

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS PARA INTERNET

CICERO PINHEIRO JUPI

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS PROTOCOLOS  
HDLC E FRAME RELAY**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2011

CICERO PINHEIRO JUPI

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS PROTOCOLOS  
HDLC E FRAME RELAY**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas para Internet da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. M.Sc. Alessandro Kraemer.

CAMPO MOURÃO

2011



## ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

As **vinte e uma horas** do dia **vinte e cinco de novembro de dois mil e onze** foi realizada na sala F102 da UTFPR-CM a sessão pública da defesa do Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas para Internet do acadêmico **Cicero Pinheiro Jupi** com o título **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS PROTOCOLOS HDLC E FRAME RELAY**. Estavam presentes, além do acadêmico, os membros da banca examinadora composta pelo professor **Me. Alessandro Kraemer** (Orientador-Presidente), pelo professor **Me. Rodrigo Campiolo** e pelo professor **Me. Frank Helbert**. Inicialmente, o aluno fez a apresentação do seu trabalho, sendo, em seguida, arguido pela banca examinadora. Após as arguições, sem a presença do acadêmico, a banca examinadora o considerou **Aprovado** na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso e atribuiu, em consenso, a nota \_\_\_\_\_ . Este resultado foi comunicado ao acadêmico e aos presentes na sessão pública. A banca examinadora também comunicou ao acadêmico que este resultado fica condicionado à entrega da versão final dentro dos padrões e da documentação exigida pela UTFPR ao professor Responsável do TCC no prazo de **quinze dias**. Em seguida foi encerrada a sessão e, para constar, foi lavrada a presente Ata que segue assinada pelos membros da banca examinadora, após lida e considerada conforme.

Observações:

---

---

---

Campo Mourão, 25 de novembro de 2011.

Prof. Me. Rodrigo Campiolo

Membro

Prof. Me. Frank Helbert

Membro

Prof. Me. Alessandro Kraemer

Orientador

---

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

## **AGRADECIMENTOS**

O resultado deste trabalho é fruto da participação e apoio de várias pessoas que sempre visaram o seu sucesso. Quero agradecer a uma pessoa que foi mais que um Orientador, foi um professor presente tanto nas horas de ensinar, criticar ou elogiar, Professor Alessandro Kraemer, obrigado pela motivação e ajuda na conquista de mais esta etapa da minha vida. Agradeço ao apoio vindo dos meus amigos, que estiveram ao meu lado nesta caminhada cheia de surpresas. Agradeço a toda a minha família, ao carinho dos meus irmãos Valteir e Vanusa, ao meu pai Gilvacir e principalmente minha mãe Quitéria por sempre me dar forças e acreditar no meu potencial. Por último e não menos importante, a minha noiva Grace Kellen, que esteve comigo em todos os momentos e acompanhou de perto cada passo desta caminhada.

*“Uma longa viagem começa por um passo...”.*

Provérbio Chinês.

## RESUMO

PINHEIRO JUPI, Cicero. Avaliação de desempenho dos protocolos HDLC e Frame Relay. 2011. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Sistemas para Internet. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2011.

Devido ao amplo desenvolvimento da internet e a crescente necessidade em se ter rede de computadores mais eficientes e eficazes, considera-se importante saber a diferença entre protocolos de enlace WAN para descobrir qual destes melhor se adapta a determinados cenários, como os de aplicações de tempo real. Este trabalho explora as características de alguns protocolos de enlace WAN e vem analisar por meio de simulações reais em Laboratório Especializado qual o protocolo WAN síncrono que obtém melhor desempenho em diferentes formas de envio, quando se muda o tamanho dos janelamentos na camada de transporte. Os resultados são encontrados por meio de testes do Iperf, programa especializado para este fim, que mostra dados relevantes para a comparação.

**Palavras-chave:** Protocolos Síncronos, Enlace WAN, Frame Relay, HDLC.

## ABSTRACT

PINHEIRO JUPI, Cicero. Performance evaluation of HDLC and Frame Relay protocols. 2011. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Sistemas para Internet. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2011.

Due to the broad development of the internet and the increasing necessity in having a computer network more efficient and effective, it is considered important to understand the difference between link protocols WAN to discover which of these protocols best adapts for certain scenarios, such as real-time applications. This paper explores the characteristics of some WAN protocols and analyze practical experiment using simulations in specialized laboratory. The goal is to compare synchronous WAN protocol in different forms of transmission, when changing the size of the windows in the layer of transport. The results are found by testing the lperf, specialized program for this purpose, which shows data relevant for comparison.

**Keywords:** Synchronous Protocols, WAN Link, PPP, Frame Relay, HDLC.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1. CONTEXTO DOS PROTOCOLOS DE ENLACE WAN SÍNCRONOS.....  | 13 |
| FIGURA 2: EFEITO DO JITTER PARA AS APLICAÇÕES.....  | 15 |
| FIGURA 3. FORMATO DE QUADRO PARA PROTOCOLOS ORIENTADOS A BITS. ....   | 19 |
| FIGURA 4: CAMPO DE CONTROLE DE (A) UM QUADRO DE INFORMAÇÃO, (B) UM QUADRO SUPERVISOR E (C) UM QUADRO NÃO NUMERADO. ....             | 19 |
| FIGURA 5. FORMATO DO QUADRO FRAME RELAY.....  | 21 |
| FIGURA 6. CENÁRIO DOS EXPERIMENTOS.....   | 24 |
| FIGURA 7: CENÁRIO HDLC.....   | 25 |
| FIGURA 8: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO TEMPO DE TRANSMISSÃO NO CENÁRIO HDLC. ....   | 26 |
| FIGURA 9: DISPERSÃO LINEAR DA MÉDIA DE TEMPO DE TRANSMISSÃO NO CENÁRIO HDLC. ....   | 26 |
| FIGURA 10: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DA VAZÃO NO CENÁRIO HDLC.....  | 27 |
| FIGURA 11: DISPERSÃO LINEAR DA VAZÃO NO CENÁRIO HDLC. ....  | 27 |
| FIGURA 12: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO JITTER NO CENÁRIO HDLC. ....  | 28 |
| FIGURA 13: DISPERSÃO LINEAR DO JITTER NO CENÁRIO HDLC.....  | 28 |
| FIGURA 14: CENÁRIO FRAME RELAY. ....  | 29 |
| FIGURA 15: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO TEMPO DE TRANSMISSÃO NO CENÁRIO FRAME RELAY. ....   | 30 |
| FIGURA 16: DISPERSÃO LINEAR DA MÉDIA DE TEMPO DE TRANSMISSÃO NO CENÁRIO FRAME RELAY.....  | 30 |
| FIGURA 17: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DA VAZÃO DA REDE NO CENÁRIO FRAME RELAY. ....  | 31 |
| FIGURA 18: DISPERSÃO LINEAR DA MÉDIA DA VAZÃO DA REDE NO CENÁRIO FRAME RELAY. ....  | 31 |
| FIGURA 19: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO JITTER NO CENÁRIO FRAME RELAY.....  | 32 |
| FIGURA 20: DISPERSÃO LINEAR DA MÉDIA DO JITTER NO CENÁRIO FRAME RELAY. ....   | 32 |
| FIGURA 21: COMPARAÇÃO ENTRE HDLC E FRAME RELAY TENDO COMO BASE A MÉDIA E O DESVIO PADRÃO DO TEMPO DE TRANSMISSÃO NO CENÁRIO. ....   | 33 |
| FIGURA 22: COMPARAÇÃO ENTRE HDLC E FRAME RELAY TENDO COMO BASE A DISPERSÃO LINEAR DA MÉDIA DO TEMPO DE TRANSMISSÃO NO CENÁRIO. .... | 34 |
| FIGURA 23: COMPARAÇÃO ENTRE HDLC E FRAME RELAY TENDO COMO BASE A MÉDIA E O DESVIO PADRÃO DA VAZÃO DA REDE NO CENÁRIO. ....          | 35 |
| FIGURA 24: COMPARAÇÃO ENTRE HDLC E FRAME RELAY TENDO COMO BASE A DISPERSÃO LINEAR DA MÉDIA DA VAZÃO DA REDE NO CENÁRIO. ....        | 35 |
| FIGURA 25: COMPARAÇÃO ENTRE HDLC E FRAME RELAY TENDO COMO BASE A MÉDIA E O DESVIO PADRÃO DO JITTER NO CENÁRIO.....                  | 36 |
| FIGURA 26: COMPARAÇÃO ENTRE HDLC E FRAME RELAY TENDO COMO BASE A DISPERSÃO LINEAR DA MÉDIA DO JITTER NO CENÁRIO.....                | 36 |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| TABELA 1. CARACTERÍSTICAS DOS QUADROS DOS PROTOCOLOS DE ENLACE WAN. .... | 23 |
|--|----|

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO.....   | 10 |
| 1.1 MOTIVAÇÃO .....   | 11 |
| 1.2 OBJETIVOS.....  | 11 |
| 1.2.1 Objetivo Geral .....  | 11 |
| 1.2.2 Objetivo Específico.....  | 11 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA .....   | 12 |
| 2 CONTEXTO DE REDE WAN.....   | 13 |
| 3 USO DO JITTER COMO MEDIDA DE DESEMPENHO DE REDE.....                                | 15 |
| 4 PRINCIPAIS PROTOCOLOS SÍNCRONOS DO LOOP LOCAL .....                                 | 16 |
| 4.1 CARACTERÍSTICAS DO HDLC (HIGH-LEVEL DATA LINK CONTROL).....                       | 19 |
| 4.2 CARACTERÍSTICAS DO FRAME RELAY.....   | 21 |
| 4.3 RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS .....  | 23 |
| 5 EXPERIMENTAÇÃO DO CENÁRIO WAN .....   | 24 |
| 5.1 AVALIAÇÃO DO CENÁRIO WAN COM HDLC.....  | 25 |
| 5.2 AVALIAÇÃO DO CENÁRIO WAN COM FRAME RELAY .....                                    | 29 |
| 5.3 CONFRONTO DOS RESULTADOS DO HDLC COM O FRAME RELAY .....                          | 32 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....   | 37 |
| REFERÊNCIAS.....  | 39 |
| APÊNDICE A – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR HDLC NO LADO CLIENTE .....           | 40 |
| APÊNDICE B – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR HDLC NO LADO SERVIDOR .....          | 41 |
| APÊNDICE C – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR FRAME RELAY NO LADO<br>CLIENTE ..... | 42 |
| APÊNDICE D – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR FRAME RELAY NO LADO<br>SERVIDOR..... | 43 |
| APÊNDICE E – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO SWITCH FRAME RELAY .....                      | 44 |

## 1 INTRODUÇÃO

O contexto WAN (*Wide Area Network*) não é apenas a Internet, ele também pode ser utilizado como uma grande rede privada. Em ambos os contextos existe uma diversidade de protocolos que gerenciam os enlaces WAN.

Com o rápido progresso tecnológico, as áreas de comunicação estão convergindo muito rápido e as diferenças são cada vez menores entre coleta, transporte armazenamento e processamento de dados. Organizações com centenas de escritórios dispersos por uma extensa área geográfica podem examinar o estado atual de suas filiais mais remotas. À medida que cresce a capacidade de colher, processar e distribuir informações torna-se ainda maior a demanda por novas tecnologias.

Os protocolos da camada de enlace têm impacto direto no desempenho da rede de computadores. O que este trabalho propõe é o estudo de alguns protocolos do contexto WAN. Os protocolos deste contexto trafegam dados de maneira serial e os mais amplamente utilizados são o ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), o HDLC (*High Level Data Link Control*), o PPP (*Point-to-Point Protocol*) e o Frame Relay. Esses protocolos são classificados em assíncronos e/ou síncronos. Apesar de ser mais vantajoso (Afghahi e Svensson, 1992), o modelo síncrono que é muito utilizado nas WAN privadas, é mais custoso que os assíncronos que são utilizados em sua maioria nos contextos domésticos.

Há várias diferenças entre os protocolos, que vão desde a implementação e formato até o seu desempenho. Embora existam algumas características, é importante que seja feito um estudo aprofundado sobre esses protocolos. Como resultado desse processo de pesquisa, será possível compará-los cientificamente.

## **1.1 MOTIVAÇÃO**

É importante compreender e comparar os protocolos WAN tendo em vista que esse tipo de estudo produz resultados sobre diferenças e potencialidades que muitas vezes não são considerados no projeto de uma rede de computadores. Certamente o custo/benefício deve ser considerado. De certa forma, isto contribui com as organizações públicas e privadas, uma vez que poderão utilizar tecnologia adequada ao seu contexto. Complementarmente fazer esta comparação entre os protocolos proporcionará um conhecimento científico muito importante também para o ambiente acadêmico.

## **1.2 OBJETIVOS**

Neste trabalho são explorados apenas os protocolos síncronos no contexto de WAN privada. No primeiro momento são apresentadas as características dos quadros desses protocolos, apresentando informações que podem ter impacto relevante em seu desempenho. Em seguida, com o objetivo de avaliar estes protocolos, foi elaborado um cenário de rede de computadores que representa uma WAN privada e posteriormente são apresentados os resultados de um experimento com base no desempenho dos enlaces.

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Objetiva-se neste trabalho comparar os protocolos WAN por meio de testes de desempenho e análise de resultados, ampliando o tamanho dos janelamentos na camada de transporte que inicia em 1 KB e vai até o limite de 128KB.

### **1.2.2 Objetivo Específico**

Tem-se por objetivos específicos:

1. Explorar os protocolos WAN, procurando detalhá-los;
2. Elaborar em laboratório, um cenário de rede de computadores para avaliar esses protocolos;
3. Coletar e avaliar os dados apontando suas diferenças.

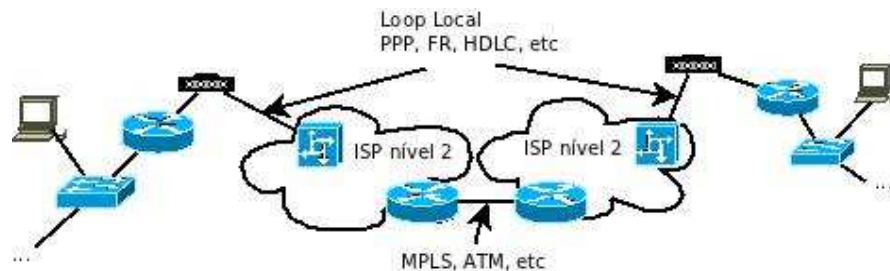
### 1.3 JUSTIFICATIVA

Devido ao grande crescimento da Internet, as redes de longa distância (WAN) vêm necessitando de recursos e maneiras mais sofisticadas para se comunicarem. Neste contexto é importante analisar a eficácia de alguns protocolos síncronos, isto por que para (AFGHAHI; SVENSSON, 1992), assim como Kwong et al. (1991), o modelo síncrono é considerado mais vantajoso. Este tipo de sinalização consegue um *throughput* maior e é preferido nos contextos WAN.

## 2 CONTEXTO DE REDE WAN

Redes WAN são gerenciadas por ISPs (*Internet Service Provider*), classificados em três níveis (FOROUZAN, 2008). No nível 1 estão os ISPs responsáveis pelas conexões nacionais e internacionais, dando forma a Internet. No nível 2 estão os ISPs de serviços regionais que conectam-se ao nível 1. Neste nível são vendidos serviços de rede WAN. Por fim, no nível 3 estão os provedores locais, normalmente para usuários domésticos.

Este trabalho explora os recursos no contexto síncrono dos ISPs de nível 2, que estão mais ligados com a oferta de redes WAN no loop (laço) local. A Figura 1 é utilizada para contextualizar os protocolos síncronos nesses enlaces.



**Figura 1 - Contexto dos protocolos de enlace WAN síncronos.**

O protocolo utilizado dentro do ISP não é o mesmo protocolo disponibilizado no laço local dos clientes finais. A rede interna do ISP utiliza padrões de comunicação mais eficientes, como o ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) (KOMISARCZUK, 1999).

Os quadros dos protocolos de enlace WAN são muito semelhantes (TANENBAUM, 2003), representando sinais que indicam inicialização, endereços, controles, dados, checagem de bits e finalização do quadro. Embora tenham semelhanças, os algoritmos desses protocolos trazem funcionalidades diferentes em seus campos.

Também existem as codificações de nível físico, que são responsáveis pelo formato que os bits assumem no meio de transmissão. Por exemplo, em meios de comunicação de cobre a tensão é alterada para diferenciar os bits 0 e 1. O tipo de codificação elétrica comumente utilizada em enlaces WAN é o NRZ (*Non Return to Zero*) (TITTEL, 2002). Nesta codificação a tensão nunca é neutra. Os bits são

transmitidos com tensão positiva ou negativa na escala de um para um. Ou seja, não há simplificação de sequência de bits.

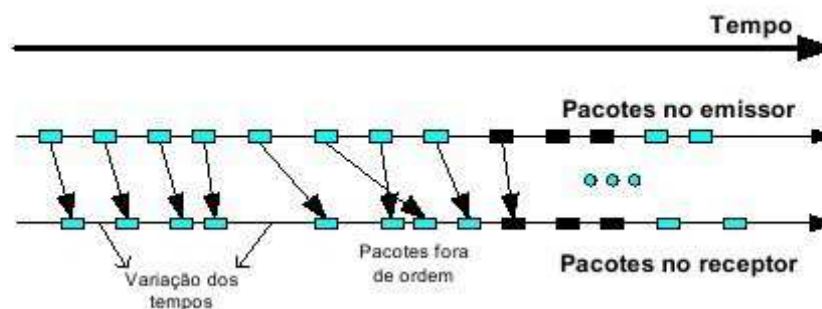
A desvantagem do NRZ ocorre quando muitos bits de mesmo valor são enviados continuamente (exemplo: 0000). Nessas condições existe o risco da transmissão ser corrompida (ELAHI, 2001). Este tipo de situação é comum de acontecer, pois os protocolos preenchem o quadro a fim de serem transmitidos com um tamanho mínimo e durante esse preenchimento são inseridos os bits sequenciais e idênticos.

O que difere os modos de codificação é como um sinal representa um bit e como são evitados os problemas de transmissão, como o problema de continuidade de bits. O problema de continuidade de bits pode ser resolvido utilizando a técnica 4B/5B, que troca uma sequência de 4 bits por outra bem definida de 5 bits (ELAHI, 2001). Um exemplo disto é a troca da sequência 0000 por 11110, de mais fácil identificação pelo dispositivo receptor. Mas esta não é a única técnica de troca de bits.

No NRZ é fácil de observar se existe presença ou não de sinal porque sempre será positiva ou negativa, nunca sem corrente. Uma corrente fraca já é suficiente para transmissão. O NRZ possui uma variante conhecida como NRZI. Neste tipo de codificação, quando o bit 1 é transmitido o sinal muda de estado (positivo para negativo, ou vice-versa), e quando o bit 0 é transmitido o estado não se altera. Com esta técnica procura-se facilitar a identificação dos bits (TITTEL, 2002). O NRZI utiliza a técnica 4B/5B.

### 3 USO DO JITTER COMO MEDIDA DE DESEMPENHO DE REDE

O *jitter* pode ser definido como a variação no tempo e na entrega das informações (*Packet-Delay Variation*) por causa da variação na latência da rede (STALLINGS, 2004). A rede e seus equipamentos estabelecem um atraso à informação (pacote), sendo esse atraso variável em decorrência de certos fatores, como tempo de processamento diferente nos equipamentos intermediários (roteadores, switches, etc.) e tempos de retenção diferentes impostos pelas redes públicas. A Figura 6 a seguir ilustra o efeito do *jitter* no processamento do pacote na origem e o seu processamento no destino. Observa-se que o *jitter* não provoca apenas variação no tempo de entrega dos pacotes, mas também alteração na ordem de entrega.



**Figura 2 - Efeito do Jitter para as aplicações**

Fonte: Silva (2004)

Outro fato importante a ser considerado no cenário é a perda de segmentos UDP. Os pacotes perdidos em redes IP são decorrentes principalmente por fatores como descarte de pacotes nos roteadores e switches (erros, congestionamentos etc.) e perdas de pacotes devidos a erros ocorridos na camada 2 (PPP, Ethernet, frame-relay, ATM, etc.) durante seu transporte. De maneira geral, a perda de pacotes em redes IP constituem um problema relevante para determinadas aplicações, como as de tempo real (SILVA, 2004).



## 4 PRINCIPAIS PROTOCOLOS SÍNCRONOS DO LOOP LOCAL

Os principais protocolos do contexto síncrono são o HDLC, o PPP e o Frame Relay. A seguir são apresentadas algumas informações gerais sobre cada um destes protocolos. Posteriormente esses protocolos são tratados com mais detalhes.

O HDLC é derivado do primeiro protocolo de enlace de dados utilizado no mundo, chamado de SDLC (*Synchronous Data Link Control* – ou Controle de enlace de dados síncronos). Depois de desenvolver o SDLC, a IBM o submeteu ao ANSI e a ISO para aceitação como um padrão nos Estados Unidos e no mundo inteiro, respectivamente. O ANSI modificou, transformando-o em ADCC (*Advanced Data Communication Control Procedure* – ou Procedimento de Controle de Comunicação de Dados Avançados). Em seguida, a ISO o transformou em HDLC. Este protocolo se baseia no mecanismo orientado a bits e utiliza a técnica de inserção de bits para a transparência de dados. (TANENBAUM, 2003, p. 249).

Tanenbaum (2003, p. 254) destaca outro protocolo ponto-a-ponto utilizado para diversos fins, incluindo o fim de cuidar do tráfego de roteador para roteador. Este protocolo é o PPP, definido na RFC (*Request for Comments*) 1661. O PPP trata de detecção de erros e permite que endereços IP sejam negociados em tempo de conexão, permitindo também a autenticação de roteadores. O PPP dispõe de três recursos, sendo o primeiro um método de enquadramento que delinea de forma não ambígua o fim de um quadro e o início do quadro seguinte. O segundo recurso tem relação com a ativação de linhas, teste, negociação de opções e desativação de linhas quando não forem mais necessárias. Este papel é exercido pelo LCP (*Link Control Protocol* – Protocolo de Controle de Enlace).

O PPP admite circuitos síncronos e assíncronos. Por último, o recurso de negociação de opções de camada de rede de modo independente do protocolo da camada de rede a ser utilizado. Para tanto, o NCP (*Network Control Protocol* – Protocolo de Controle de Rede) também é utilizado. Os protocolos LCP e NCP são suplementares ao PPP.

O formato de quadro PPP foi definido de modo a ter uma aparência semelhante ao formato de quadro HDLC, pois não há motivo algum para a definição

de um novo padrão. A principal diferença entre o PPP e o HDLC é que o primeiro é orientado a caracteres, e não a bits. O PPP foi definido muito depois das especificações HDLC originais. Como resultado, os criadores do PPP puderam incluir muitos recursos adicionais que ainda não faziam parte dos protocolos de enlace de dados WAN (TANENBAUM, 2003, p. 255). Ou ainda, o PPP foi adicionado como protocolo suplementar dos demais. Por exemplo, ele pode ser utilizado sob o ADSL no contexto assíncrono ou sob o HDLC e o Frame Relay no contexto síncrono.

O LCP fornece uma série de recursos opcionais para o PPP, como detecção de erros, onde o PPP pode desativar um enlace com base na porcentagem de erros deste. Conforme (ODOM, 2003, p.226, 227), o LQM (*Link Quality Monitoring*) troca estatísticas sobre os pacotes perdidos em relação aos pacotes recebidos em ambas as direções. Comparando-se os pacotes e bytes enviados, gera-se uma porcentagem de tráfego com erros. A porcentagem de perda que faz o enlace ser desativado é definida por meio de um parâmetro de configuração. Na detecção de enlace em loop usando números diferenciados, os roteadores enviam mensagens uns para os outros. No caso de se receber o próprio número diferenciado, significa que o enlace está em loop. Existem parâmetros de configuração para que o enlace seja desativado caso isso aconteça. No caso de suporte *multilink*, os fragmentos de pacotes tem a carga balanceada através de múltiplos enlaces. Esse recurso é mais usado em conexões discadas. Também existe a Autenticação, PAP (*Password Authentication Protocol*) e CHAP (*Challenge-Handshake Authentication Protocol*) que troca nomes e senhas, para que cada dispositivo possa verificar a identidade do dispositivo localizado na outra extremidade do enlace.

Outro recurso importante do LCP no fornecimento de suporte ao PPP é o IP *Control Protocol*, ou IPCP (*Internet Protocol Control Protocol*). O IPCP fornece atribuição de endereços IP muito usado em conexões discadas. Por isso, é comum encontrar esse protocolo em conexões DSL.

As configurações do HDLC e do PPP são simples. Deve-se certificar de configurar o mesmo protocolo de enlace de dados WAN em ambas as extremidades do enlace serial. Caso contrário, os roteadores vão interpretar os quadros que chegam de maneira incorreta, por que cada protocolo usa um formato diferente.

Embora os protocolos HDLC e PPP sejam bastante utilizados em redes menores, no ambiente corporativo os mais utilizados são o Frame Relay e o MPLS.

A essência do frame relay é o fato de ser uma rede orientada a conexões sem controle de erros e nenhum controle de fluxo. As propriedades de entrega em ordem, nenhum controle de erros e nenhum controle de fluxo tornavam o frame relay semelhante a uma LAN de área extensa. Sua aplicação mais importante é a interconexão de LANs instaladas em vários escritórios de uma empresa. O frame relay desfrutou de um modesto sucesso, e ainda hoje é utilizado em alguns lugares. (TANENBAUM, 2003, p. 65).

O Frame Relay se assemelha bastante a camada OSI de enlace de dados (ODOM, 2003, p. 269). Os cabeçalhos deste protocolo são usados simplesmente para permitir que um pacote passe pela rede, da mesma forma como cabeçalhos Ethernet são usados para ajudar um pacote a passar por um segmento Ethernet.

Odom (2003, p. 272) comenta que o protocolo Frame Relay oferece recursos e vantagens quanto aos enlaces WAN ponto-a-ponto. Ele define que os Frames Relays são, por exemplo, redes multiacesso. Isto significa que podem ser conectados mais de dois dispositivos, entretanto não é possível enviar um broadcast de camada de enlace de dados por meio do Frame Relay. Assim as redes Frame Relay são chamadas de redes multiacesso sem difusão. Além disso, pelo fato do Frame Relay ser multiacesso, ele exige o uso de um endereço que identifique para qual roteador remoto cada quadro deve ser endereçado. Esse endereço é conhecido como DLCI (*Data Link Connection Identifier*).

Entre os protocolos de loop local explorados, são síncronos apenas os protocolos HDLC, Frame Relay e PPP. O PPP pode ser classificado como protocolo suplementar aos dois primeiros, conforme RFCs 1662 e 1973, respectivamente. Contudo, este trabalho explora com mais detalhes apenas os protocolos HDLC e Frame Relay.

#### 4.1 CARACTERÍSTICAS DO HDLC (*HIGH-LEVEL DATA LINK CONTROL*)

O HDLC é um protocolo orientado a bits (TANENBAUM, 2003). No caso de linhas ponto a ponto, às vezes esse campo é utilizado para diferenciar comandos e respostas. A Figura 2 apresenta o formato do quadro HDLC.

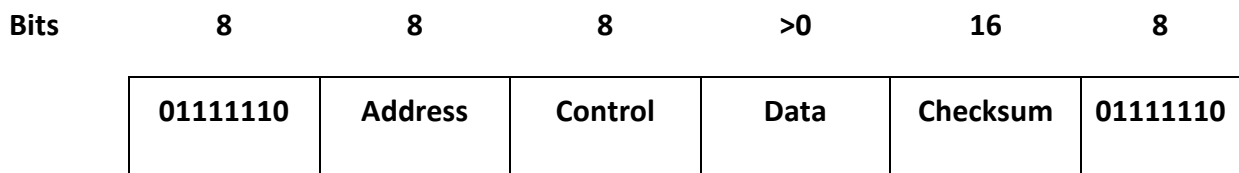


Figura 3 - Formato de quadro para protocolos orientados a bits.

Fonte: Tanenbaum (2003)

O campo *Control* é utilizado para números de sequência, confirmações e outras finalidades. O campo *Data* pode conter qualquer informação. Este campo pode ser longo, mas ocorre uma diminuição de eficiência de verificação quando este comprimento do quadro é aumentado. Já o campo *Checksum* é uma variação do código de redundância cíclica. O quadro é delimitado pela outra sequência de bits (*flags*) (01111110). Nas linhas ponto a ponto ociosas, as sequências de flags são transmitidas de forma contínua. O quadro mínimo contém três campos e totaliza 32 bits, excluindo os flags de cada extremidade.

O campo *Control* é classificado em três tipos de quadros: quadro de informação, quadro supervisor e quadro não numerado, apresentados na Figura 3.

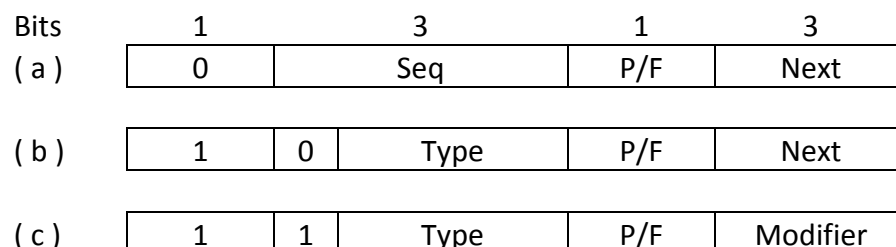


Figura 4 - Campo de controle de (a) um quadro de informação, (b) um quadro supervisor e (c) um quadro não numerado.

Fonte: Tanenbaum (2003)

Uma janela deslizante é utilizada pelo protocolo, sendo usado um número de sequência de 3 bits. Pode existir a qualquer instante até sete quadros não confirmados pendentes. O campo *Seq* da Figura 3(a) traz o número de sequência do quadro. O campo *Next* é uma confirmação transportada por *piggyback*<sup>1</sup>. Entretanto, todos os protocolos concordam à convenção de utilizar o número do primeiro quadro ainda não recebido, ou seja, o próximo quadro esperado em vez de transportar o número do último quadro recebido corretamente. A escolha entre utilizar o último quadro recebido ou o próximo quadro esperado é arbitrária, não importando qual a convenção adotada, desde que utilizada de forma correta. (TANENBAUM, 2003, p. 250).

O bit P/F representa Poll/Final. Ele é utilizado quando um computador ou concentrador está consultando um grupo de terminais. Quando utilizado como P, o computador está convidando o terminal a enviar os dados. Todos os quadros 0 enviados pelo terminal, com exceção do quadro final, têm o bit P/F definido como P. O quadro final é definido como F. Em alguns protocolos, o bit P/F é utilizado para forçar a outra máquina a enviar imediatamente um quadro supervisor, em vez de aguardar o tráfego inverso para inserir nele as informações da janela. O bit também tem alguns usos menos importantes relacionados aos quadros não numerados.

Os quadros de supervisão são classificados de acordo com o conteúdo do campo *Type*. O *Type 0* é um quadro de confirmação usado para indicar o próximo quadro esperado. Esse quadro é utilizado quando não há tráfego inverso que permita o uso do *piggybacking*. O *Type 1* é um quadro de confirmação negativa. Ele é utilizado para indicar a detecção de um erro de transmissão, indicando que o quadro não foi recebido corretamente. O campo *Next* indica o primeiro quadro da sequência não recebido corretamente, o quadro a ser retransmitido. O transmissor é solicitado a retransmitir todos os quadros pendentes a partir de *Next*. O *Type 2*, é utilizado para controle de fluxo que impede o envio de novos quadros. Ele confirma todos os quadros até *Next*, e solicita que o transmissor interrompa o envio de quadros.

---

<sup>1</sup> Técnica de retardar temporariamente as confirmações e enviá-las junto com o próximo quadro de dados. (TANENBAUM, 2003, p. 225).

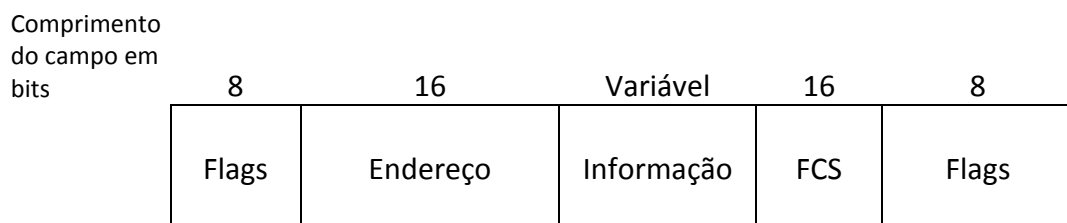
O *Type 3* tem como objetivo solicitar a retransmissão apenas do quadro especificado. Ele é mais útil quando o tamanho da janela do transmissor é menor ou igual à metade do tamanho do espaço de sequência. Dessa forma, se um receptor desejar armazenar quadros fora de sequência no buffer para uma possível utilização futura, ele poderá forçar a retransmissão de qualquer quadro específico.

A terceira classe de quadro da Figura 3(c) é o quadro não numerado, que às vezes é utilizado para fins de controle, mas que também pode transportar dados quando é utilizado o serviço não confiável sem conexão. Os diversos protocolos orientados a bits diferem consideravelmente neste ponto.

Por fim, o quadro HDLC é composto por um campo chamado de FCS (Sequência de Verificação de Quadros) que tem a finalidade de analisar se ocorrem erros de bits durante a transmissão. Caso ocorra erro o quadro é descartado. A recuperação de erros é o processo que ocasiona a retransmissão dos quadros perdidos. A recuperação pode ser realizada pelo protocolo de enlace de dados ou por outro protocolo de camada mais alta, podendo até mesmo não ser feita. (ODOM, p. 224).

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DO FRAME RELAY

O formato dos quadros Frame Relay é definido inicialmente com os campos de delimitação, de início e fim do quadro. Sua representação quanto ao valor do campo é sempre o mesmo, como um número hexadecimal ou número binário. A Figura 4 apresenta o formato do quadro Frame Relay.



**Figura 5 - Formato do Quadro Frame Relay.**

**Fonte:** Frame Relay (2011)

O campo Endereço contém informações como DLCI , com 10 bits, sendo a essência do cabeçalho Frame Relay. A conexão virtual entre o dispositivo DTE (*Data Terminal Equipment*) e o dispositivo switch, é representado por este valor. Cada conexão virtual que é multiplexada sobre o canal físico é representada por um DLCI único. O valor do DLCI tem somente significado local, sendo somente para o canal físico em que residem. Com isso, dispositivos em lados opostos de uma conexão podem usar um valor de DLCI diferente para se referir a mesma conexão virtual. *Extended Address (EA)*: é utilizado para indicar se o byte em que o valor de EA é 1 e o último campo do endereço. Se o valor é 1, então o byte atual é determinado como sendo o último octeto do DLCI. Embora todas as implementações de Frame Relay atuais usem um DLCI de dois octetos. O oitavo pedaço de cada byte do campo de endereço é usado para indicar o EA. No campo *Address* também existe o C/R, que é o bit que segue o byte mais significativo do DLCI no campo de endereço. O bit C/R não está definido atualmente.

O Frame Relay possui o recurso de Controle de Congestionamento, que consiste em três bits que controlam o mecanismo de notificação. Esses bits são FECN (*Forward Explicit Congestion Notification*), BECN (*Backward Explicit Congestion Notification*), e DE (*Discard Eligibility Indicator*), que são os últimos três bits no campo de endereço. O FECN é um campo de um único bit que pode ser fixado no valor 1 por um switch para indicar a um dispositivo DTE final, como um roteador, que foi analisada a existência de congestionamento na direção da transmissão do quadro da origem até o destino. O benefício primário do uso do FECN e do BECN é o de proporcionar os protocolos de alto nível da habilidade para reagir de forma inteligente a estes indicadores de congestionamento. O BECN é um campo de bit único que, quando fixado no valor 1 por um switch indica que um congestionamento foi visto na rede, na direção oposta a direção da transmissão dos quadros da origem até o destino. O bit DE é fixado pelo dispositivo de DTE, como um roteador, indicando que o quadro marcado é de menor importância relativa a outros quadros sendo transmitidos. Alguns quadros podem ser marcados como “passíveis de descarte”. Quando isto acontece, eles devem ser descartados antes de outros quadros em uma rede congestionada. Isto possibilita um mecanismo bastante básico de priorização em redes Frame Relay.

No formato de quadro Data estão os dados encapsulados das camadas superiores. Cada quadro neste campo de comprimento variável inclui os dados do usuário ou *payload*, campo que pode variar em comprimento de até 16.000 octetos. O transporte da PDU do protocolo de alto nível por uma rede de Frame Relay é feito por este campo.

O campo FCS assegura a integridade de dados transmitidos. Este valor é analisado pelo receptor para assegurar a integridade da transmissão e computado pelo dispositivo de origem (FRAME RELAY, 2011).

### 4.3 RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS

Aumentar o *payload* dos protocolos é uma boa alternativa para o ganho de desempenho. Por outro lado, podem ocorrer muitos erros de transmissão. Outra razão é que no Ethernet o *payload* é limitado. Assim, quando os quadros chegam na WAN eles serão pouco fragmentados. Demais dados são apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1. Características dos quadros dos protocolos de enlace WAN analisados.**

|             | <b>Enlace</b>              | <b>Payload</b> | <b>Autenticação</b> | <b>Recuperação de erros</b> | <b>Sinalização de Congestionamento</b> |
|-------------|----------------------------|----------------|---------------------|-----------------------------|--|
| HDLC        | Ponto-a-ponto e Multiponto | 1500 B         | Não                 | Apenas detecção.            | Não                                    |
| Frame Relay | Ponto-a-ponto e Multiponto | 1500 B         | Não                 | Apenas detecção.            | Sim. FECN, BECN e DE.                  |



## 5 EXPERIMENTAÇÃO DO CENÁRIO WAN

O cenário implantado procura avaliar o desempenho por meio da geração de tráfego com o programa iperf, utilizando computadores com Linux e roteadores dedicados Cisco. Independentemente do tipo de servidor, o que se deseja avaliar é o desempenho da camada de enlace, não envolvendo a camada de aplicação, mas inevitavelmente a camada de transporte. Para tanto, faz-se o uso do programa iperf, amplamente utilizado no meio acadêmico para este fim.

O cenário de testes utilizado para avaliação de desempenho representa uma rede LAN *FastEthernet* e WAN E1 (2 Mbps). O experimento conta com roteadores CISCO 2811, *Switches* D-LINK e computadores com Linux instalados em um laboratório especializado da UTFPR. A Figura 5 detalha a topologia física deste experimento.

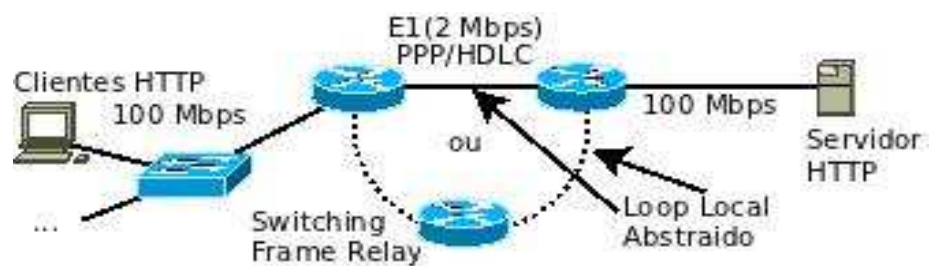


Figura 6 - Cenário dos experimentos.

Para diminuir a latência foram configuradas rotas estáticas em vez de utilizar protocolos de roteamento dinâmico. Para equiparar os protocolos o cenário representa uma WAN ponto-a-ponto, sem autenticação, *payload* de 1500 Bytes e ausência de erros (isto pôde ser verificado pelo log do roteador CISCO).

No total foram realizadas 30 interações cliente-servidor com tamanho de arquivo de 1.25MB para cada protocolo WAN. A cada 30 interações foi modificado o tamanho dos quadros, sendo utilizados os tamanhos de 1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k, 64k e 128k respectivamente. As mesmas interações foram realizadas em dois formatos de codificação de nível físico, conhecidas como NRZ (*Non Return to Zero*) e NRZI (*Non Return to Zero Inverted*). Estes recursos representam o domínio da rede WAN onde os critérios de comparação são o tempo de transmissão do arquivo, a vazão da rede e o *jitter*.

Das informações geradas pelo iperf obteve-se o tempo de transmissão dos dados, a vazão da rede e o *jitter*. Este último é indispensável nas aplicações que são executadas na rede, cuja operação apropriada dependa de alguma forma de garantia que os pacotes devem ser processados em períodos de tempos bem definidos.

### 5.1 AVALIAÇÃO DO CENÁRIO WAN COM HDLC

O cenário WAN HDLC está representado pela Figura 7. As demais figuras desta seção apresentam os resultados coletados com base nos testes do programa iperf, composto pela vazão, pelo tempo de transmissão do arquivo, *jitter* e pelo percentual de perda de pacotes. O percentual de perda dos pacotes foi nulo, o que demonstra que a rede estava em seu estado ideal, sem erros ou congestionamentos. Mas mesmo nestas condições existiram resultados distintos para o *jitter*. O mesmo cenário foi executado em duas situações, com NRZ e depois com NRZI.

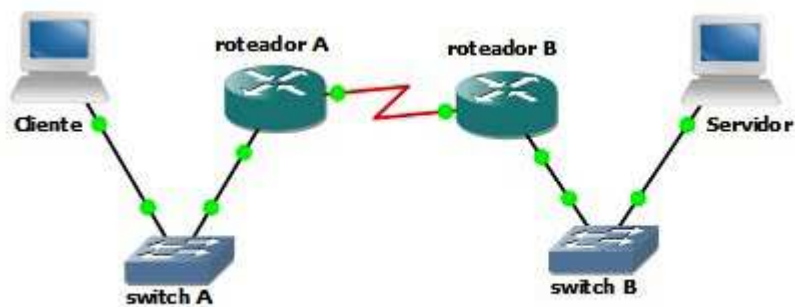


Figura 7 - Cenário HDLC.

Os arquivos de configuração dos roteadores estão nos Apêndices A e B. As Figuras 8 e 9 representam os resultados sobre o tempo de transmissão dos arquivos gerados pelo iperf.

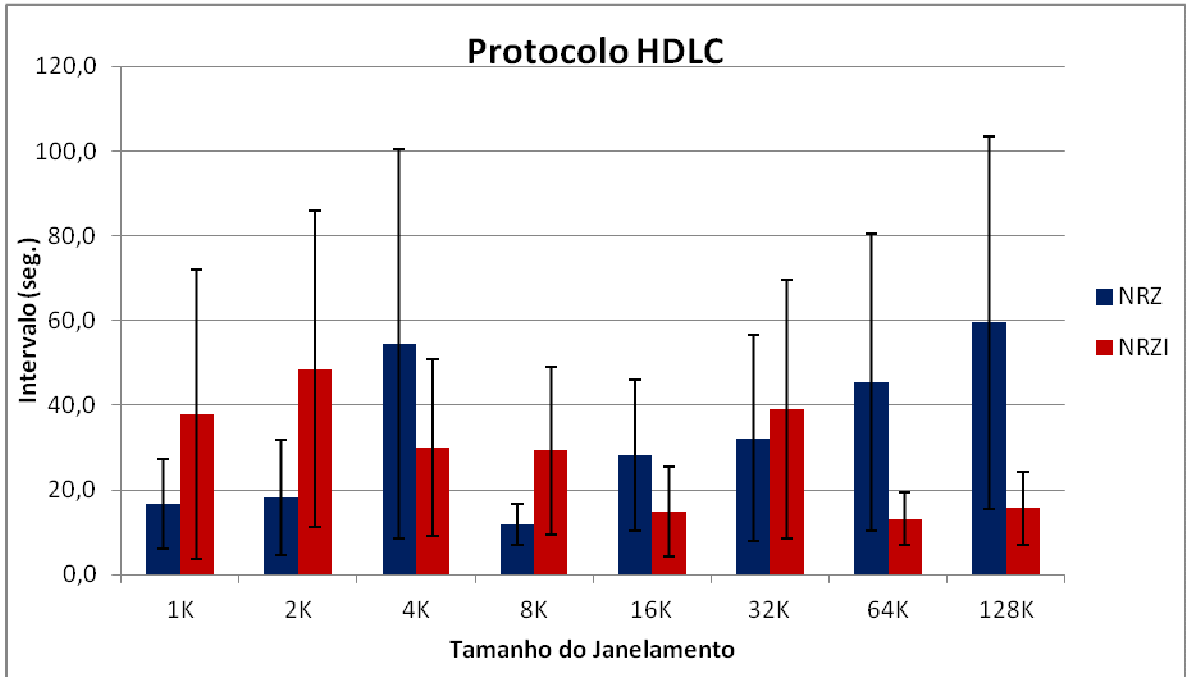


Figura 8 - Média e desvio padrão do tempo de transmissão no cenário HDLC.

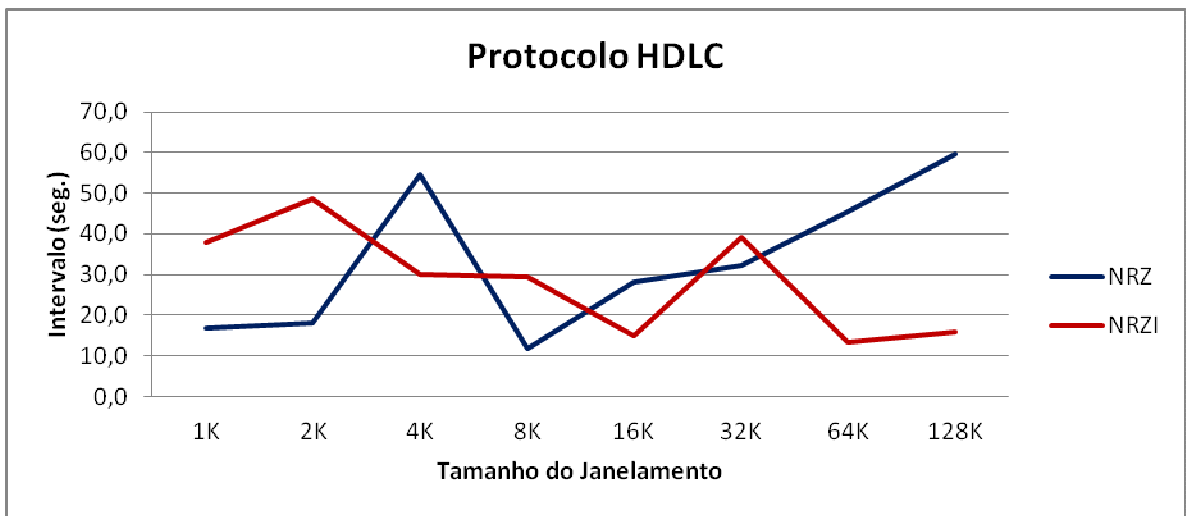


Figura 9 - Dispersão linear da média de tempo de transmissão no cenário HDLC.

Com base nos resultados apresentados observa-se que conforme o janelamento aumenta o NRZI se apresenta mais eficiente (mais veloz). Por outro lado, o NRZ com janelamento 1K e 2K é muito eficiente nesta configuração.

As Figuras 10 e 11 apresentam os dados sobre a vazão (aproveitamento da rede).

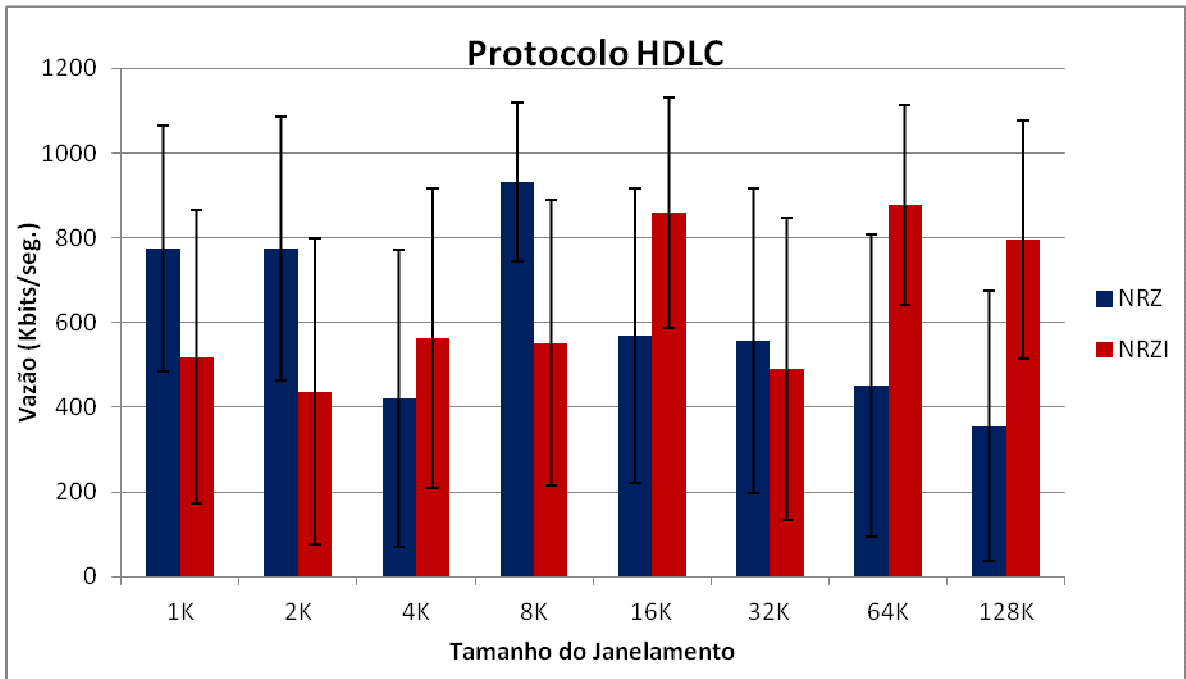


Figura 10 - Média e desvio padrão da vazão no cenário HDLC

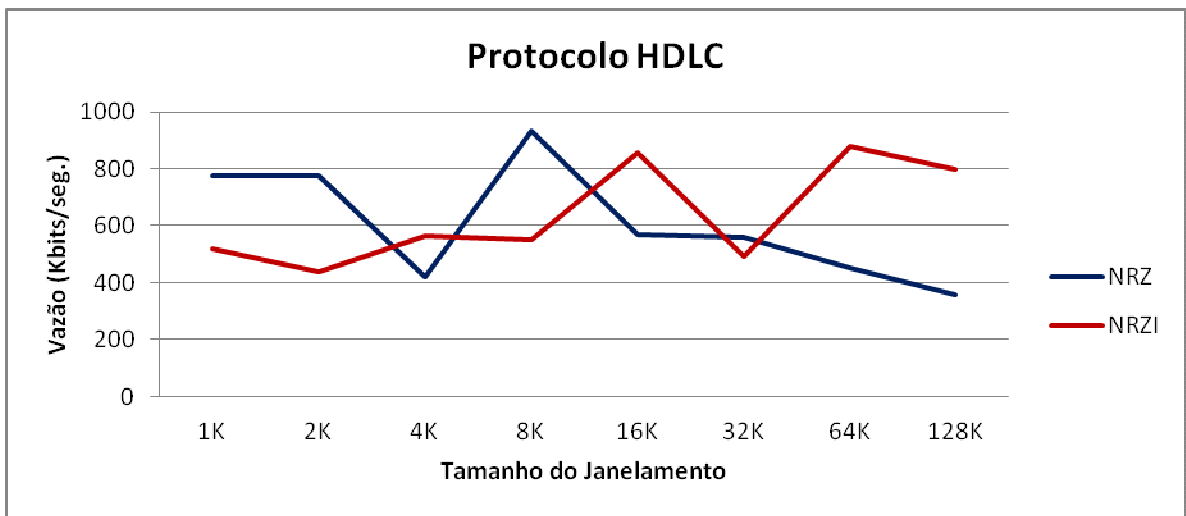


Figura 11 - Dispersão linear da vazão no cenário HDLC.

Com base na Figura 11, o NRZI consegue uma vazão melhor (mais Kbits/sec) quando o janelamento aumenta. Isto explica também o fato de que ele consegue transmitir em menos tempo (Figura 9).

Por fim, as Figuras 12 e 13 representam os resultados do *jitter*.

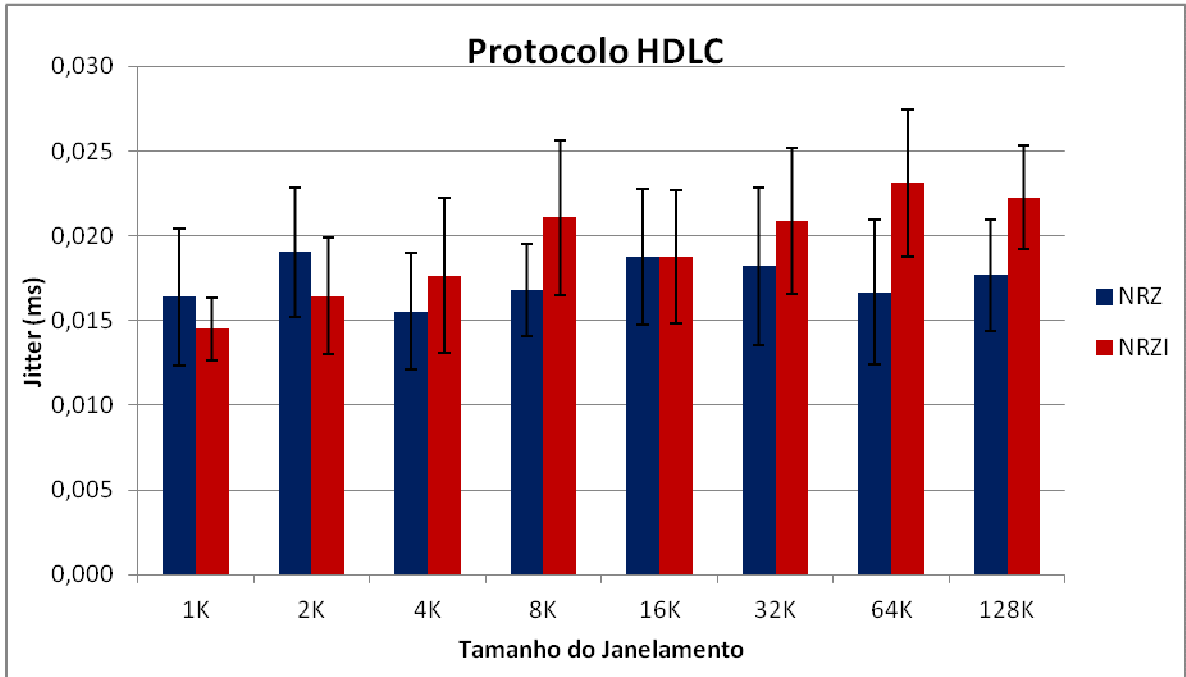


Figura 12 - Média e desvio padrão do jitter no cenário HDLC.

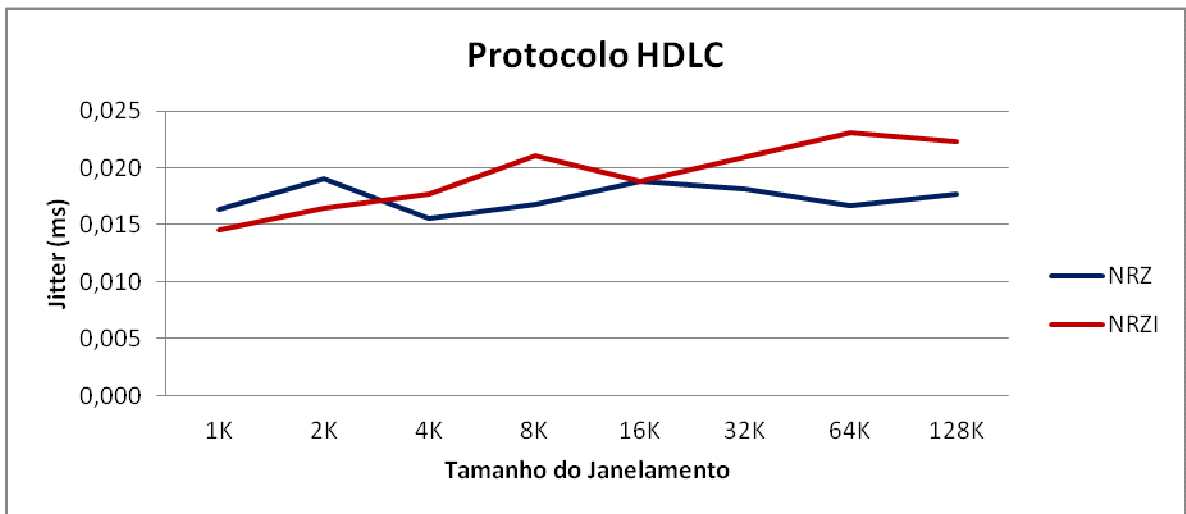


Figura 13 - Dispersão linear do jitter no cenário HDLC.

Em relação ao *jitter*, o NRZ e o NRZI possuem dados muito próximos, dentro do intervalo de desvio padrão. Isto pode ser considerado uma vantagem para o NRZI, já que ele possui um algoritmo de inserção 4B/5B e isto demanda tempo de processamento, o que não afetou significativamente em relação ao NRZ, que não executa tal técnica.

De forma geral, o NRZI se apresentou com mais eficiência quando o janelamento aumenta.

## 5.2 AVALIAÇÃO DO CENÁRIO WAN COM FRAME RELAY

Executando a configuração específica do Frame Relay, as demais condições de janelamento e produção de tráfego pelo iperf foram as mesmas destacadas no cenário HDLC. Ou seja, verificou-se o tempo de transmissão, a vazão, o *jitter* e o percentual de perda. Novamente não houve perda (0%), o que demonstra que a rede com Frame Relay continuava em seu estado ideal, sem erros e sem congestionamentos. A Figura 14 apresenta o cenário WAN com Frame Relay, que diferente do cenário anterior, necessita de um switch Frame Relay em sua configuração mínima.

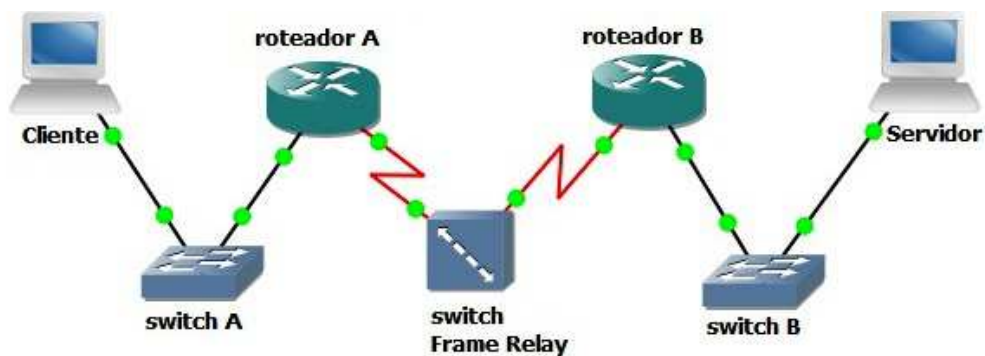


Figura 14 - Cenário Frame Relay.

Os arquivos de configuração dos roteadores estão nos Anexos C e D. As figuras 15 e 16 representam os resultados sobre o tempo de transmissão dos arquivos gerados pelo iperf.

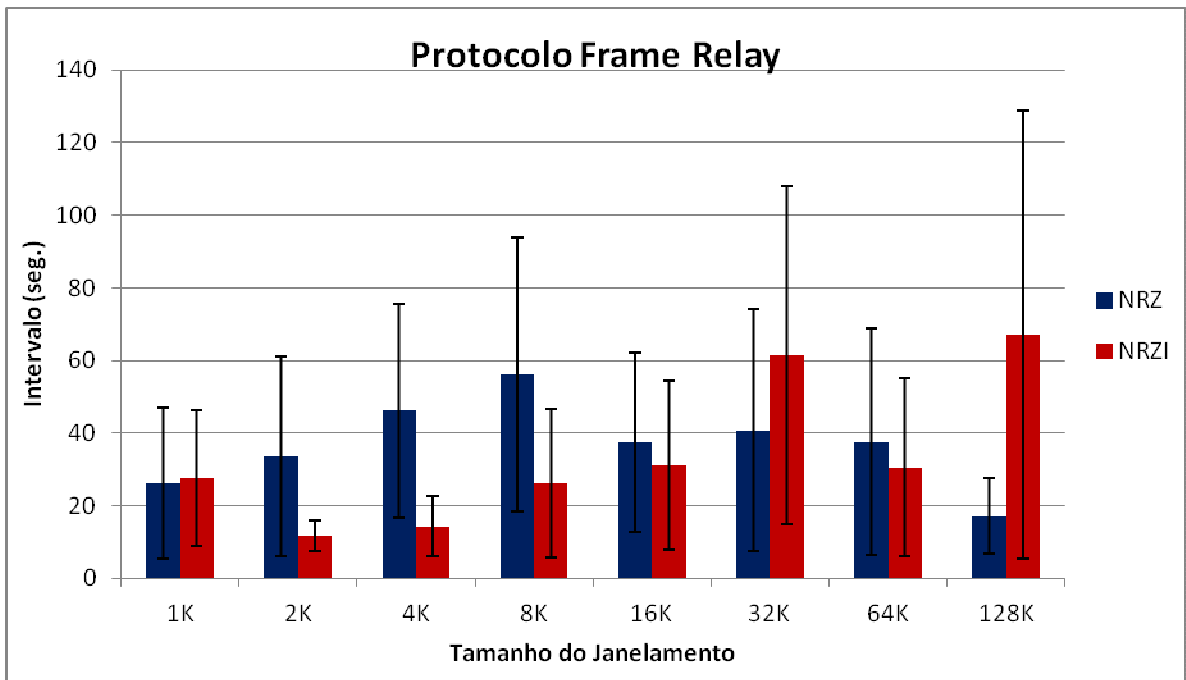


Figura 15 - Média e desvio padrão do tempo de transmissão no cenário Frame Relay.

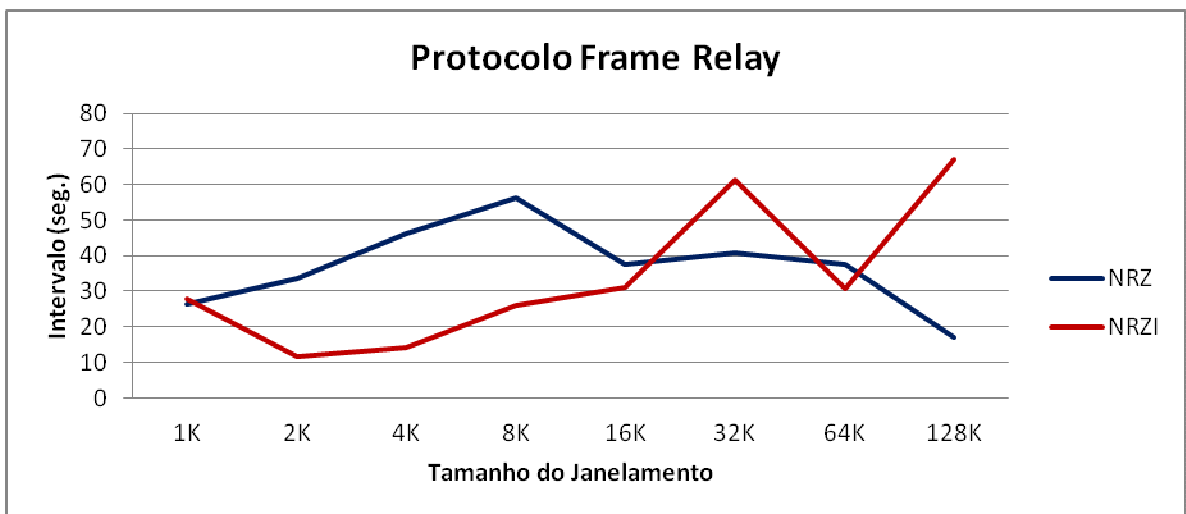


Figura 16 - Dispersão linear da média de tempo de transmissão no cenário Frame Relay.

No Frame Relay o NRZ consegue ser mais veloz na transmissão de arquivo. Uma explicação para isto é que neste cenário é obrigatório o uso de um Switch Frame Relay. Ou seja, é mais um ativo que precisa interpretar os bits e comutá-los ao destino correto. Ao mesmo tempo esse ativo também precisa processar o NRZI, gerando mais latência em comparação ao NRZ. Com base na figura 16, isto ocorre com mais frequência quando o janelamento passa de 16K. Esta mesma observação

é válida quando se avalia a Figura 17 e 18, que tratam da vazão da rede. Nestas figuras a vazão se apresenta menor para o NRZI.

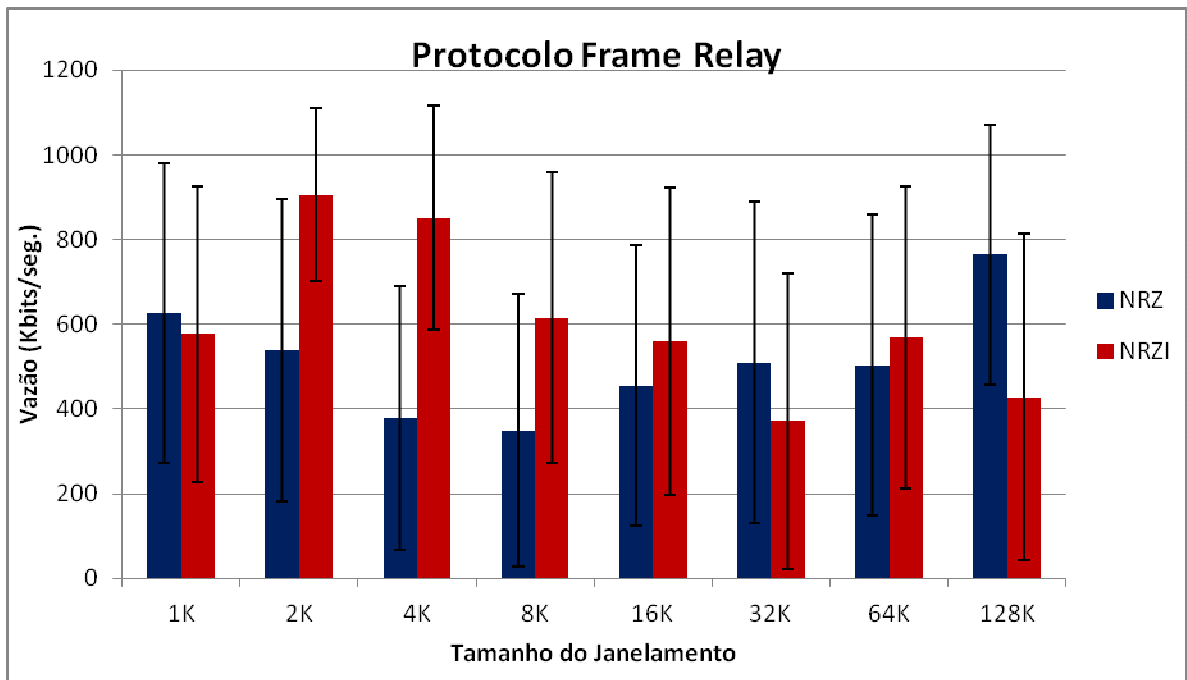


Figura 17 - Média e desvio padrão da vazão da rede no cenário Frame Relay.

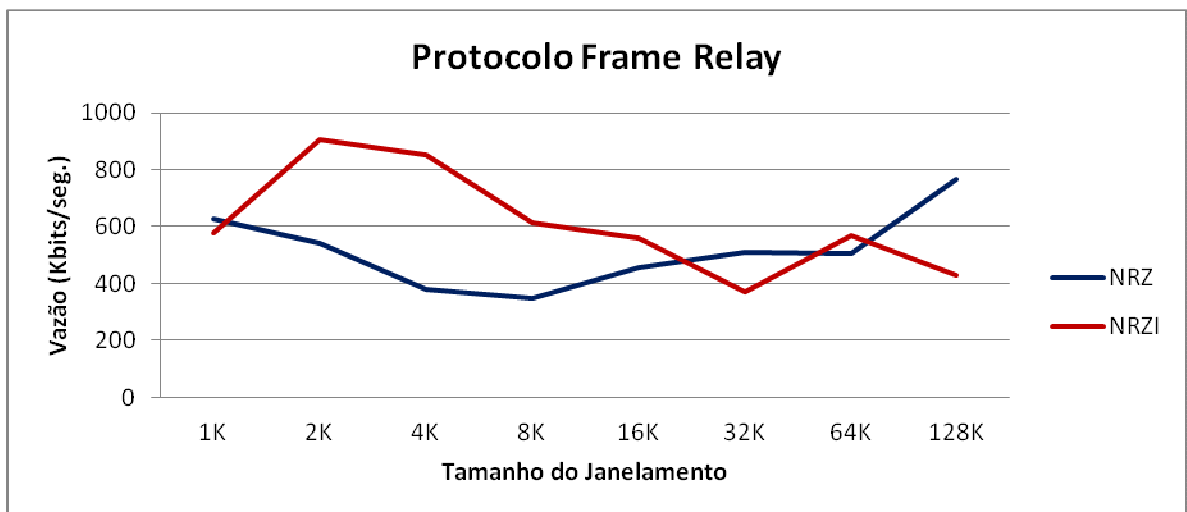


Figura 18 - Dispersão linear da média da vazão da rede no cenário Frame Relay.

A respeito do *jitter*, pouca foi a variação nos contextos NRZ e NRZI, embora a expectativa fosse de que o NRZI aumentasse a latência. Isto pode ser observado nas Figuras 19 e 20.



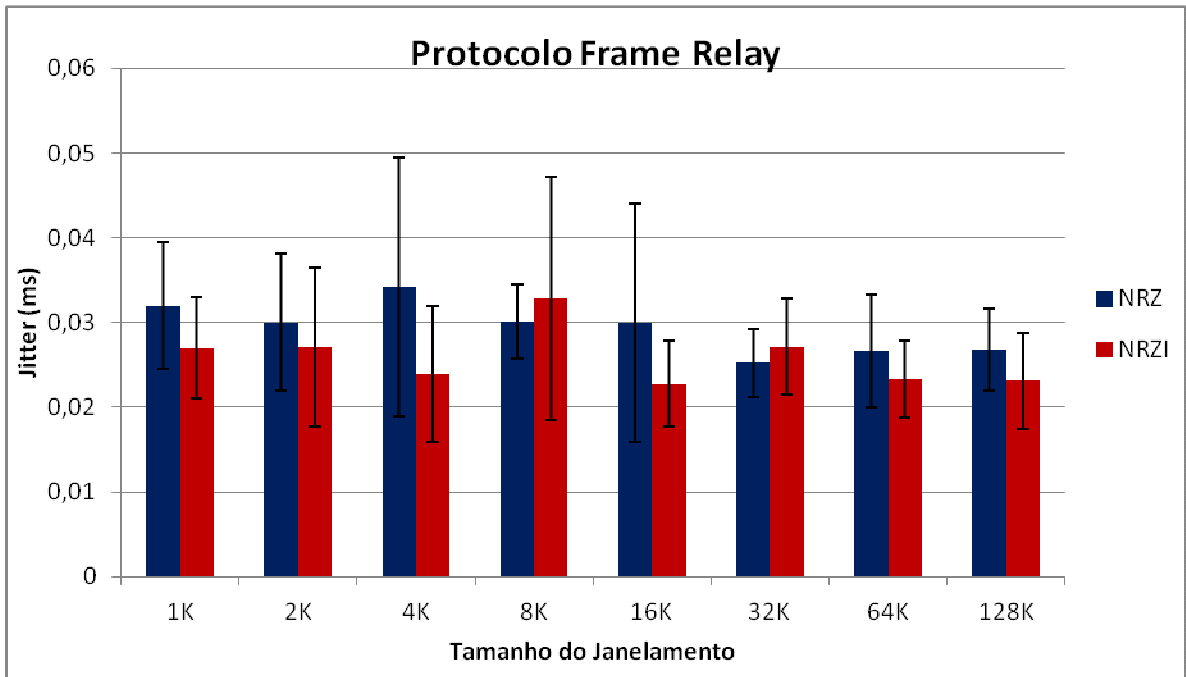


Figura 19 - Média e desvio padrão do *jitter* no cenário Frame Relay.

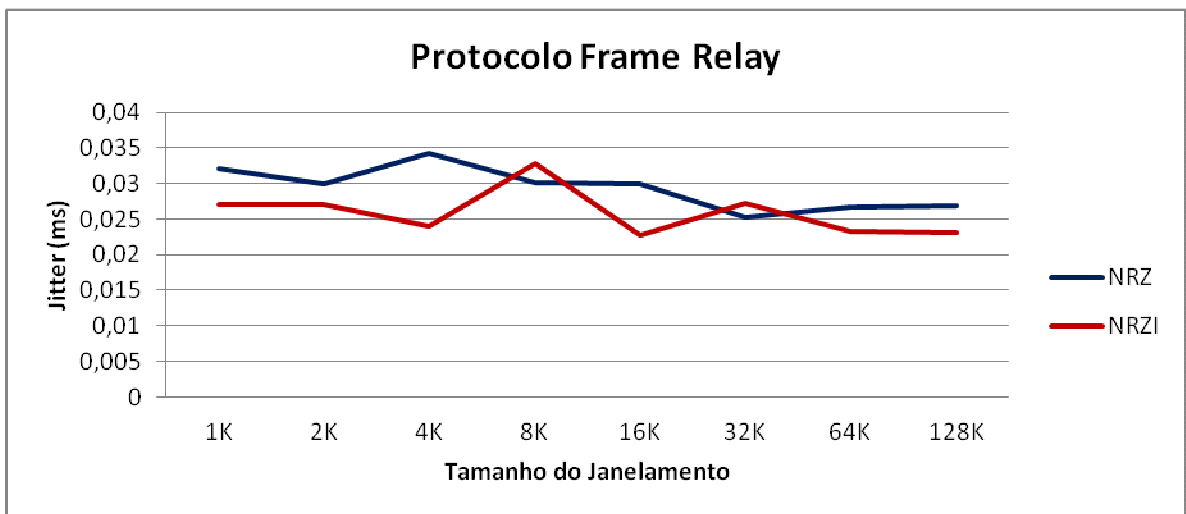


Figura 20 - Dispersão linear da média do *jitter* no cenário Frame Relay.

### 5.3 CONFRONTO DOS RESULTADOS DO HDLC COM O FRAME RELAY

A análise dos dados dos dois cenários duplos (HDLC e Frame Relay com NRZ e com NRZI) proporciona comparar tendo como base uma rede ideal. Ou seja, com a largura de banda teórica máxima disponível e sem a necessidade de uso de *buffers* nos roteadores, que também não foram sobrecarregados em relação ao processamento desses protocolos de enlace.

A abstração da rede WAN também permite afirmar que em um caso real, formado por diversos equipamentos de telecomunicação intermediários, a diferenciação linear das variáveis experimentadas poderia ser maior, pois se trata de um cenário com muito mais estresse de tráfego. Por outro lado, a situação de estresse de um experimento em cenário real talvez não fosse a mesma de outro experimento, o que pode prejudicar nas análises comparativas. Os dados apresentados neste trabalho oferece a mesma condição de rede para todos os experimentos, isto por que causa da isenção deste estresse.

As Figuras 21 e 22 apresenta a comparação dos protocolos tendo como base o tempo para transmissão de arquivo na rede.

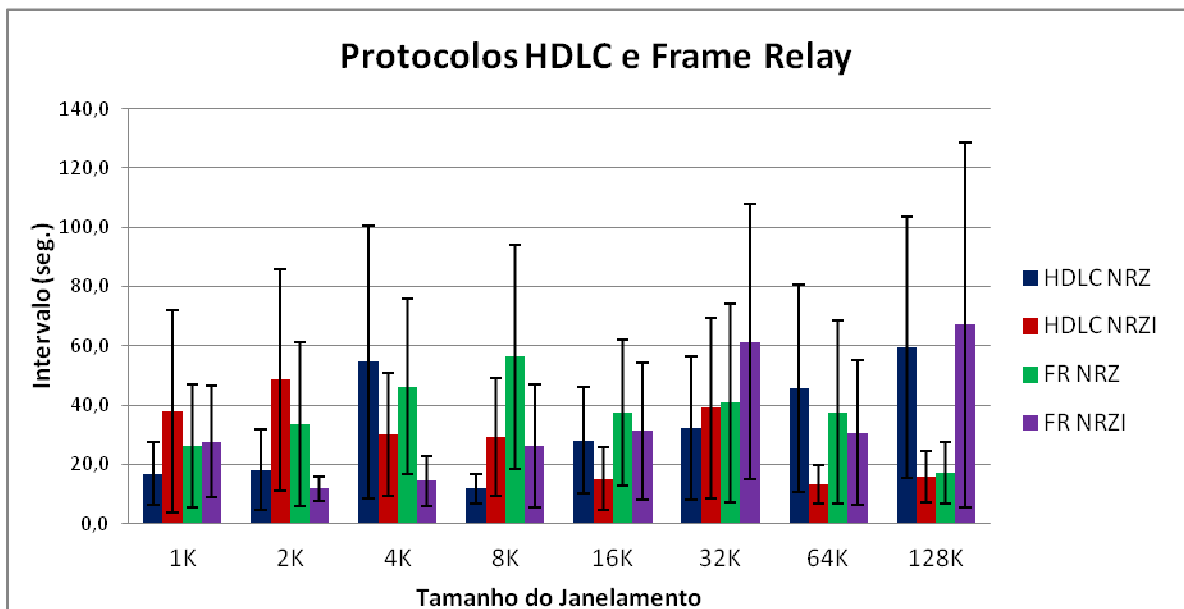
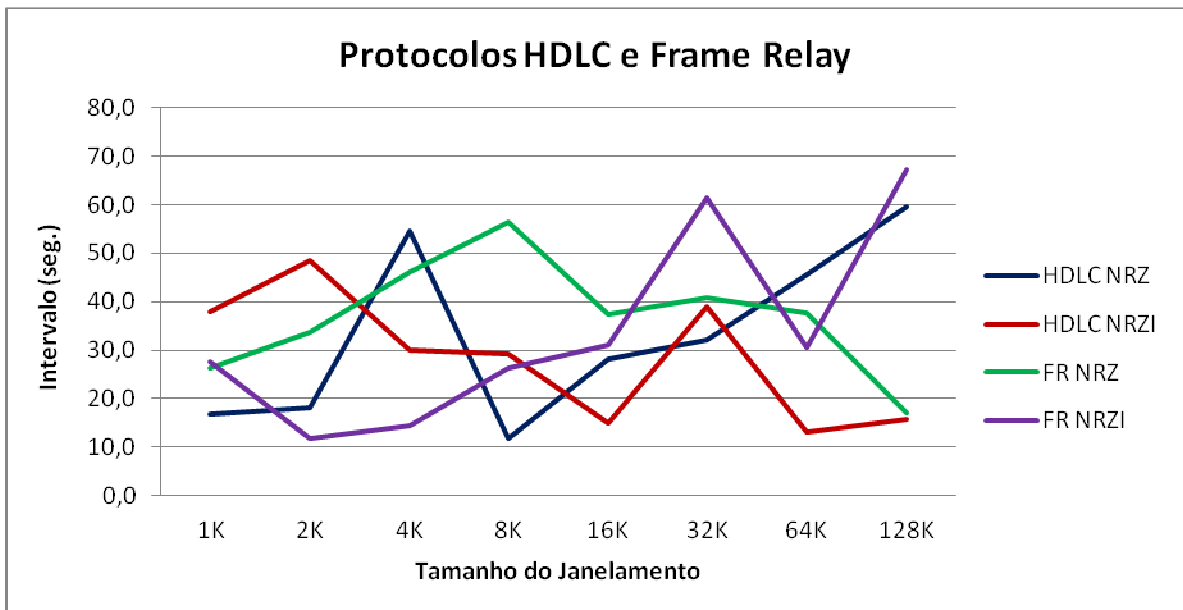


Figura 21 - Comparação entre HDLC e Frame Relay tendo como base a média e o desvio padrão do tempo de transmissão no cenário.



**Figura 22 - Comparação entre HDLC e Frame Relay tendo como base a dispersão linear da média do tempo de transmissão no cenário.**

O tempo de transmissão do HDLC NRZI é mais eficiente (menor tempo) a medida que o quadro vai sendo ampliado. O mesmo ocorre com o Frame Relay NRZ. Entre esses dois protocolos considerados mais eficientes, o HDLC NRZI obteve uma pequena vantagem. Isto pode ter ocorrido devido ao fato que no Frame Relay existe um Switch WAN, o que gera mais latência.

O que fica claro na Figura 22 é que, tanto no HDLC como no Frame Relay, o tipo de codificação física tem impacto maior quando o quadro também é maior.

Para complementar essa análise, a Figura 23 e 24 apresentam a vazão da rede, que é inversamente proporcional ao tempo de transmissão. Ou seja, quanto maior a vazão, menor o tempo para finalizar a transmissão dos dados. De certa forma isto válida a análise anterior.

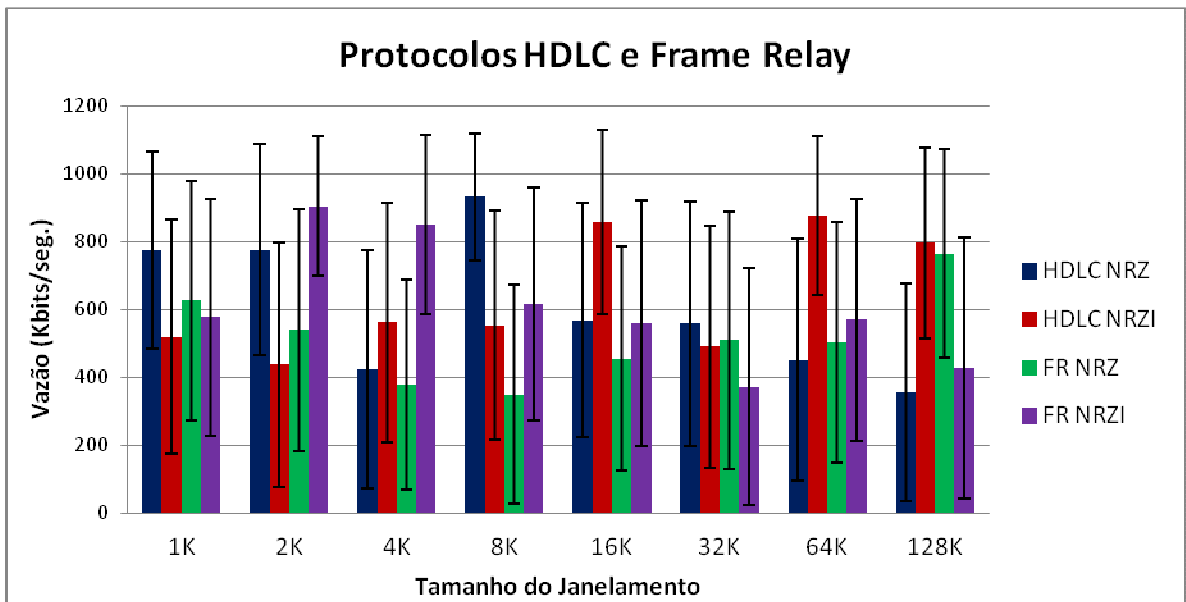


Figura 23 - Comparação entre HDLC e Frame Relay tendo como base a média e o desvio padrão da vazão da rede no cenário.

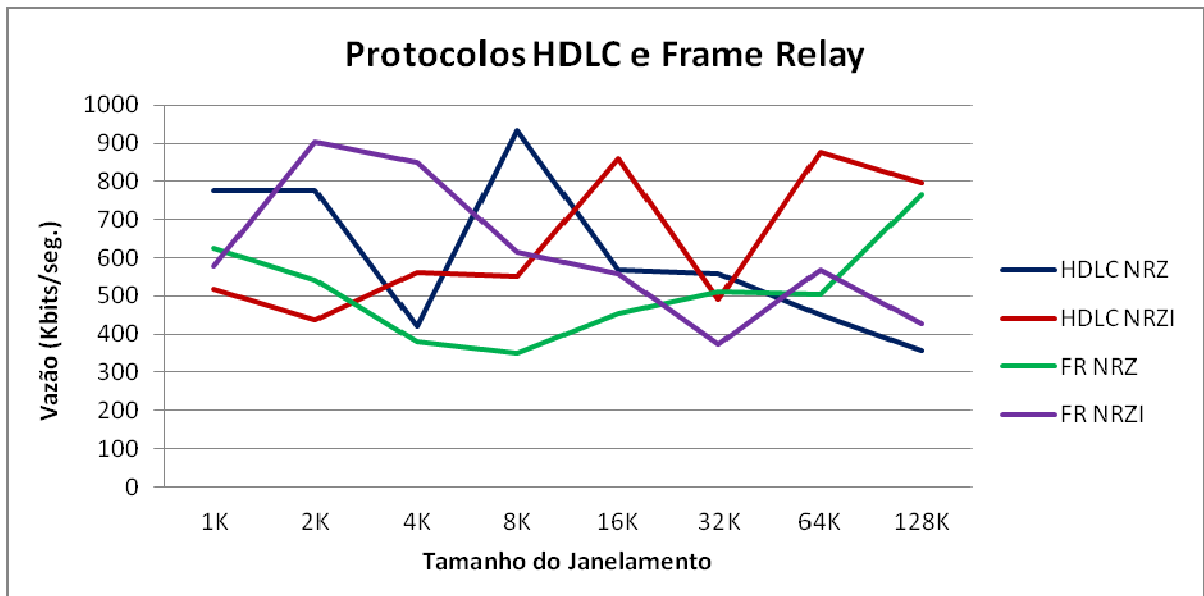


Figura 24 - Comparação entre HDLC e Frame Relay tendo como base a dispersão linear da média da vazão da rede no cenário.

Complementarmente, as Figuras 25 e 26 apresentam a comparação do *jitter*. Algumas aplicações de tempo real dependem do *jitter*, por isto, esta representação pode indicar o melhor protocolo.

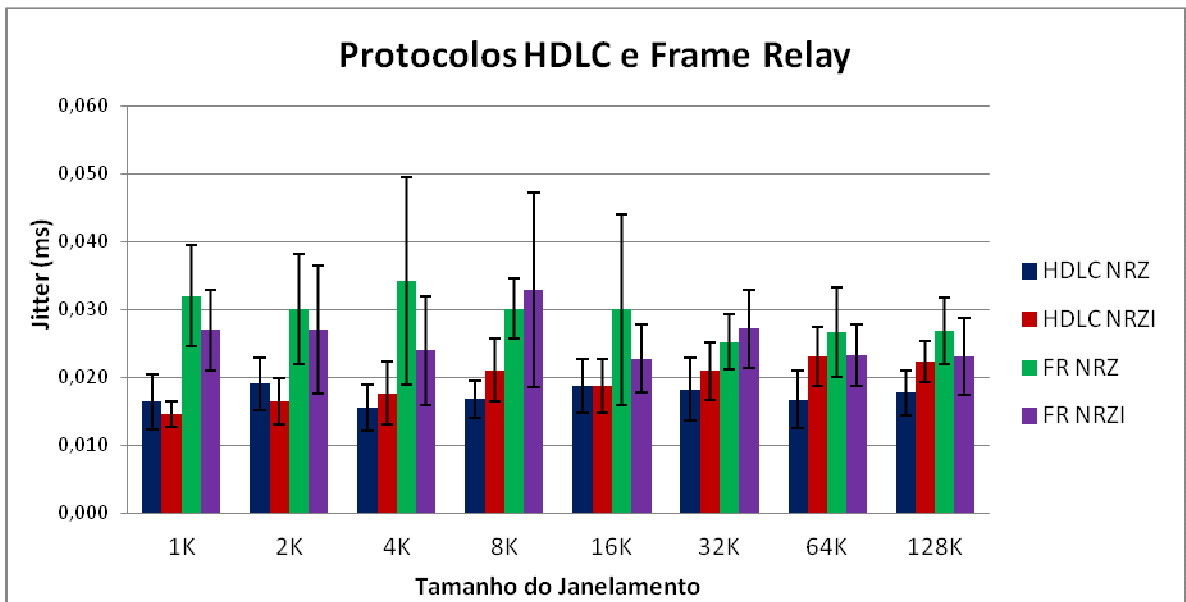


Figura 25 - Comparação entre HDLC e Frame Relay tendo como base a média e o desvio padrão do jitter no cenário.

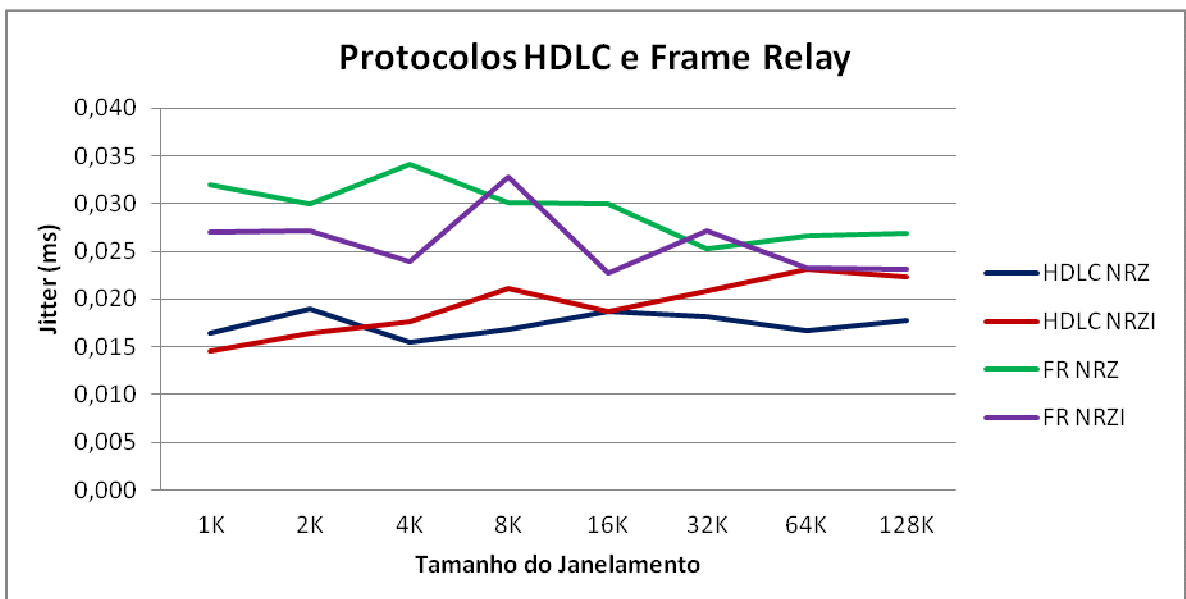


Figura 26 - Comparação entre HDLC e Frame Relay tendo como base a dispersão linear da média do jitter no cenário.

A explicação para o *jitter* ser menor no HDLC NRZ é que este protocolo não depende de Switch WAN no cenário do experimento, como dependeu o Frame Relay. O NRZ não utiliza a técnica de inserção de bits 4B/5B e a expectativa era de que fosse mais rápido que o NRZI. Isto se confirma observando a Figura 25. Por isso, em aplicações de tempo real onde o *jitter* é extremamente importante o HDLC NRZ se apresenta como protocolo ideal.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram comparados os protocolos WAN HDLC e Frame Relay. O HDLC obteve uma pequena vantagem. Um fator que deve ser considerado é que o Frame Relay depende de um cenário com Switch WAN, implantado no experimento, mas que pode ter influenciado na latência.

Mesmo que esses protocolos ainda sejam os mais utilizados, muitas inovações estão ocorrendo no contexto WAN, como é o caso do Ethernet Metropolitano, que pode ser um potencial trabalho futuro. Adicionalmente, o tamanho do arquivo utilizado no cenário do experimento pode ser ampliado ou reduzido, contemplando mais variáveis na comparação desses protocolos. Assim como o envio de arquivos corrompidos, procurando produzir erros e verificando o comportamento dos protocolos explorados.

Para a experimentação do HDLC e do Frame Relay, inicialmente foi experimentado o simulador GNS (*Graphical Network Simulator*), que é uma ferramenta de simulação distribuída gratuitamente. Por utilizar sistemas operacionais de equipamentos reais CISCO e computadores com Linux/Windows, o GNS3 é bastante útil para estes tipos de testes. Entretanto, o experimento com Frame Relay e Switch WAN não pode executado no GNS, mesmo em um computador com QuadCore 2.17GHZ e 4GB de RAM. Por conta disto, todos os cenários do HDLC e do Frame Relay foram executados no laboratório especializado da UTFPR.

Sobre os resultados dos testes nas condições apresentadas (rede real ideal e sem arquivos corrompidos), o HDLC se destaca frente ao Frame Relay. Já que obteve a menor média de *jitter* e o maior aproveitamento da largura de banda. Dentro do contexto do HDLC, o NRZI se apresenta como o protocolo de nível físico de melhor desempenho.

No contexto do Frame Relay, a medida que o janelamento vai crescendo, o NRZ consegue melhor desempenho. Ou seja, é o comportamento inverso do HDLC. Uma explicação para isto pode estar na forma como esses protocolos WAN tratam o bit excedente da técnica 4B/5B. Embora a técnica seja a mesma, o algoritmo do HDLC e do Frame Relay podem ser impactados de maneiras diferentes.

Dependendo da dimensão do janelamento, tanto o HDLC como o Frame Relay conseguem ser eficientes com a combinação correta do protocolo de nível físico. Para aplicações de tempo real onde o *jitter* deve ser mínimo, o HDLC NRZ com as aplicações clientes-servidoras utilizando janelamento de 4K se configura como a melhor combinação entre todos os protocolos.

## REFERÊNCIAS

- AFGHAHI, M. and Svensson, C. **Performance of Synchronous and Asynchronous Schemes for VLSI Systems**, In IEEE Transactions on Computers, 1992.
- ELAHI, A. **Networking Communications Technology**. 1. ed. New York, USA: Delmar Cengage Learning, 2001.
- FOROUZAN, Behrouz A.; FEGAN, Sophia Chung. **Protocolo TCP/IP**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.
- FRAME RELAY: Disponível em: <[http://docwiki.cisco.com/wiki/Frame\\_Relay](http://docwiki.cisco.com/wiki/Frame_Relay)>. Acesso em: 04 set. 2011.
- KOMISARCZUK, P. **IP Access Service Provision for Broadband Customers**, In The Institution of Electrical Engineers, London, 1999.
- KWONG, W., Perrier A. P. and Prucnal, P. R. **Performance Comparison of Asynchronous and Synchronous Code-Division Multiple-Access Techniques for Fiber-Optic Local Area Networks**, In IEEE Transactions on Communications. 1991.
- ODOM, Wendell. **Guia de certificação do exame: Cisco CCNA**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: Alta Books, 2003.
- SILVA, Dinailton José da, **Análise da Qualidade de Serviço em Redes Corporativas**. 2004. 91f. Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- STALLINGS, William. **Data and computer communications**. 7th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
- TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.
- TITTEL, E. **Schaum's Outline of Theory and Problem of Computer Networking**. 1. ed. Columbus, USA: McGraw-Hill, 2002.



## APÊNDICE A – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR HDLC NO LADO CLIENTE

```
version 12.2
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
hostname HdlcCliente
no aaa new-model
ip source-route
ip cef
no ipv6 cef
multilink bundle-name authenticated
interface FastEthernet1/0
ip address 10.0.0.1 255.0.0.0
speed auto
duplex auto
interface Serial2/0
ip address 192.168.0.5 255.255.255.252
serial restart-delay 0
clock rate 2015232
```

! O PADRÃO É NRZ.

! PARA HABILITAR O NRZI UTILIZA-SE O COMANDO **nrzi-encoding** NO ENLACE SERIAL

```
no ip http server
no ip http secure-server
ip route 172.16.0.0 255.255.0.0 Serial2/0
control-plane
line con 0
stopbits 1
line aux 0
line vty 0 4
end
```

## APÊNDICE B – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR HDLC NO LADO SERVIDOR

```
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
hostname HdlcServidor
no aaa new-model
ip source-route
ip cef
no ipv6 cef
multilink bundle-name authenticated
interface FastEthernet1/0
ip address 172.16.0.1 255.255.0.0
speed auto
duplex auto
interface Serial2/0
ip address 192.168.0.6 255.255.255.252
serial restart-delay 0
```

! O PADRÃO É NRZ.

! PARA HABILITAR O NRZI UTILIZA-SE O COMANDO **nrzi-encoding** NO ENLACE SERIAL

```
no ip http server
no ip http secure-server
ip route 10.0.0.0 255.0.0.0 Serial2/0
control-plane
line con 0
stopbits 1
line aux 0
stopbits 1
line vty 0 4
login
end
```

## APÊNDICE C – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR FRAME RELAY NO LADO CLIENTE

```
version 12.2
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
hostname FrameRelayCliente
no aaa new-model
ip source-route
ip cef
no ipv6 cef
multilink bundle-name authenticated
interface FastEthernet1/0
ip address 10.0.0.1 255.0.0.0
speed auto
duplex auto
interface Serial2/0
no ip address
encapsulation frame-relay
serial restart-delay 0
```

! O PADRÃO É NRZ.

! PARA HABILITAR O NRZI UTILIZA-SE O COMANDO **nrzi-encoding** NO ENLACE SERIAL

```
interface Serial2/0.100 point-to-point
ip address 192.168.0.5 255.255.255.252
frame-relay interface-dlci 100
no ip http server
no ip http secure-server
ip route 172.16.0.0 255.255.0.0 Serial2/0
control-plane
line con 0
stopbits 1
line aux 0
stopbits 1
line vty 0 4
login
end
```

## APÊNDICE D – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO ROTEADOR FRAME RELAY NO LADO SERVIDOR

```
version 12.2
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
hostname FrameRelayServidor
no aaa new-model
ip source-route
ip cef
no ipv6 cef
multilink bundle-name authenticated
interface FastEthernet1/0
ip address 172.16.0.1 255.255.0.0
speed auto
duplex auto
interface Serial2/0
no ip address
encapsulation frame-relay
serial restart-delay 0
```

! O PADRÃO É NRZ.

! PARA HABILITAR O NRZI UTILIZA-SE O COMANDO **nrzi-encoding** NO ENLACE SERIAL

```
interface Serial2/0.200 point-to-point
ip address 192.168.0.6 255.255.255.252
frame-relay interface-dlci 200
no ip http server
no ip http secure-server
ip route 10.0.0.0 255.0.0.0 Serial2/0
control-plane
line con 0
stopbits 1
line aux 0
stopbits 1
line vty 0 4
login
end
```

## APÊNDICE E – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO SWITCH FRAME RELAY

```
version 12.2
service timestamps debug uptime
service timestamps log uptime
no service password-encryption
hostname switch
memory-size iomem 15
ip subnet-zero
no ip domain-lookup
frame-relay switching
interface Serial0/0
no ip address
encapsulation frame-relay
shutdown
clockrate 2000000
frame-relay intf-type dce
frame-relay route 100 interface Serial0/1 200
```

! O PADRÃO É NRZ.

! PARA HABILITAR O NRZI UTILIZA-SE O COMANDO **nrzi-encoding** NO ENLACE SERIAL

```
interface Serial0/1
no ip address
encapsulation frame-relay
clockrate 2000000
frame-relay intf-type dce
frame-relay route 200 interface Serial0/0 100
```

! O PADRÃO É NRZ.

! PARA HABILITAR O NRZI UTILIZA-SE O COMANDO **nrzi-encoding** NO ENLACE SERIAL

```
ip classless
no ip http server
line con 0
exec-timeout 0 0
logging synchronous
line aux 0
line vty 0 4
end
```