedures"; IEEE Transactions on Communications n° 4, April 1980.
7. "General Information - Binary Synchronous Communications Manual GA 27-3004-2"; IBM Systems Development Division, Publications Center 1972.
8. CCITT Recommendation X.25, October 1976.
9. Bochmann G. Joachin T. "Development and Structure of an X.25 Implementation"; IEEE Transactions on Software Engineering, v.8, n° 5, September 1979.
10. Sloman M. "X.25 Explained"; Computer Communications, v.1 n° 6, December 1978.
11. IEEE 802.2 Local Area Networks Standard, Logical Link Control, Draft D, November 1982.