

TESE

1100

FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

Certificação de Redes de Comunicação de Dados

GERSON HENRIQUE BARROS RODRIGUES

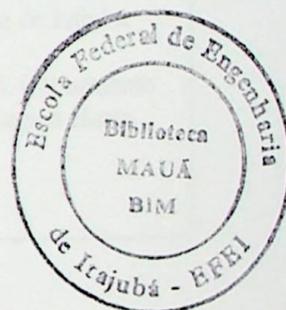
ITAJUBA' - MG

2001

Gerson Henrique Barros Rodrigues

Certificação de Redes de Comunicação de Dados

Dissertação apresentada à Escola
Federal de Engenharia de Itajubá
Para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Elétrica.



Área de Concentração :
Engenharia Elétrica

Orientadora :

Prof. Dra. Lúcia Regina Horta Rodrigues Franco

Itajubá

2001

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

004.7(043.2)
R696c

Rodrigues, Gerson Henrique Barros

Certificação de redes de comunicação de dados / por Gerson Henrique Barros Rodrigues; orientado por Lúcia Regina Horta Rodrigues Franco. -- Itajubá, MG : EFEI, 2001.

80 p. il.

Dissertação (mestrado) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá.

1. Redes de Computadores. 2. Certificação de redes. 3. Cabeamento estruturado. 4. Comunicação de dados. I. Franco, Lúcia Regina Horta Rodrigues, orient. II. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. IV. Título.

*Colar no verso
da 1ª pág*

Gerson Henrique Barros Rodrigues

Certificação de Redes de Comunicação de Dados

Dissertação apresentada à Escola
Federal de Engenharia de Itajubá
Para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Elétrica.

Itajubá

2001

RESUMO

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida e vontade de vivê-la com intensidade, a minha esposa Hercília, meus filhos Lucas e Larissa, fontes de toda minha motivação, incentivo e apoio incondicional nas longas e intermináveis horas dispensadas a este trabalho e objetivo.

À minha orientadora Prof. Dra. Lúcia pela sua enorme disposição e presteza em me auxiliar e orientar em cada detalhe.

À Fluke Corporation- USA, na pessoa de seu diretor Jim Davis que me supriu de farto material técnico, deste assunto tão raro de ser encontrado na literatura técnica e tão pouco divulgado no meio acadêmico.

À equipe de profissionais da Support Informática, e a todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de fornecer uma visão detalhada das características elétricas de um sistema de Cabeamento de Par Trançado não Blindado (UTP), utilizado em redes de comunicação de dados.

O trabalho apresenta quais os parâmetros de maior relevância e o impacto de cada um no desempenho do sistema, quais os procedimentos para a realização dos testes, e como avaliar com precisão os resultados obtidos.

E finalmente, como certificar se uma estrutura de cabeamento instalada atenderá ou não os níveis exigidos de desempenho atuais e futuros.

ABSTRACT

This dissertation was developed with the objective of providing a detailed view of the electrical characteristics of the Untwisted Pair Cabling System (UTP), currently used in data communication networks.

The dissertation presents what the most important parameters are, and their impact on the system performance.

What the procedures are to check the measurements, and how to evaluate with accuracy the results.

Finally, how to certificate if the cabling system installed will reach the performance requirements of present and future applications.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	6
O PROBLEMA.....	6
A DISSERTAÇÃO.....	6
A ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	7
PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	7
CAPÍTULO 2 – CONCEITOS BÁSICOS.....	9
EVOLUÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO PARA AS APLICAÇÕES ATUAIS E FUTURAS.....	9
O MODELO OSI / ISO.....	10
A CAMADA FÍSICA DO MODELO OSI	11
UNIDADES DE MEDIDAS.....	12
RELAÇÃO SINAL X RUÍDO.....	13
OPERAÇÕES COM DB	14
PADRÕES E CERTIFICAÇÃO	15
O DOCUMENTO TSB – 67.....	17
MODELOS DE ENLACES	17
DEFINIÇÕES QUANTO AS CONFIGURAÇÕES DO ENLACE	19
<i>Definição da Configuração Canal</i>	<i>19</i>
<i>Definição da configuração do Enlace (Link) Básico.....</i>	<i>19</i>
TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS	21
LARGURA DE BANDA	21
THROUGHPUT	21
CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISSÃO DO MEIO FÍSICO.....	23
TEOREMA DE NYQUIST	24
CAPÍTULO 3 – PROPRIEDADES ELÉTRICAS DO CABEAMENTO DE UMA REDE LOCAL (LAN).....	26
CONECTIVIDADE FIM A FIM	27
TESTE FÍSICO (<i>WIRE MAP</i>)	27
IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA.....	31
PERDA DE RETORNO	33
COMPRIMENTO DO CABO.....	38
ATRASO DE PROPAGAÇÃO E DESVIO (<i>DELAY SKEW</i>)	39
ATENUAÇÃO	42
<i>A Medição da Atenuação.....</i>	<i>44</i>
DIAFONIA (<i>CROSSTALK</i>)	44
<i>A Medição da Diafonia (Crosstalk).....</i>	<i>45</i>

MEDIÇÃO BIDIRECIONAL DO <i>NEXT</i>	50
PADRÕES PARA TESTES DE <i>NEXT</i>	52
REPORTAGEM DOS RESULTADOS DE TESTES DE <i>NEXT</i>	53
ACR - RELAÇÃO ATENUAÇÃO – DIAFONIA (<i>ATTENUATION TO CROSSTALK RATIO</i>)	55
EQUILÍBRIO DO SINAL.....	57
INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA (<i>EMI</i>)	58
CAPÍTULO 4 – A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA EM SISTEMAS DE CABEAMENTO UTP E AS EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO DAS REDES FUTURAS.....	61
A CATEGORIA 5E	61
EXIGÊNCIAS PARA A TRANSMISSÃO GIGABIT	66
FEXT (<i>FAR END CROSSTALK</i>)	67
ELFEXT (<i>EQUAL LEVEL FAR END CROSSTALK</i>).....	67
PS-NEXT (<i>POWERSUM NEXT</i>)	69
PS-ELFEXT (<i>POWERSUM EQUAL LEVEL FAR END CROSSTALK</i>).....	71
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....	73
ANEXO I.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

Índice das Figuras

Figura 1	O modelo OSI de referência [6].....	11
Figura 2	Camadas e funções do modelo OSI [6]	12
Figura 3	Relação Sinal X Ruído de um sistema.....	13
Figura 4	Configuração Canal [12].....	20
Figura 5	Configuração do Enlace (<i>Link</i>) Básico [12]	20
Figura 6	Conexões Físicas em UTP (wire map) [5].....	28
Figura 7	Conexão mostrando pares divididos (split pairs) [6].....	28
Figura 8	Padrão de Conectorização T568A e T568B [5].....	29
Figura 9	Exemplo de medição de Impedância [5].....	32
Figura 10	Gráfico de Perda de Retorno.....	34
Figura 11	Medição de Perda de Retorno [11]	35
Figura 12	Análise de TDR [11].....	35
Figura 13	Caso real de Perda de Retorno (com falha)	36
Figura 14	Caso real de Perda de Retorno (após a correção)	37
Figura 15	Medições de Comprimento, Atraso de Propagação e Desvio [11].	39
Figura 16	Delay Skew	40
Figura 17	Medição de Atraso de Propagação [5].....	41
Figura 18	Medição do Delay Skew [5]	41
Figura 19	Medição de Atenuação.....	43
Figura 20	Ilustração do NEXT	46
Figura 21	Processo de medição do NEXT [5].....	46
Figura 22	Medição do NEXT	48
Figura 23	Exemplo de falha na medição de NEXT [11].....	49
Figura 24	Análise de TDR apontando local da falha de NEXT [11].....	49
Figura 25	Medição Bidirecional de NEXT I [5]	51
Figura 26	Medição Bidirecional de NEXT II [5].....	51

Figura 27	Medições de Atenuação, NEXT e ACR [5].....	56
Figura 28	Gráfico da Relação Atenuação - NEXT	57
Figura 29	O Padrão 1000 Base-T4	64
Figura 30	O Padrão 1000 Base-TX	65
Figura 31	FEXT (Far End Crosstalk).....	67
Figura 32	Medição de ELFEXT	68
Figura 33	Pior caso do PS-NEXT	70
Figura 34	Gráfico do PS-NEXT	70
Figura 35	Gráfico do PS-ELFEXT.....	72

Índice das Tabelas

Tabela 1	Fatores de conversão dB / escala linear	15
Tabela 2	Categorias de Cabeamento definidas pela TIA-568-A	18
Tabela 3	Tecnologias e Largura de Banda	23
Tabela 4	Resultados de teste de Atenuação [5]	44
Tabela 5	Combinações necessárias à medições do NEXT	47
Tabela 6	Tamanho do Degrau de Medição do NEXT	52
Tabela 7	Resultados numéricos de NEXT [5]	54
Tabela 8	Comparação das exigências entre as normas antigas e atuais	62

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO



Neste capítulo serão apresentados, através de uma abordagem objetiva, uma síntese dos pontos relevantes deste trabalho, o enfoque da dissertação e suas principais contribuições.

O Problema

Hoje, o maior desafio da Tecnologia de Informação, é como um sistema de comunicação de dados pode suprir a necessidade cada vez maior de desempenho, velocidade e volume de informações, através de meios físicos populares e de baixo custo, com confiabilidade e máximo desempenho, e como testar e atestar esta capacidade.

O objetivo na transmissão de um sinal (informação) através de um sistema de comunicação é possibilitar que, na recepção o mesmo sinal seja interpretado com exatidão da forma exata como foi transmitido, na maior velocidade de transmissão possível.

O problema então reside no fato de como garantir que o meio físico, neste caso o UTP, será capaz de suportar o desempenho requerido pelas aplicações atuais e principalmente das futuras.

A dissertação

Ao longo deste trabalho serão estudadas as características elétricas do cabeamento de uma rede e seu impacto sobre o desempenho geral. Como mensurar tais características em uma rede já instalada, interpretar os resultados, obtidos através de estudos de casos reais e simulações em laboratório, diagnosticando assim as condições do cabeamento. Isto, tomando

por base limites estabelecidos de acordo com normas especificadas por órgãos de padronização internacionais [11]. É importante também salientar que os testes de desempenho estudados neste trabalho não “criam” ou “elevam” o desempenho de uma rede, apenas confirmam e atestam se a estrutura instalada está apta a garantir total funcionalidade e competência [5].

A Organização da dissertação

Este trabalho começa ressaltando as exigências de desempenho atuais e futuras, em função da evolução das aplicações dos usuários, e detalhando alguns conceitos básicos fundamentais ao assunto, ao longo do Capítulo 2.

O Capítulo 3 descreve em detalhes todas as características elétricas do meio físico em questão, e quais são os parâmetros mais críticos e relevantes dos testes de desempenho em sistemas de cabeamento de redes. Descreve também os procedimentos de testes para certificação estabelecidos por normas internacionais.

No Capítulo 4, são abordadas as tendências tecnológicas para os novos padrões, bem como os tópicos da norma que os estabelecem. Descreve também os novos parâmetros de avaliação de desempenho que deverão ser testados, a fim de atender as exigências de largura de banda das tecnologias emergentes (Gigabit) [10].

E finalmente, no Capítulo 5 conclui-se o trabalho, ressaltando os pontos relevantes, a importância do mesmo e suas contribuições.

Principais contribuições

Com a realização deste trabalho, foram pesquisados quais os fatores importantes que impactam o desempenho na transmissão de dados em redes

de comunicação de dados, utilizando-se o cabeamento UTP (cabo de par trançado não blindado), de acordo com os padrões estabelecidos pela norma TIA/EIA-568-A, e de seu Adendo 5 de fevereiro de 2000 [13].

No que tange à garantia de máximo desempenho, todo e qualquer sistema é projetado para este fim, e como será mostrado neste trabalho, tal fato poderá não apenas ser medido mas, também testado e certificado.

Mostra-se com este estudo que o projeto e a implementação de uma rede de comunicação de dados não é apenas conectar cabos aos equipamentos e pronto. É muito mais que isto. Inicia-se na escolha de componentes, cabos e conectores de especificação e qualidade comprovada, instalação correta dos cabos, qualidade da mão-de-obra instaladora, procedimentos rigorosos de instalação, e se finaliza com a execução dos testes e certificação do conjunto como um todo, atestando que o mesmo irá ou não atender os níveis requeridos de desempenho. Então, só após tais procedimentos, pode-se estar seguro e garantir que o meio físico suportará as aplicações para as quais foi projetado e certificado.

Questões como as que seguem, serão estudadas em detalhes ao longo deste trabalho, sendo portanto sua análise detalhada, além dos estudos de casos reais uma de suas principais contribuições. São elas:

Quais são as características elétricas fundamentais a serem consideradas em sistemas de cabeamento UTP ?

Quais são os parâmetros (fatores) que impõem limitações ao desempenho na transmissão de dados através de um sistema de cabeamento ?

Como mensurar tais parâmetros ?

Como analisar tais medições e concluir se são aceitáveis ?

Como testar e certificar que uma estrutura de cabeamento instalada suportará o nível de desempenho exigido ?

CAPÍTULO 2 – CONCEITOS BÁSICOS

Evolução das Exigências de Desempenho para as Aplicações atuais e futuras

Com a grande e contínua evolução dos sistemas de comunicação de dados, gerada por uma demanda cada dia maior de desempenho e volume de tráfego de informação, torna-se imprescindível e imperativo a garantia de que o meio físico tenha capacidade de suportar todo este volume de informação, com o desempenho e velocidade requeridos, com total confiabilidade e segurança. Para tanto, órgãos internacionais de padronização se uniram em grupos de força tarefa a fim de, estudar quais são os fatores limitantes de desempenho de cada meio físico disponível. E após anos de pesquisas e testes, estabeleceram quais os parâmetros que realmente impactam os resultados, como devem ser realizados os testes e quais limites tecnicamente aceitáveis garantem o máximo desempenho da transmissão do sinal em alta velocidade.

Foram então criados, rigorosos padrões e técnicas para testar e avaliar a real competência da estrutura da rede instalada, podendo então, certificar-se de que cumprirá todas as funções que lhe são exigidas. Comprovando-se através de laudos sobre as medidas realizadas referentes aos vários parâmetros críticos, para cada seguimento analisado [7].

Nos últimos anos também observou-se grande evolução tecnológica nas mais diversas áreas, e a grande maioria delas contribuiu para o aumento do tráfego nas redes. Entre elas destaca-se a evolução do poder de processamento dos microcomputadores, processamento de informações gráficas, evolução da multimídia, comércio eletrônico, voz sobre IP e a evolução da Internet, entre outras. Tamanha evolução fez com que os usuários necessitassem cada vez

mais transmitir e processar uma quantidade maior de informações. Assim como os microprocessadores evoluíram muito rapidamente, as redes também tiveram que evoluir [9].

A grande maioria das redes implementadas desde 1995 trabalhavam com taxas de transmissão à 10 Mbps no usuário (Cabeamento Horizontal) e à 100 Mbps no Backbone. Nos dias de hoje a tendência das redes implementadas é de utilização de taxas à 100 Mbps no usuário e 1 Gbps no Backbone, visto que hoje a grande maioria das placas de redes comercializadas no mercado são de 100 Mbps ou de 10/100 Mbps.

Esta tendência deve persistir por um período de mais 4 ou 5 anos, quando então o padrão deverá passar a utilizar taxas de transmissão à 1 Gbps para o usuário e 10 Gbps no Backbone.

Embora pareça exagerado hoje a disponibilização em 2004 ou 2005 de 1 Gbps para cada usuário, deve-se lembrar que esta é apenas a evolução natural das tecnologias, pois em 1995 também pensava-se que 100 Mbps seria uma velocidade extremamente alta para usuários, entretanto hoje sabe-se que não [9].

O Modelo OSI / ISO

Até a década de 80, não havia interoperabilidade entre diversas tecnologias de rede, devido à falta de padronização. Em função disso, a ISO (*International Standardization Organization*), criou em 1984 o modelo de referência OSI (*Open System Interconnection*), a fim de padronizar os procedimentos de interconexão de redes [2],[3].

Este modelo é básico para a compreensão dos conceitos de rede, podendo ser visto como um “esqueleto” do processo de conexão,

demonstrando como a informação trafega pela rede mesmo que o transmissor da informação e o receptor estejam em redes distintas.

O modelo OSI é dividido em uma arquitetura de 7 camadas, mostradas na Figura 1, onde cada uma das camadas possui uma função específica e bem definida [1],[3].

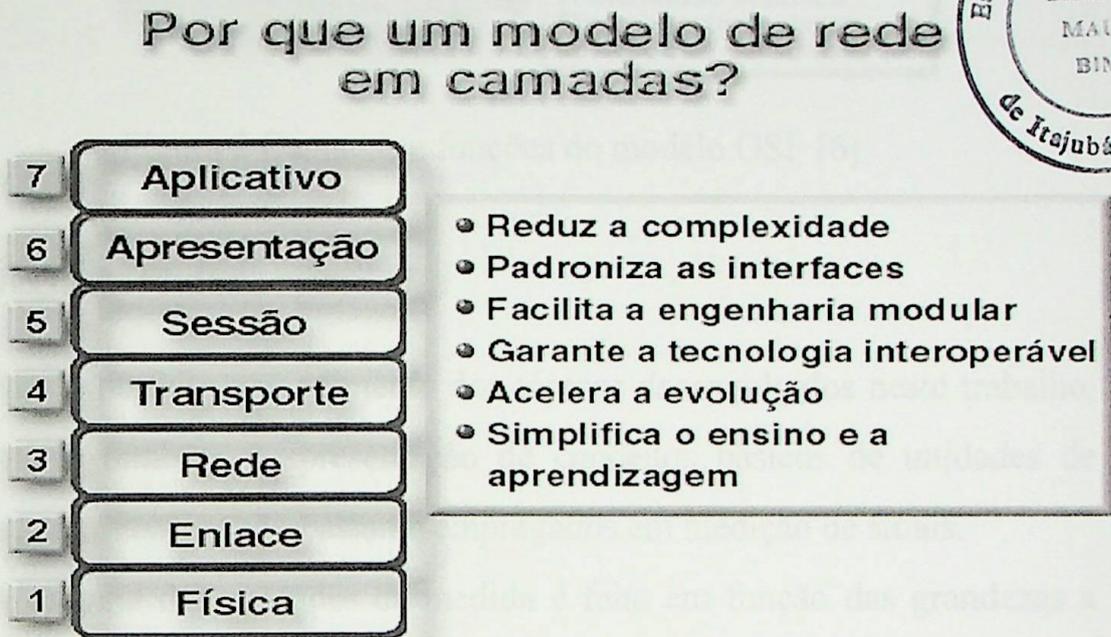


Figura 1 O modelo OSI de referência [6]

A Camada Física do Modelo OSI

A Camada física, ou Camada 1, é a que define as condições do meio físico de transporte das informações, isto é, define as características elétricas, mecânicas e funcionais para ativar, manter e desativar a conexão física entre os equipamentos de uma rede. Tal como o tipo do meio físico, cabos, conectores, tempo de transição dos pulsos, máxima distância para transmissão, níveis de tensão, em síntese, aborda sobre os SINAIS e MEIOS FÍSICOS [6].

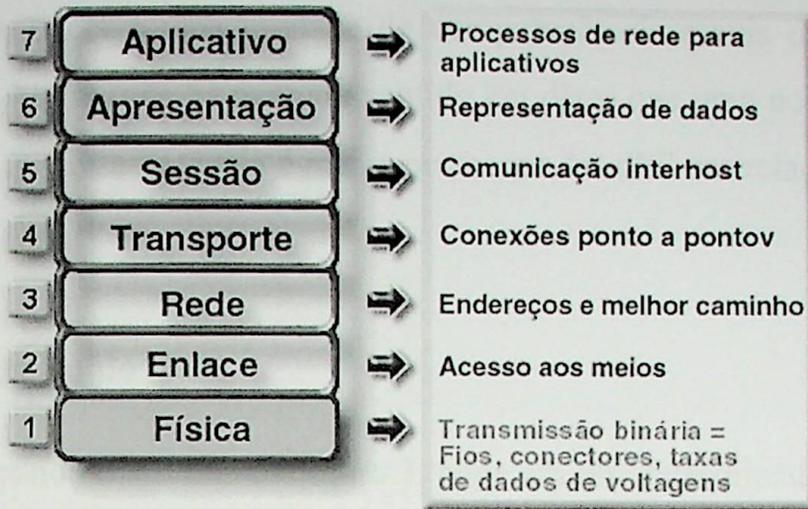


Figura 2 Camadas e funções do modelo OSI [6]

Unidades de Medidas

Para o perfeito entendimento dos tópicos desenvolvidos neste trabalho, é necessário também a apresentação de conceitos básicos de unidades de medidas, uma vez que são bastante empregados em medição de sinais.

A escolha das unidades de medida é feita em função das grandezas a serem avaliadas, de modo que os resultados correspondam a números fáceis de serem trabalhados e forneçam uma idéia rápida e precisa de sua magnitude [4]. No decorrer deste trabalho, trataremos de medições de sinais e relações Sinais x Ruídos, assim a unidade de medida empregada será o Decibel.

Decibel (dB) é uma unidade empregada para indicar uma relação entre potências de dois sinais, consistindo portanto, numa medida relativa.

Dados dois sinais com potências P_1 e P_2 em valores absolutos, e na mesma unidade (por exemplo, ambos em mW), a relação entre P_1 e P_2

expressa em dB, é dada por:

$$\left. \frac{P_1}{P_2} \right|_{dB} = 10 \cdot \log \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (1)$$

Portanto, o dB é uma unidade de comparação de níveis de potência entre 2 sinais. Assim, não há nenhum sentido em dizer que uma potência vale “x-dB”, e sim que esta potência é maior ou menor “x-dB” em relação a outra potência [4].

Relação Sinal x Ruído

Considerando o sistema da figura 3, onde em um determinado ponto de medida tenha obtido os seguintes valores:

$$P1 = S = 1\text{m W} \rightarrow \text{potência do sinal}$$

$$P2 = R = 1\text{p W} \rightarrow \text{potência do ruído}$$

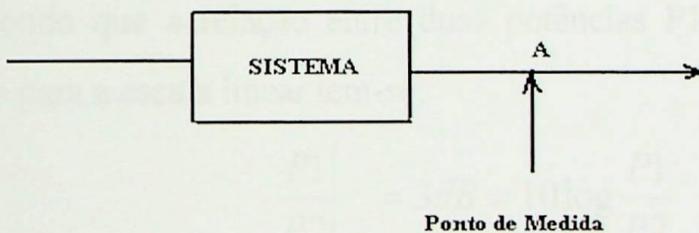


Figura 3 Relação Sinal X Ruído de um sistema

Deste modo, pode-se expressar a relação entre a potência do Sinal e a do Ruído em dB, normalmente designada como Relação Sinal/Ruído (RSR).

$$\text{RSR} = 10 \log \frac{P1}{P2} = 10 \log \frac{S}{R} = 10 \log \frac{1\text{m W}}{1\text{pW}} = 90 \text{ dB}$$

Dos conceitos de circuitos, a potência em um determinado ponto de um circuito é proporcional ao quadrado do valor da tensão, isto é:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Então, substituindo na fórmula (1), tem-se:

$$\left. \frac{P1}{P2} \right|_{dB} = 20 \cdot \log \left(\frac{V1}{V2} \right)$$

Logo, conclui-se que a relação entre potências de dois sinais em dB pode também ser obtida diretamente da relação entre tensões correspondentes, desde que as impedâncias sejam iguais nos pontos de medida de P1 e P2, e que V1 e V2 sejam expressas numa mesma unidade [4].

É também interessante relatar que, quando se tem um valor expresso em dB e se deseja retornar à escala linear, deve-se utilizar o antilogaritmo, como o exemplo abaixo:

Exemplo:

Supondo que a relação entre duas potências P1 e P2 seja de 3 dB, retornando para a escala linear tem-se:

$$\left. \frac{P1}{P2} \right|_{dB} = 3dB = 10 \log \frac{P1}{P2} \quad , \text{ logo:}$$

$$\frac{P1}{P2} = \text{Anti log} \frac{3}{10} = 10^{\frac{3}{10}} = 2$$

O que significa que, a potência P1 é o dobro da potência P2.

Operações com dB

As únicas operações possíveis entre os valores expressos em dB são a *soma* e a *subtração*, sendo o resultado também expresso em dB. Como o dB resulta de uma operação logarítmica, a operação de *soma* em dB corresponde à

multiplicação em escala linear, e a subtração em dB à divisão em escala linear.

Pode ser facilmente demonstrado que somando-se 3 dB equivale a multiplicar uma potência P por um fator de 2, enquanto que subtraindo-se 3 dB corresponde a dividir por um fator de 2, isto é, reduzir a potência à metade [4]. A Tabela 1 apresenta alguns valores típicos em dB e o equivalente em escala linear da soma ou subtração destas parcelas.

Escala Logarítmica	Escala Linear
Parcela a somar (ou subtrair)	Fator a multiplicar (ou dividir)
0 dB	1
1 dB	1,26
2 dB	1,60
3 dB	2,0
10 dB	10

Tabela 1 Fatores de conversão dB / escala linear

Padrões e Certificação

Organizações internacionais de padronização, como a TIA (Telecommunications Industry Association) nos E.U.A., têm desenvolvido padrões para avaliação de sistemas de cabeamento estruturado, com o objetivo de definir um sistema genérico de cabos que possa suportar várias aplicações de rede de comunicação de dados.

Estes padrões especificam as características dos parâmetros elétricos fundamentais, e também quais os fatores que determinam o desempenho da transmissão ao longo do meio físico, tal como largura de banda, atenuação do sinal, diafonia (*crosstalk*) e relação sinal / ruído, que serão abordados em detalhes posteriormente [6].

Estes padrões especificam também, além dos parâmetros a serem mensurados, quais os respectivos limites máximos de cada um deles, bem como os critérios e métodos de medição.

Nos E.U.A., a TIA/EIA formou um grupo tarefa para estudo do desempenho do enlace em redes de comunicação de dados, um subcomitê do TIA – TR 41.8, designado, Comitê de Padronização de Sistemas e de Distribuição de Edificações Comerciais e Residenciais, que desenvolveu um compêndio à Norma TIA-568-A, denominado TSB-67 (Boletim de Sistemas de Telecomunicações nº 67), intitulado “Especificações de Desempenho de Transmissão para Teste de Campo de Sistemas de Cabeamento de Par Trançado Sem Blindagem (UTP)”, detalhado a seguir [12].

Este boletim define e normatiza as especificações de desempenho de transmissão para sistemas de cabeamento estruturado de par trançado.

Paralelamente, outras organizações internacionais também desenvolveram e adotaram padrões que especificam o desempenho de transmissão de sistemas de cabeamento, e os métodos para serem utilizados para medir e verificar a obediência a estes padrões de desempenho. As normas desenvolvidas pela EIA/TIA tem sido universalmente aceitas e adotadas, portanto este trabalho também baseia-se nelas.

O Documento TSB – 67

O boletim TSB – 67 trata especificamente dos seguintes fatores:

Define os dois modelos ou configurações de enlace.

Os parâmetros de transmissão que devem ser medidos.

Os limites para os testes PASSA/FALHA, para cada configuração de enlace e para cada categoria de cabeamento.

Quais as exigências para os laudos dos resultados obtidos.

O desempenho exigido dos testadores de campo e como estas exigências devem ser medidas.

Os métodos para comparar os resultados dos testadores de campo com os padrões de laboratório, cujo resultado desta comparação é uma medição da precisão que pode ser obtida por tais equipamentos.

O TSB-67, complementa a norma TIA-568 A, no que tange às especificações para verificação do cabeamento UTP instalado, no tocante aos componentes passivos, isto é, cabos e conectores, que satisfazem as especificações de desempenho da norma TIA -568 A.

O TSB-67 somente se aplica a cabos UTP de 4 pares e 100 Ohms. Todavia estas exigências podem ser aplicadas a cabos STP (par trançado blindado), com a exceção de que o TSB-67, nada define acerca da eficiência ou integridade da blindagem [12].

Modelos de enlaces

A norma TIA-568-A define três categorias de desempenho para cabos UTP e seus dispositivos de conexão.

A categoria 5 define os componentes e cabos que suportam o nível mais elevado de desempenho numa faixa de frequência de 1 a 100 Mhz,

enquanto que, a categoria 4 é especificada para frequências de 1 até 20 Mhz e a categoria 3 de 1 a 16 Mhz [12], [13].

É importante ressaltar que, um sistema projetado para a categoria 5, deve ser *todo* ele construído com componentes homologados para esta categoria (ou outra *acima*), nunca devendo ser utilizados componentes de categoria inferior [5].

A Tabela 2 apresenta as três categorias definidas pela TIA-568-A, bem como, algumas aplicações típicas para cada uma delas:

Categoria	Frequência	Exemplos de Aplicações
3	Até 16 MHz	IEEE 802.3, 10BASE-T (10 Mbps Ethernet CSMA/CD) IEEE 802.3, 100BASE-T4 (100 Mbps Ethernet CSMA/CD) IEEE 802.5, 4 Mbps Token Ring IEEE 802.12, 100VG-AnyLAN, Demand Priority ATM-51.84, ou ATM-25.92, ou ATM –12.96
4	Até 20 MHz	IEEE 802.5, 16 Mbps Token Ring
5	Até 100 MHz	IEEE 802.3, 100-BASE-TX Ethernet, CSMA/CD ANSI X3T9 TP-PMD (CDDI) ATM – 155

Tabela 2 Categorias de Cabeamento definidas pela TIA-568-A

As categorias 3 e 4 não são mais utilizadas em novos projetos, apenas a categoria 5, a qual aos poucos deverá ser trocada pela categoria 5E (5 *Enhanced*) ou ainda pela novíssima categoria 6, recentemente especificada pela nova norma TSB-92. A categoria 6 suporta faixas de frequência ainda maiores, o que se traduz em taxas de transmissão de dados mais elevadas,

suportando assim a demanda, cada dia mais crescente no volume de dados e tráfego na rede [10].

Definições quanto as Configurações do Enlace

A norma TSB-67 define duas configurações de enlace, a saber:

Definição da Configuração Canal

A Figura 4 é a representação da configuração de um enlace fim-a-fim, incluindo os cordões de conexão (*patch cords*) das duas extremidades.

Definição da configuração do Enlace (*Link*) Básico

A configuração do enlace (*link*) básico, se destina à instaladores de cabos, os quais são os responsáveis por ordenar e fixar o cabeamento na obra.

Esta configuração compreende todo o trajeto entre os conectores (*Jack-fêmea*) fixados entre as duas extremidades do enlace, excluindo-se os cordões de conexão (*patch cords*) do usuário, que em tese não fazem parte da instalação.

Todavia, em caso de teste do link, por definição será incluso o cordão de conexão (*patch cord*) do testador a esta configuração, o que pode ser visto na Figura 5.

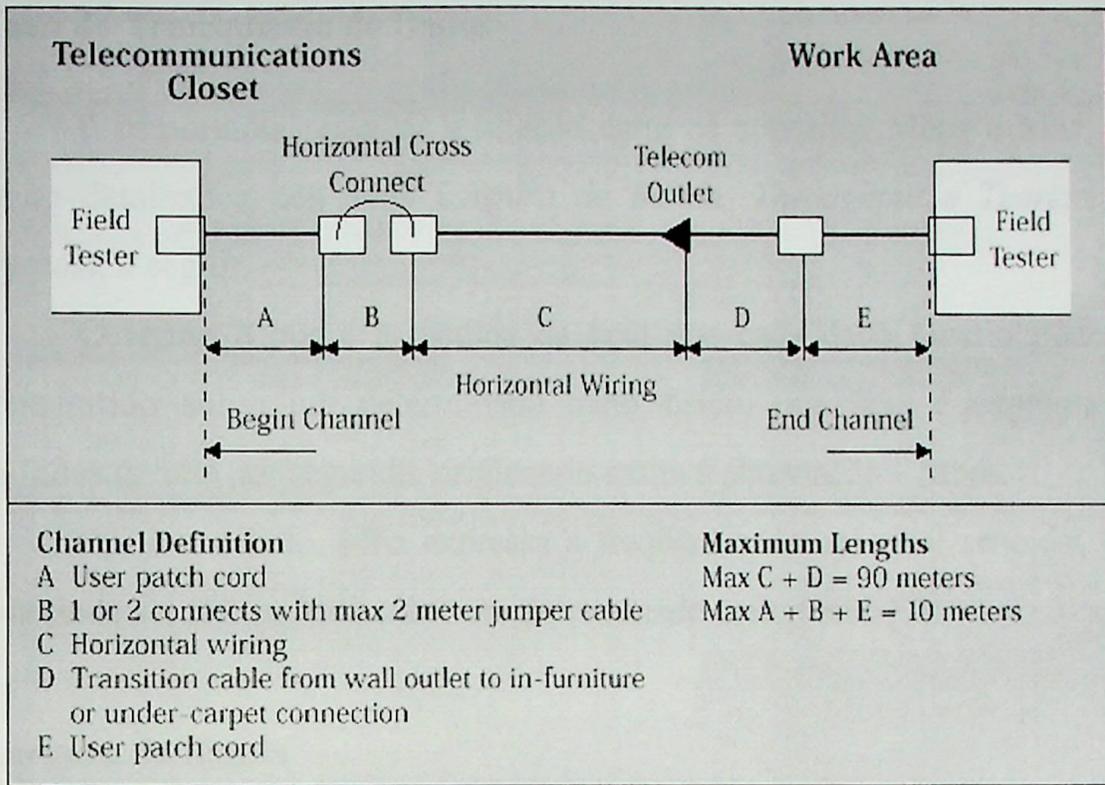


Figura 4 Configuração Canal [12]

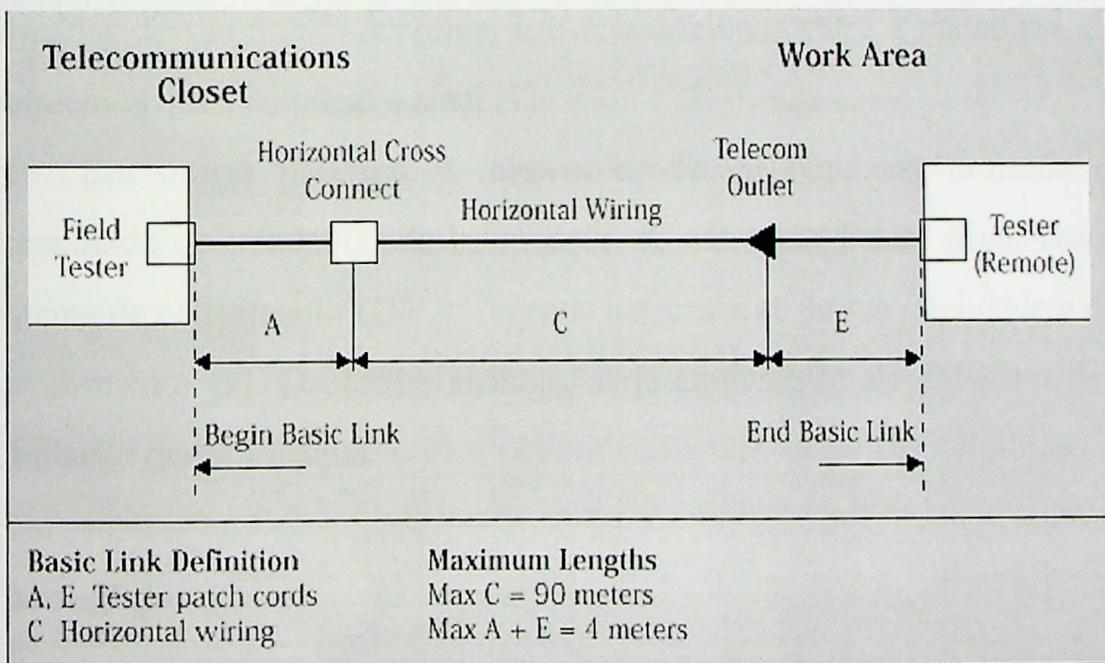


Figura 5 Configuração do Enlace (Link) Básico [12]

Taxa de Transmissão de Dados

É importante ressaltar a relação entre os conceitos Mbps e Mhz, que serão detalhados nos itens *Largura de Banda*, *Throughput* e *Teorema de Nyquist*, a seguir.

O termo Mbps é a medida da taxa que cada dado binário pode ser transmitido sobre um determinado meio físico, esta taxa é expressa em milhões de bits por segundo, originando assim a abreviação – Mbps.

Por outro lado, Mhz expressa a frequência de um sinal senoidal puro que pode ser transmitido sobre um determinado meio físico [7].

Largura de Banda

A *banda passante* de um sinal é composta pelo intervalo de frequências que compõem este sinal. Assim a *largura de banda* desse sinal é definida pelo tamanho de sua *banda passante*, isto é, a diferença entre a maior e a menor frequência que compõem o sinal [1].

Em outras palavras, a *largura de banda* pode ser definida como capacidade de transporte de informação de um meio físico, neste caso, um sistema de cabeamento UTP, e depende basicamente de sua qualidade e de seu comprimento [8]. De forma análoga, seria equivalente ao *diâmetro* de uma tubulação onde flui água.

Throughput

É a quantidade de dados transmitidos entre dois pontos em uma certa quantidade de tempo [8]. Também de forma análoga, seria equivalente à *vazão* de água em uma tubulação.

Deste modo, uma largura de banda de 100 Mhz indica que, um cabeamento em geral, pode transmitir sinais senoidais à uma frequência de 100 Mhz, com um nível de desempenho aceitável, e dependendo do tipo de codificação utilizada, maior será a taxa de transmissão de dados [7].

A codificação de sinal usada para Sistemas *Ethernet* 10Base-T e redes *Token Ring* de 16 Mbps, fornece uma relação de um para um (Código *Manchester*) entre Mbps e Mhz, isto significa que o cabeamento para 10 Base-T deve suportar uma largura de banda de 10Mhz, cujas especificações de desempenho na transmissão constam no padrão IEEE 802.3 i.

Esta relação *um para um* entre Mhz e Mbps não é uma exigência geral, neste caso, ocorreu-se devido à técnica de codificação *Manchester* usada neste padrão (10 BASE-T e *Token Ring*) [6] [1].

Essa relação acontece porque com o desenvolvimento da tecnologia em telecomunicações, aprimorou-se a técnica de compactação do bit, deixando para o passado o limite da relação 1:1 entre Hz e bits.

Esta relação apresenta 1 bit para cada ciclo de frequência (Hz).

Atualmente, utilizam-se as técnicas *dibit*, e *tribit*, entre outras, que possibilitam a transmissão de mais de um bit num mesmo ciclo de frequência, proporcionando o transporte de uma carga maior de bits [7].

Por outro lado, no caso da Tecnologia *Fast Ethernet*, 100 BASE-T, esta especifica outra técnica de codificação (ML-3 no qual se consegue em apenas 1 ciclo codificar até 3 bits de dados) que possibilita transmitir dados a uma taxa de 100 Mbps, a uma largura de banda máxima requerida de 80 Mhz (como especificada no padrão IEEE 802.3 u), embora quase toda a energia transmitida neste espectro esteja até os primeiros 33 Mhz.

A Tabela 3 mostra alguns exemplos de tecnologias utilizadas e a comparação entre suas respectivas velocidades de transmissão e largura de banda [7].

Tecnologia	Velocidade Transmissão	Banda do cabo utilizada	Número de pares usados
<i>Ethernet</i> (<i>10BaseT</i>)	10 Mbits / Seg.	10 Mhz	02
<i>Fast-Ethernet</i> (<i>100Base-TX</i>)	100 Mbits / Seg.	~34 Mhz	02
ATM/155	155 Mbits / Seg.	~52 Mhz	02
<i>Gigabit Ethernet</i> (<i>1000Base-T</i>)	1 Gbit / Seg.	~83 Mhz	04

Tabela 3 Tecnologias e Largura de Banda

Características de transmissão do meio físico

Não há meio de transmissão capaz de transmitir sinais sem que hajam perdas de energia (reduções na amplitude e potência do sinal) durante o processo. Se todas as componentes de frequência fossem reduzidas igualmente em amplitude, o sinal resultante seria também reduzido em sua amplitude, porém não distorcido.

Todavia as características dos meios físicos fazem com que as perdas ocorram em proporções diferentes nas diversas componentes de frequência que compõem o sinal, causando distorções no resultado final (sinal transmitido).

Assim, a proporção da perda para cada frequência do espectro é uma função característica do meio de transmissão, e este atua como um filtro sobre o sinal, causando distorções que dependerão de como este meio físico (suas características) atua sobre cada componente de frequência que compõem o sinal transmitido[1].

Quanto maiores forem as perdas nas componentes mais significativas do sinal original, mais crítico e intenso será o efeito da distorção sobre o sinal transmitido.

Teorema de Nyquist

Nyquist formulou uma equação que define a taxa máxima de transmissão para um canal de banda passante limitada e imune a ruídos. Provou também que um sinal pode ser totalmente reconstruído pelo receptor, através da amostragem do sinal transmitido a uma frequência de no mínimo duas vezes a sua largura de banda por segundo.

Nyquist demonstrou que esta é a frequência mínima de amostragem (2 vezes a largura de banda do sinal).

E que amostrar um sinal a uma frequência maior que esta se torna inútil, uma vez que as componentes de frequência que seriam recuperadas por esta “sobre-amostragem” não existem no sinal devido à filtragem do próprio meio físico de transmissão [1].

Através da fórmula abaixo (obtida por Nyquist), pode-se calcular a capacidade máxima de um canal, dada a sua banda passante, considerando-se ausência de ruído:

CAPÍTULO 3 – PROPRIEDADES ELÉTRICAS DO CABEAMENTO

$$C = 2 * W * \log_2 L(\text{bps})$$

Onde,

C – capacidade máxima do canal em **bps** (bits por segundo)

W – largura de banda em Hz

L – é o número de níveis utilizados no processo de codificação

CAPÍTULO 3 – PROPRIEDADES ELÉTRICAS DO CABEAMENTO DE UMA REDE LOCAL (LAN)

Neste capítulo será definido e mostrado a importância de cada um dos parâmetros elétricos que determinam as características de transmissão do cabeamento (UTP) de Redes *LAN*, são eles:

- Conectividade fim a fim
- Impedância Característica
- Perda de Retorno
- Atenuação
- Diafonia (*Crosstalk*)
- Relação Atenuação – Diafonia (*ACR*)
- Equilíbrio do Sinal
- Atraso de Propagação do Sinal
- Interferência Eletromagnética

Estes parâmetros são determinantes e de significativa importância para o máximo desempenho na transmissão dos dados através do cabo.

E se tornam críticos com o aumento da frequência do sinal, o que limita a largura de banda e conseqüentemente o desempenho do cabo na transmissão em maiores velocidades [5],[11].

Conectividade Fim a Fim

A primeira condição para que se obtenha uma transmissão com sucesso através de um enlace (*link*), é que este *link* deva ser devidamente conectado em cada uma de suas extremidades, provendo assim uma conectividade de ponta a ponta para cada par de fio do cabeamento.

É muito importante ser mantido uma boa conexão de um lado ao outro do *link*, o que possibilita os pares trançados a transmitirem sinais de alta frequência, com integridade, fidelidade e mais imunes a interferência eletromagnética.

Aliás, é o fato dos fios serem cuidadosamente trançados e com um “passo da trança” definido, e mantido ao longo de todo o comprimento do cabo, o que garante um efeito de *cancelamento*, reduzindo sensivelmente sua susceptibilidade à interferência eletromagnética [6].

Teste Físico (*wire map*)

Este teste permite verificar a situação do meio físico no momento em que foi instalado. É indicado a execução do teste físico logo após ter sido lançado o cabeamento pelos dutos de passagem e ter conectado suas extremidades.

Essa rotina deve ser seguida, pois, ao passar o cabeamento, as caixas de passagem ainda estarão abertas, possibilitando maior facilidade de troca do cabo, caso algum problema físico seja encontrado [7].

O teste físico possui este nome porque todos os testes executados são de nível físico. Por meio dele, consegue-se detectar e perceber falhas ou defeitos no cabeamento como:

- circuito aberto devido a um cabo rompido ou pares mal conectados
- curto-circuito
- pares cruzados e pares invertidos, como mostrados na Figura 6.

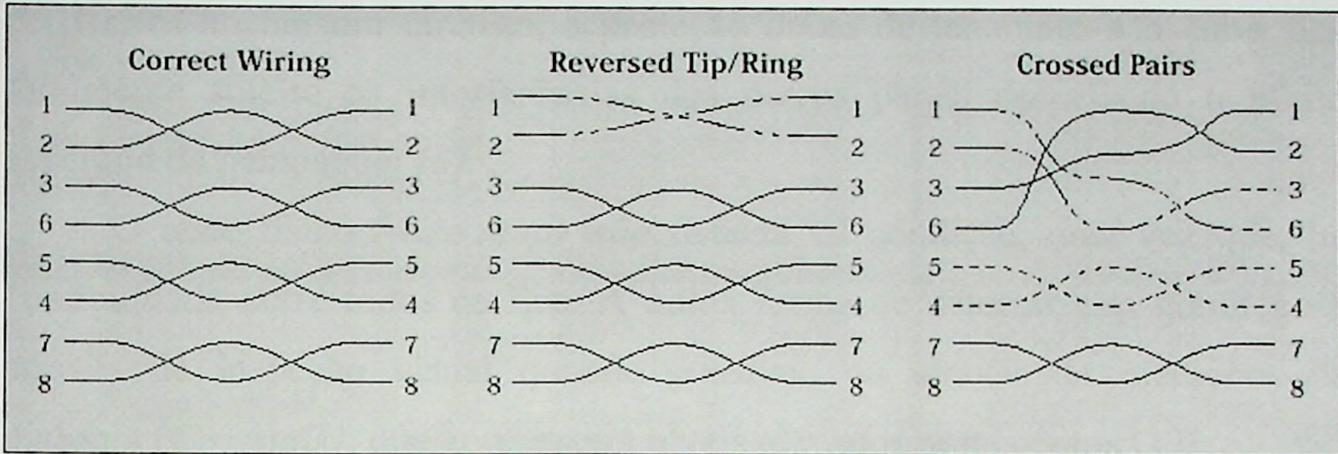


Figura 6 Conexões Físicas em UTP (wire map) [5]

Um caso de difícil detecção, e importante ressaltar é mostrado na Figura 7.



Figura 7 Conexão mostrando pares divididos (split pairs) [6]

Esta condição é conhecida como “*split pairs*” ou “pares divididos”.

A trançagem dos pares serve para minimizar os efeitos das interferências externas de outros sinais em pares próximos (*Crosstalk*). Todavia, este “efeito de proteção” só ocorre se os pares trançados fizerem parte do mesmo circuito. Assim, como no caso em questão os fios *não* pertencem ao mesmo circuito, a proteção deixa de ter efeito e o cabo fica totalmente sujeito as interferências dos outros pares, cancelando o efeito esperado da *trançagem* [6].

O teste físico (*wire map*) *não* detecta tal condição, uma vez que, há continuidade entre todos os fios. A única forma de detectar esta condição é através de inspeção visual quando possível, ou através de medições de diafonia (*Crosstalk*), que apresentará níveis elevados nestes casos [13].

O teste físico é usado então para garantir que cada fio em um par esteja devidamente conectado entre as extremidades do *link* e sem interrupção ao longo do mesmo [7].

A norma *TIA-568-A* define apenas duas configurações para conexão, o padrão mais largamente utilizado é o *T568-A*, e uma outra opção, não muito utilizada o *T568-B*, ambos mostrados nas Figura 8.

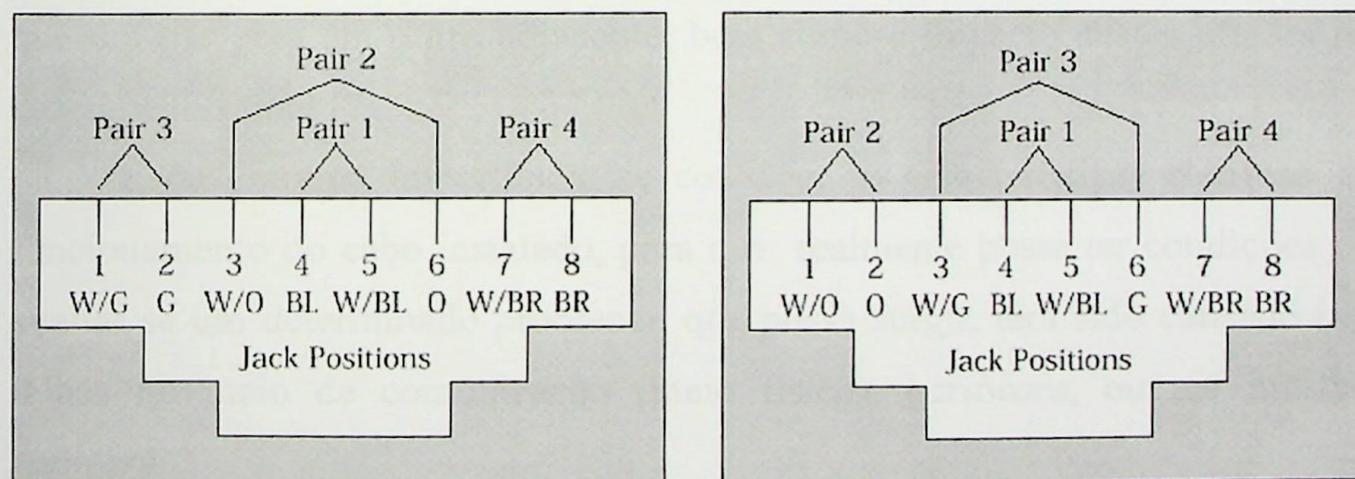


Figura 8 Padrão de Conectorização T568A e T568B [5]

Onde as cores dos fios são:

W/G – verde – branco

G - verde

W/O - laranja – branco

O - laranja

W/BL – azul – branco

BL - azul

W/BR – marrom – branco

BR - marrom

É importante ressaltar que, uma vez escolhido um destes padrões, deve-se usá-lo consistentemente, a fim de evitar falhas como as já relatadas anteriormente [6].

Torna-se claro, o motivo pelo qual esse tipo de teste se apresenta insuficiente para certificar o desempenho de uma rede. Pois, avaliando apenas esses resultados de nível físico, não é possível saber se uma rede trafega dentro do limite de frequência da categoria.

O quanto o sinal está sendo atenuado, ou qual o nível de interferência que um par gera em outro adjacente, bem como o impacto destes efeitos no desempenho final [7].

É de extrema importância se conhecer as características elétricas de funcionamento do cabo instalado, para que realmente possa ter condições de avaliar se um determinado problema, que possa surgir, terá sido causado por falhas no meio de comunicação (meio físico), *hardware*, ou até mesmo *software*.

Impedância Característica

Impedância é a medida da resistência que opõe-se ao fluxo de uma corrente alternada (*AC*) ao longo de um condutor. Como os dados que trafegam através de uma rede é um tipo de corrente *AC*, e de alta frequência, é um parâmetro importante de ser analisado e entendido, pois desempenha um papel crítico neste processo [11].

A impedância característica de um cabo é complexa, e resulta dos efeitos combinados dos valores da indutância, capacitância e resistência do cabo, que por sua vez dependem de fatores como o diâmetro dos fios, a distância entre eles, seu comprimento e propriedades do material isolante dos fios [5].

Durante a transmissão de sinais em uma rede, para que se obtenha máximo desempenho do cabeamento, a impedância deve ser mantida constante ao longo de todo o *link*, e em toda faixa de frequência que compõe o sinal. Mudanças abruptas na impedância característica causa fenômenos de reflexão do sinal.

Deste modo quando um sinal trafega por um *link*, ao encontrar repentina mudança em sua impedância característica, parte do sinal é refletido neste ponto, na direção oposta à propagação do sinal original. Tal fato, além de ocasionar perda de energia do sinal, esta reflexão se sobrepõe ao sinal original corrompendo-o, e causando falhas quando os circuitos receptores tentarem decodificá-lo [6].

Uma analogia que ajuda explicar este fenômeno, é se por exemplo, ao se esticar uma corda e injetar um impulso em uma de suas extremidades, irá gerar uma onda, que irá se propagar ao longo da corda, até que ao encontrar um obstáculo, parte deste impulso retorna à origem.



Deste modo, uma falha na recepção ou na decodificação de um sinal recebido, resulta em uma falha de comunicação na rede, degradando sensivelmente seu desempenho, podendo até chegar a inoperância. Os equipamentos de teste de campo emitem resultados como mostrados na Figura 9.

IMPEDANCE			
Pair	Impedance (Ω)	Limit (Ω)	Result
1,2	108	80-120	PASS
3,6	108	80-120	PASS
4,5	108	80-120	PASS
7,8	111	80-120	PASS

Figura 9 Exemplo de medição de Impedância [5]

Embora a TSB-67 não exija tal verificação, e o tipo de resultado mostrado acima não tenha tanta relevância, qualquer falha neste parâmetro irá afetar as medições de Perda de Retorno que será discutida no próximo tópico [12].

O fato de parte do sinal ser refletido no local onde ocorre uma mudança súbita de impedância (descontinuidade, anomalia ou falta de uniformidade da impedância característica), nos permite através da técnica de *Reflectometria no Domínio do Tempo*, determinar o local exato da falha [11].

Redes de alta velocidade são mais sensíveis às mudanças de impedância característica, por isso alguns cuidados devem ser tomados para se evitar e/ou minimizar tal efeito, como por exemplo, não usar cabos de diferentes características, não tracionar o cabo quando de sua instalação, utilizar sempre

conectores do mesmo fabricante do cabo. Pois são exatamente nas conexões os casos mais críticos de variação da impedância característica.

A norma *TIA 568-A*, em seu parágrafo 10.6.3.1, determina que o máximo destrançamento permitido para que se realize uma conexão é de 13 mm [13].

Outro fato importante é que no momento da instalação dos cabos, um tracionamento excessivo poderá alterar o “passo da trança” no interior do cabo, podendo assim causar variações na uniformidade da impedância característica ao longo do cabo, comprometendo o desempenho da rede [5].

Perda de Retorno

O impacto das variações da impedância característica ao longo do cabo, pode ser precisamente medida e representada pelo efeito denominado Perda de Retorno (*Return Loss*), que pode ser definida como a medida das reflexões causadas pelas variações de impedância em todos os pontos ao longo do *link*, sendo expressa em dB [11].

O valor da impedância no final do *link* deve ser igual a impedância característica do *link*, este “casamento” provê uma boa transferência de potência através do *link* e minimiza reflexões [5].

Durante o processo de fabricação do cabo pelo fabricante, é importante medir e controlar durante todo o processo o que chamamos de Perda de Retorno Estrutural, que está diretamente relacionado à qualidade do material utilizado e ao processo de fabricação do cabo.

Outras fontes de reflexões são principalmente os conectores e conexões. Também são mais susceptíveis às variações de impedância característica os cabos com comprimentos excessivos.

O maior impacto da perda de retorno nos sinais, não é apenas a perda na potência do sinal, mas também a inserção de “*JITTER*” (interferências) ao sinal original, corrompendo-o.

A Figura 10 apresenta um exemplo gráfico de uma medição de Perda de Retorno, simulada em laboratório, através de uma conexão intencionalmente “destrançada” um pouco acima do limite especificado pela norma em questão [13].

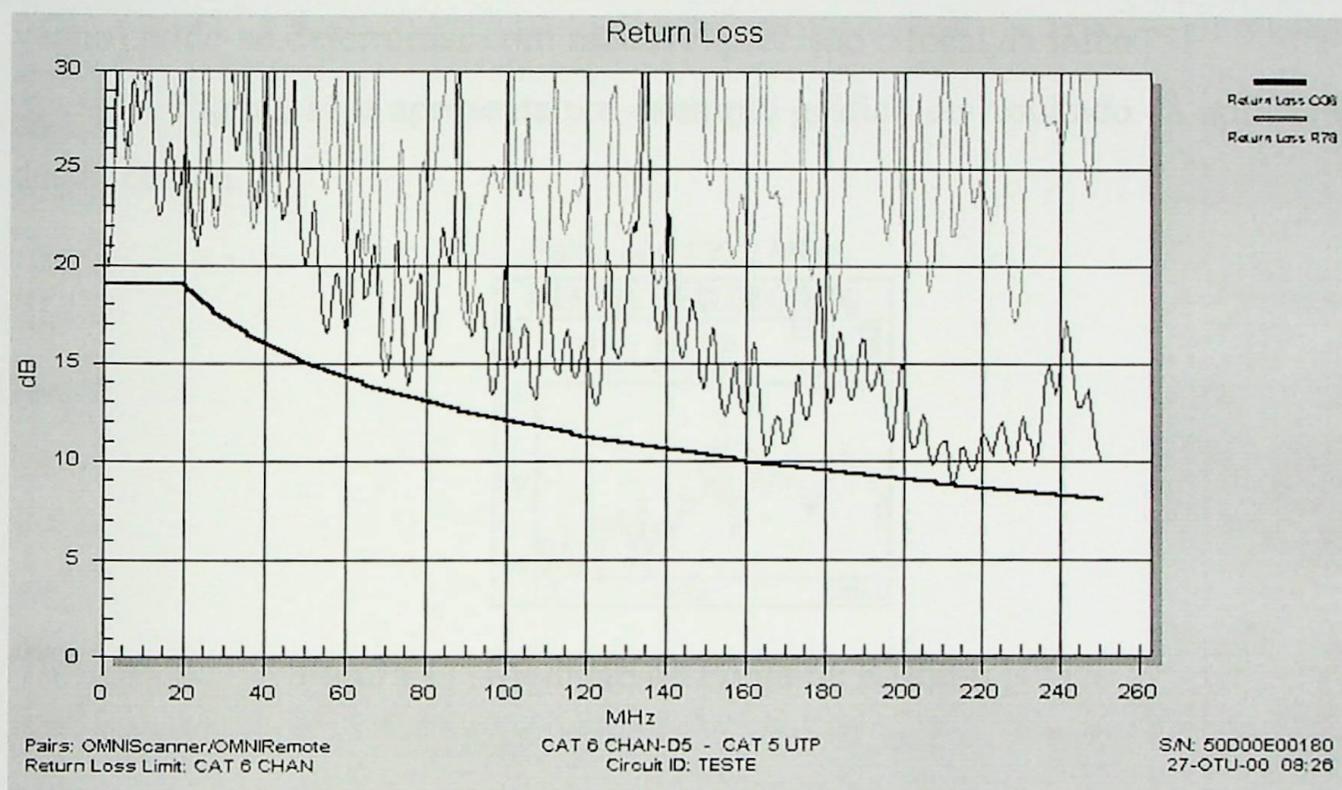


Figura 10 Gráfico de Perda de Retorno

No gráfico acima pode-se ver que em 210 Mhz, uma das medições atinge o limite estabelecido por norma, sendo portanto reprovado, enquanto a outra medição permanece acima do limite em toda a gama de frequência testada.

Como mencionado anteriormente, através da Técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) pode-se determinar o local exato da falha, isto é, o local onde ocorre a descontinuidade da impedância característica, causando valores elevados de Perda de Retorno.

Esta técnica se baseia no envio de um sinal através de um par, e então medir o tempo e a intensidade do sinal refletido. Como a velocidade de propagação do sinal é constante e de valor conhecido (fornecido pelo fabricante do cabo, podendo variar entre 0,61 a 0,75 da velocidade da luz no vácuo) pode-se determinar com razoável precisão o local da falha [5].

A Figura 11 e apresenta um exemplo gráfico do resultado da aplicação desta técnica.



Figura 11 Medição de Perda de Retorno [11]

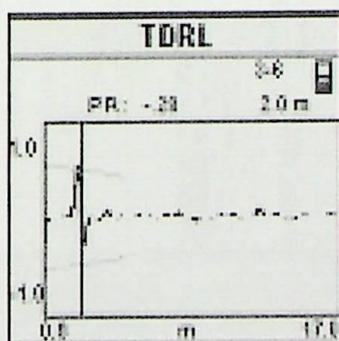


Figura 12 Análise de TDR [11]

Pode-se perceber na Figura 11, que o pior caso de Perda de Retorno ocorreu em 135.2 Mhz, e sua respectiva análise de TDR, mostrada na Figura 12, aponta que a falha ocorreu a 2 metros do início do *link* (indicado pelo cursor) [11].

Este caso real mostra uma falha de perda de retorno em um *link* sob teste, em qual frequência do espectro a falha ocorreu, e também sua localização ao longo do link.

Desta forma, ao analisar o local apontado da falha, pode-se determinar o motivo que a causou.

Na Figura 13 tem-se outro caso real de falha na medição de perda de retorno, ocorrido em uma empresa do ramo Médico/Hospitalar, onde no ANEXO I é mostrado o relatório dos testes executados neste *link* defeituoso.

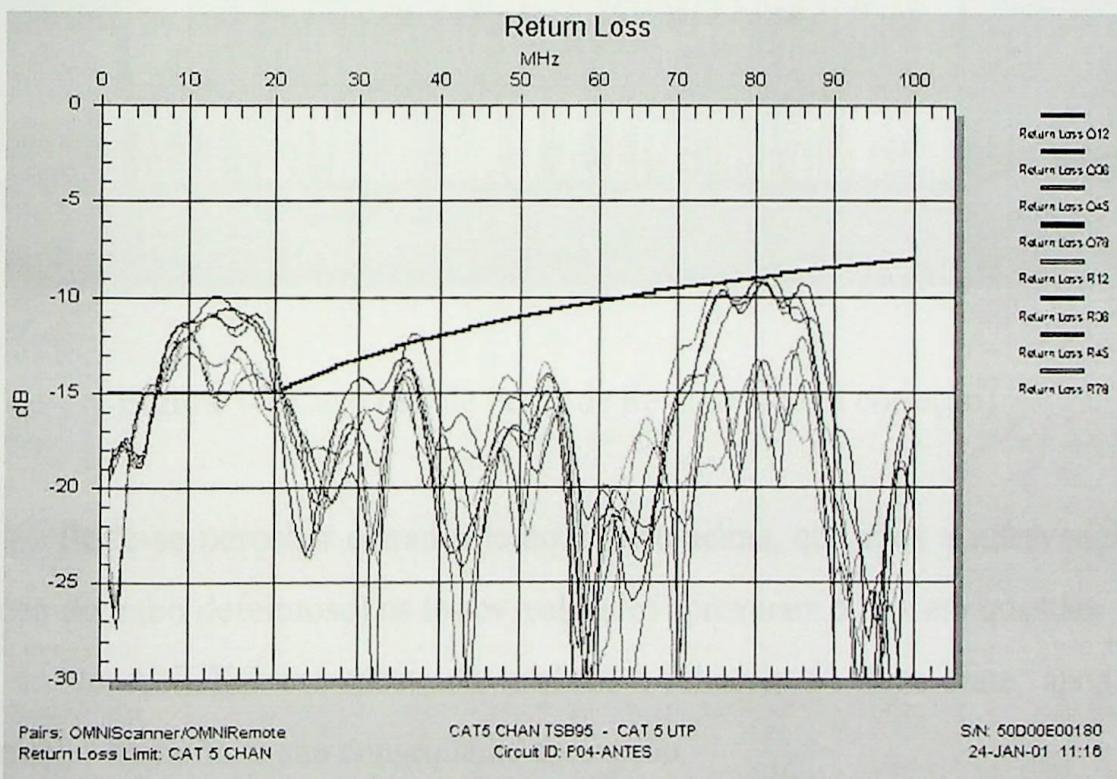


Figura 13 Caso real de Perda de Retorno (com falha)

Pode-se perceber neste gráfico que o pior caso ocorreu no início do espectro, onde se concentra a maior parte da energia do sinal, o que a torna uma falha crítica. Neste caso real, não era possível nem mesmo estabelecer conexão entre os equipamentos, foi então diagnosticada a falha (no cabo), e após substituído o cabo, obteve-se o resultado mostrado na Figura 14.

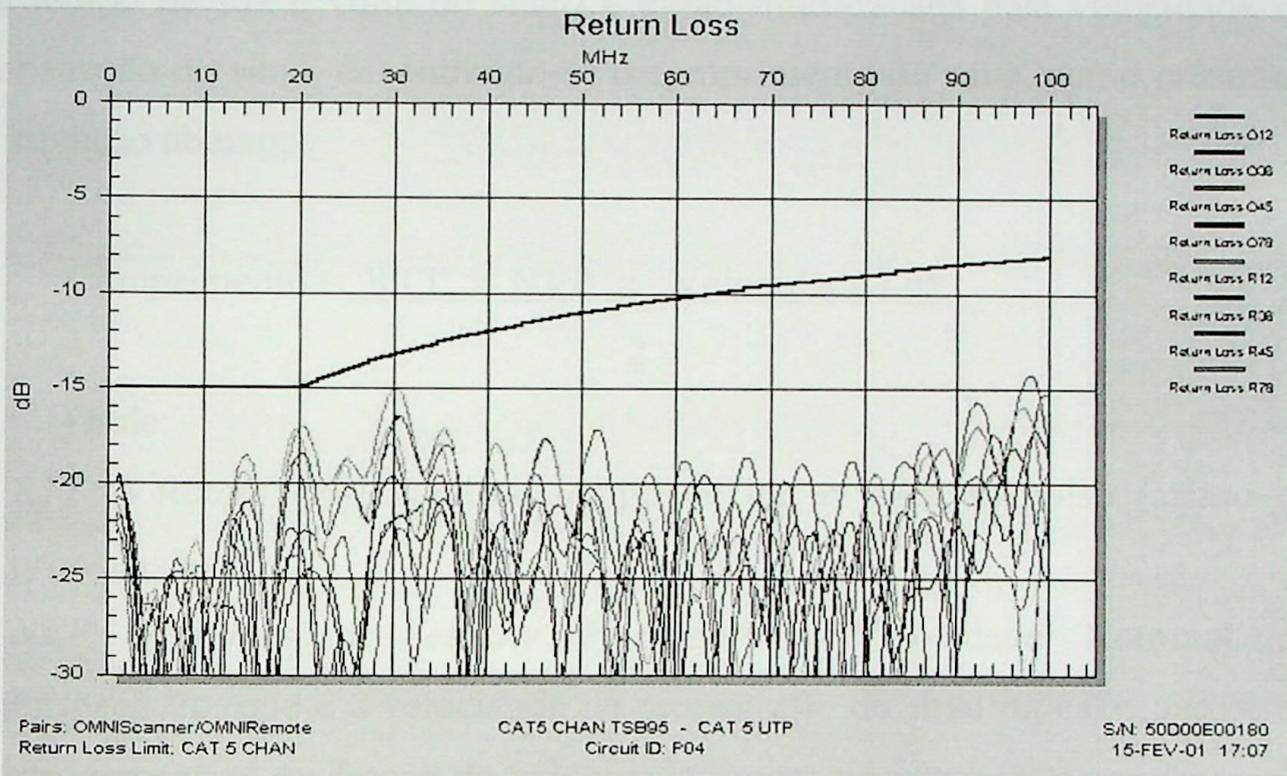


Figura 14 Caso real de Perda de Retorno (após a correção)

Pode-se perceber claramente no gráfico acima, que após a intervenção (troca do cabo defeituoso) os testes realizados aprovaram o link em questão.

No ANEXO I é mostrado também o relatório do novo teste, após a correção da falha, e sua conseqüente aprovação.

Comprimento do Cabo

É o comprimento físico do cabo em um *link*. Seu valor também é medido através da técnica TDR, onde o pulso enviado pelo testador se propaga pelo *link*, reflete na extremidade remota e retorna ao início.

Esta medida chamada “*Round Trip Time*” é dividida por dois (pois é um tempo de ida e volta do sinal) e então multiplicada pela velocidade de propagação do sinal, encontrando-se o comprimento do cabo, como mostrado na equação abaixo:

$$\text{Comprimento} = \frac{\text{RTT} \times \text{NVP} \times \text{Velocidade Luz}}{2}$$

Onde:

- *RTT* = *Round Trip Time* ou tempo de ida e volta do pulso (atraso na propagação)
- *NVP* = (*Nominal Velocity Propagation*) Velocidade Nominal de Propagação, que é a velocidade de propagação do sinal no cabo, expresso em percentual ou fração da velocidade da luz no vácuo, e normalmente é fornecido pelo fabricante do cabo.
- Velocidade da luz no vácuo = 300.000.000 m/s

A Figura 15 apresenta um exemplo de medição de comprimento do cabo, atraso de propagação e desvio [11].

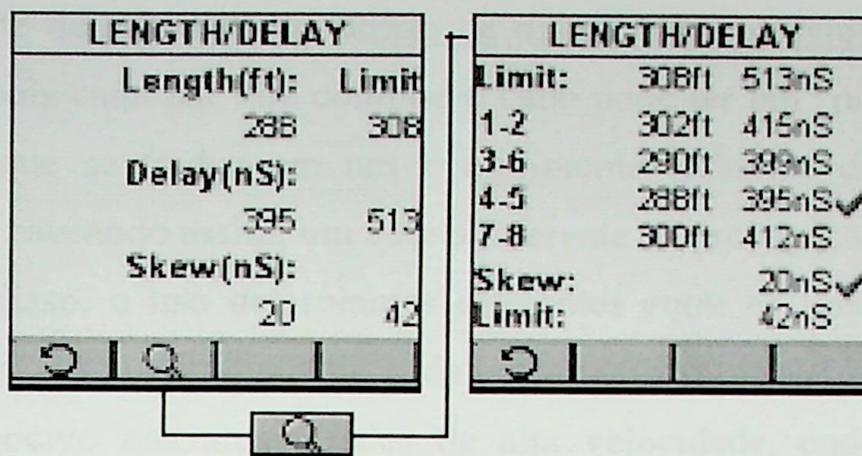


Figura 15 Medições de Comprimento, Atraso de Propagação e Desvio [11]

As normas especificam que o comprimento máximo entre as extremidades do *link* deve ser de 100m ou 308 pés [12].

Atraso de Propagação e Desvio (*Delay Skew*)

O atraso de propagação é o tempo necessário para que o sinal elétrico se propague de uma extremidade a outra do *link*, cujo valor é a metade do *RTT* (*Round Trip Time*) obtido durante a medição do comprimento do cabo, como explicado anteriormente.

O pior caso de atraso de propagação, em redes *Ethernet* é chamado de *COLISÃO ATRASADA*. Este fenômeno ocorre quando o atraso de propagação é elevado, e na ocorrência de uma colisão, em que os primeiros 64 bytes do *frame* já foram transmitidos.

Como normalmente as interfaces de rede não estão preparadas para tratar este caso, o frame será corrompido, sem que seja notada a ocorrência de colisão, afetando significativamente o desempenho da rede [6].

Mas, uma característica que se torna mais crítica em redes de alta velocidade é a diferença entre os atrasos de propagação para cada par de fios,

parâmetro este denominado de atraso de distorção ou desvio (*Delay Skew*). Isto ocorre, pois cada par que compõe o cabo pode ter um “passo de trança” diferente, o que se traduz em um comprimento diferente de cada par do mesmo cabo, causando assim, um atraso diferente de propagação em cada par.

Além disso, o uso de isolantes diferentes entre os fios pode também alterar suas *NVP's* individuais de cada par e também causar o efeito, que se torna mais nocivo nas atuais redes de alta velocidade, onde se transmite concomitantemente dados pelos quatro pares.

E além do mais, para que a informação seja recuperada corretamente deve haver um perfeito sincronismo na recepção (mínimo atraso de distorção ou *delay skew*). A Figura 16 ilustra bem o caso.

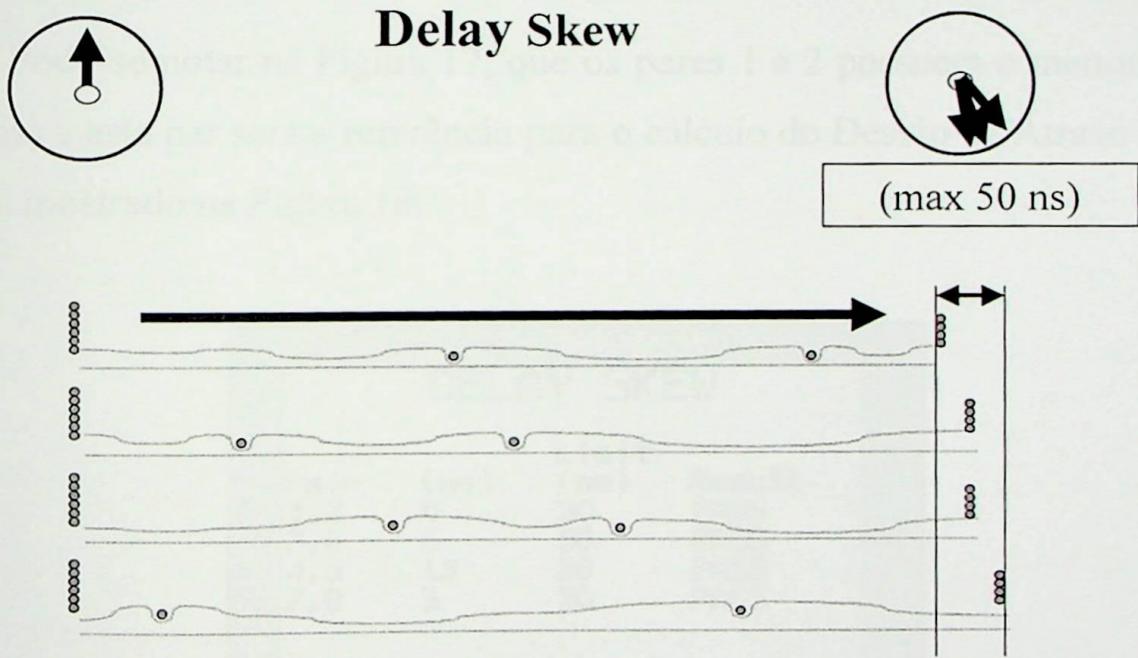
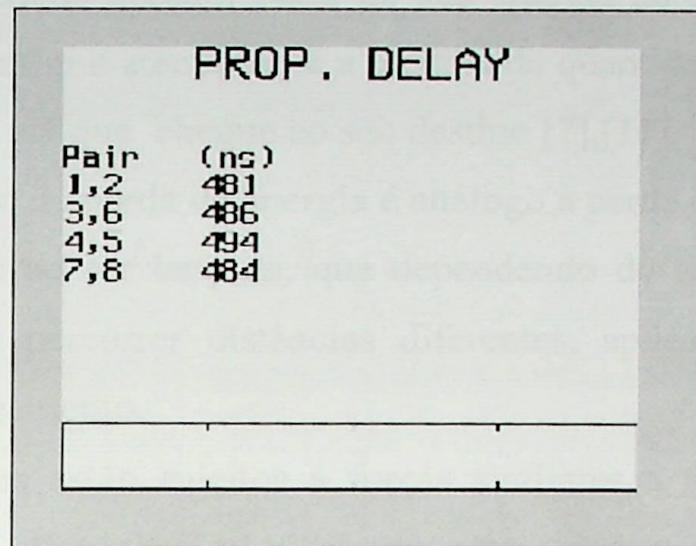


Figura 16 Delay Skew

Assim, esta medição assegura que o cabeamento estará apto para suportar as futuras aplicações de alta velocidade que utilizam transmissão

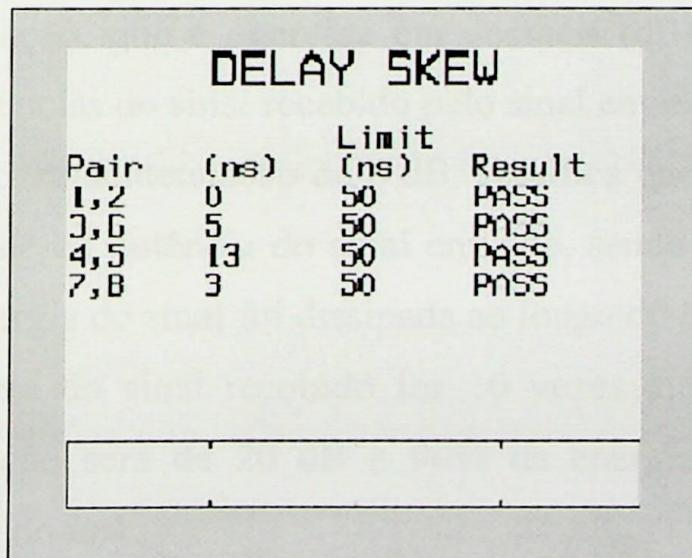
paralela [10]. A Figura 17 apresenta um exemplo de medição de Atraso de Propagação.



Pair	(ns)
1,2	481
3,6	486
4,5	494
7,8	484

Figura 17 Medição de Atraso de Propagação [5]

Pode-se notar na Figura 17, que os pares 1 e 2 possuem o menor atraso (481 ns) e este par será a referência para o cálculo do Desvio de Atraso (*Delay Skew*), mostrado na Figura 18.



Pair	(ns)	Limit (ns)	Result
1,2	0	50	PASS
3,6	5	50	PASS
4,5	13	50	PASS
7,8	3	50	PASS

Figura 18 Medição do Delay Skew [5]

Atenuação

Os sinais elétricos perdem parte de sua energia ao se propagarem ao longo de um *link*, assim a atenuação é a medida da quantidade de energia que é perdida pelo sinal, até que chegue ao seu destino [7],[11].

Este fenômeno de perda de energia é análogo à perda de energia de uma bola de boliche que ao ser lançada, que dependendo do tipo de piso (meio físico), esta poderá percorrer distâncias diferentes, aplicando-se sempre a mesma força no lançamento.

Sinais elétricos estão sujeitos à forças similares a *fricção* no mundo mecânico, (que é a *Resistência*), e alguns cabos podem transmitir energia elétrica com mais facilidade que outros.

Medidas de atenuação quantificam o efeito da resistência que o cabo oferece à transmissão do sinal elétrico, que varia em proporção direta do aumento da frequência, isto é, quanto maior a frequência do sinal, maior será a resistência oferecida e conseqüentemente maior a perda por atenuação.

Obviamente, quanto maior o comprimento do *link*, maior também será a perda por atenuação, que é expressa em decibéis (dB), sendo obtida pela razão entre as potências do sinal recebido pelo sinal enviado [6],[11].

Por exemplo, uma atenuação de 6 dB, significa que a potência do sinal recebido é a metade da potência do sinal enviado, sendo o mesmo que dizer que metade da energia do sinal foi dissipada ao longo do *link* [4].

Se a potência do sinal recebido for 10 vezes menor que a do sinal enviado, a atenuação será de 20 dB e 90% da energia do sinal terá sido dissipada ao longo do *link*.

Assim, neste tipo de medição, quanto maior o resultado em dB pior, pois maior terá sido a perda por atenuação.

E por outro lado, quanto mais próximo de 0 dB melhor, pois menor terá sido a perda por atenuação, e mais o sinal recebido se aproxima do sinal enviado, significando que o sinal recebido possui energia suficiente para ser decodificado corretamente pelo circuito receptor, diminuindo a chance de ocorrências de falhas [5].

A Figura 19 mostra um exemplo real, medido em laboratório, de um gráfico de medição de atenuação, e também a curva limite para aprovação deste teste, cujos valores são estabelecidos por norma [13].

Quanto mais próximos os resultados estiverem da curva limite, maior a atenuação e portanto, mais próximos estarão dos valores críticos, tendendo à reprovação do *link* sob teste.

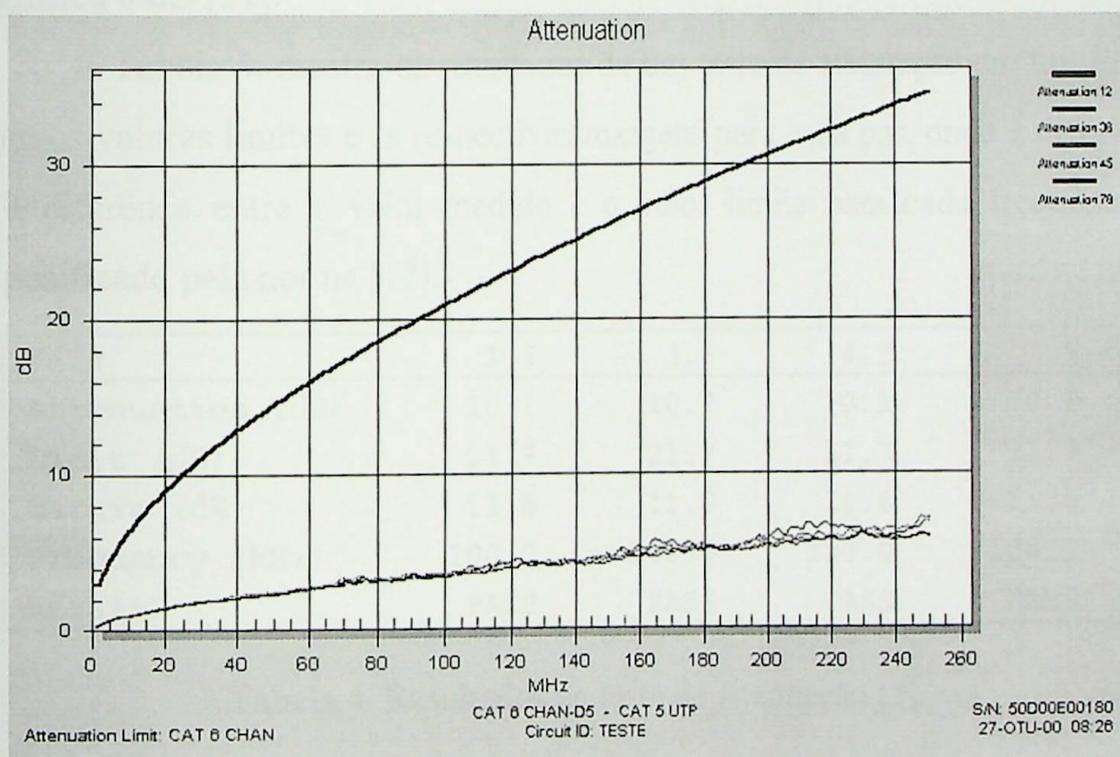


Figura 19 Medição de Atenuação

A Medição da Atenuação

Para efetuar este tipo de medição, necessitam-se de dois equipamentos de teste, perfeitamente aferidos. Um deles instalado na extremidade remota que irá transmitir o sinal sobre o *link* em teste, e uma unidade principal na outra extremidade que recebe o sinal e realiza a medição.

Os dois equipamentos devem ser *calibrados* juntos, para que possuam a mesma *referência*, e assim possam comparar o sinal recebido [5].

Normalmente, esta calibração é feita conectando as duas partes através de um cabo bem pequeno, para que não introduza nenhuma atenuação, e assim, o equipamento remoto transmite e o principal recebe o mesmo sinal praticamente sem qualquer atenuação, estabelecendo-se uma relação 1/1 que significa 0 dB [11].

A Tabela 4, mostra os resultados de um teste de atenuação em um *link*, com os valores limites e as respectivas margens para cada par, onde a margem é a diferença entre o valor medido e o valor limite para cada frequência, especificado pela norma [12].

Pair	1,2	3,6	4,5	7,8
Attenuation (dB)	10.1	10.7	10.1	10.1
Limit (dB)	21.7	21.7	21.7	21.7
Margin (dB)	11.6	11.0	11.6	11.6
Frequency (MHz)	100.0	100.0	100.0	100.0
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

Tabela 4 Resultados de teste de Atenuação [5]

Diafonia (*Crosstalk*)

A Diafonia (ou *Crosstalk*), é a medida do sinal acoplado por um par, em outro par adjacente no interior de um cabo UTP, em um *link* [7].



É um acoplamento indesejável, uma vez que interfere com o sinal ao qual se mistura [6].

Um exemplo similar deste efeito, ocorre às vezes quando se fala ao telefone e se ouve conversa cruzada simultânea na mesma linha, embora atrapalhe, consegue-se realizar a comunicação. O que *NÃO* acontece com computadores, que possuem menor tolerância à diafonia (*Crosstalk*) [5].

Em comunicação de dados, a *Diafonia (Crosstalk)* é um parâmetro crítico de desempenho, e seu efeito também aumenta com o aumento da frequência.

Isto quer dizer que quanto maior a frequência do sinal transmitido, maior será o acoplamento eletromagnético, e por consequência maior o efeito indesejado da diafonia (*Crosstalk*) [12].

Por isto, os cabos UTP utilizam os fios do mesmo par, trançados entre si. Esse efeito reduz a interferência, proporcionando um cancelamento dos campos eletromagnéticos gerados, diminuindo a *Diafonia (Crosstalk)* [6].

A Medição da Diafonia (Crosstalk)

Para medir este efeito, o equipamento de teste injeta um sinal em um par do *link* sob teste, e então mede a intensidade do sinal acoplado em outro par adjacente.

Esta medição da *Diafonia (Crosstalk)*, é chamada *Near End Crosstalk* ou *NEXT*, porque é o efeito medido na terminação do cabo em que o sinal que o causou foi transmitido, a Figura 20 ilustra exposto, e a Figura 21 o seu processo de medição.

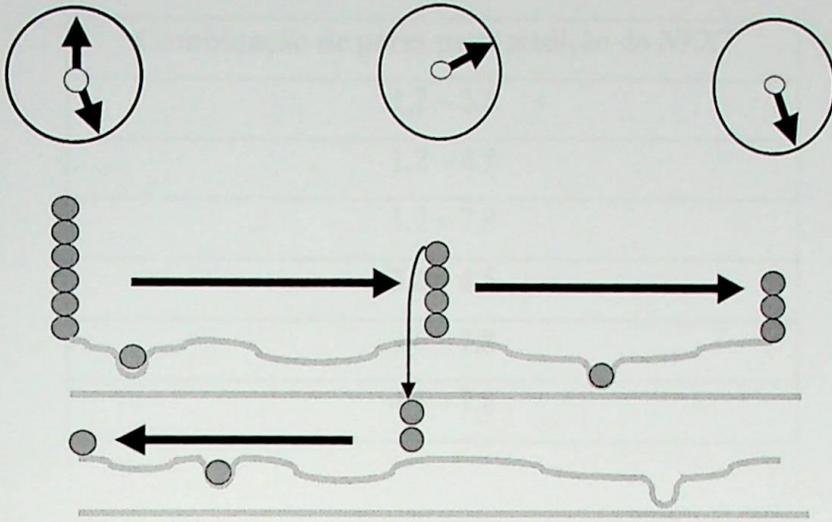


Figura 20 Ilustração do NEXT

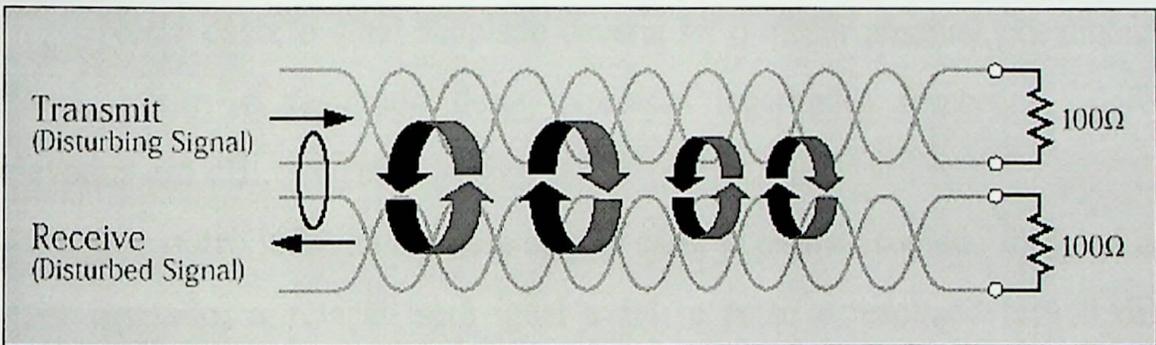


Figura 21 Processo de medição do NEXT [5]

Esta medição deve ser repetida para cada combinação de pares, em toda a faixa de frequência requerida.

Tem-se portanto, para o cabo UTP de quatro pares, seis combinações possíveis em que o *NEXT* deve ser avaliado, como mostra a Tabela 5.

Combinação de pares para medição do <i>NEXT</i>
1,2 – 3,6
1,2 – 4,5
1,2 – 7,8
3,6 – 4,5
3,6 – 7,8
4,5 – 7,8

Tabela 5 Combinações necessárias à medições do *NEXT*

O *NEXT* é expresso em dB, sendo uma expressão logarítmica da relação entre a magnitude do sinal acoplado e a magnitude do sinal injetado [11].

Neste caso, o sinal acoplado deveria ser o menor possível (idealmente *Zero*), assim o resultado desta expressão logarítmica fornecerá valores elevados em dB.

Por outro lado, na hipótese do pior caso, se o sinal acoplado for igual ao sinal injetado, a relação será igual a 1:1, e então o resultado será 0 dB. Conclui-se então que, ao contrário da análise feita para medições de atenuação, valores elevados em dB para medições de *NEXT* são desejáveis, e quanto menores, piores serão as medições de *NEXT*.

Supondo que um sinal de 5 volts seja injetado, e seja acoplado no par adjacente 5 milivolts, resultando em uma relação de 0,001 entre estes sinais, o que resulta em um *NEXT* de -60 dB (na prática o sinal – é omitido).

Se por exemplo, o sinal acoplado fosse de 50 milivolts, a relação passaria a ser de 0,01 resultando em um *NEXT* de 40 dB.

Pode-se notar que no caso do *NEXT* de 60 dB, o sinal acoplado (ruído) foi muito menor que no caso de 40 dB, deixando claro porque valores elevados de *NEXT* são desejáveis.

A Figura 22 apresenta um gráfico de uma medição de *NEXT*, obtido através de simulação em laboratório, onde tem-se dois casos, um deles aprovado, mostrando valores elevados de *NEXT* e sempre acima do limite, e outro reprovado, com valores inferiores de *NEXT* e abaixo da curva limite.

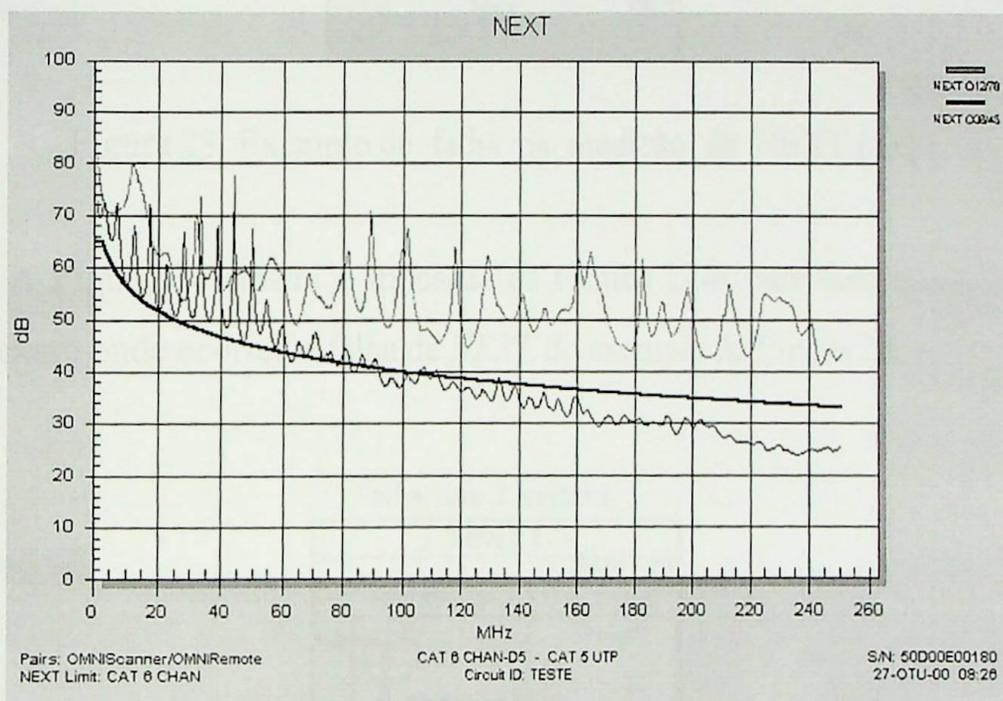


Figura 22 Medição do NEXT

É importante ressaltar, que da mesma forma que a técnica de TDR é aplicada às medidas de Perda de Retorno como já visto neste capítulo, consegue-se com a aplicação desta técnica determinar também com boa precisão, o local de ocorrência de falhas de *NEXT*.

O conceito baseia-se em se injetar um sinal em um par, e então medir o tempo que o sinal acoplado levará para “aparecer” no par adjacente sob teste,

deste modo pode-se determinar onde ocorreu a maior intensidade de *NEXT* [11].

A Figura 23 apresenta um exemplo de falha de medição de *NEXT*.

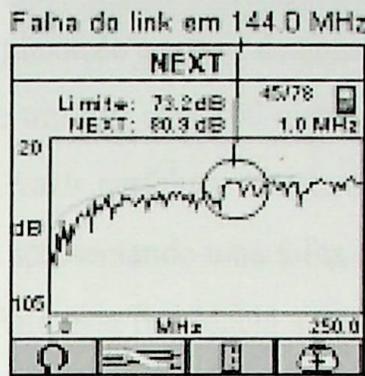


Figura 23 Exemplo de falha na medição de *NEXT* [11]

A Figura 24 mostra a aplicação da técnica TDR para determinação do local exato onde ocorreu a falha de *NEXT* do exemplo da Figura 23.

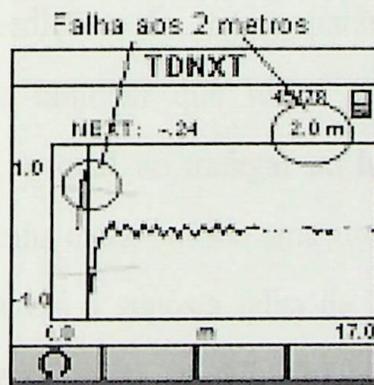


Figura 24 Análise de TDR apontando local da falha de *NEXT* [11]

No exemplo apresentado acima, a falha de *NEXT* se deu no acoplamento do sinal dos pares 4 e 5 sobre os pares 7 e 8, na frequência de 144 Mhz, onde a análise de TDR mostrou que o local da falha ocorreu a 2 metros do início do link.

Medição Bidirecional do *NEXT*

Para que se tenha certeza que um *link* sob teste esteja realmente dentro dos quesitos exigidos para aprovação, deve-se testar o *NEXT* a partir das duas extremidades do *link*, a explanação a seguir demonstra o porquê.

Seja a existência de um *link* com 100 metros construído com cabo Cat. 5, com conexões e *patch cords* perfeitos, entretanto, na extremidade remota tem-se um conector ruim, apresentando uma falha de *NEXT* real de 24 dB na frequência de 62,5 Mhz. Para esta frequência a norma TSB-67 estabelece um valor mínimo aceitável de *NEXT* de 30,6 dB (ou maior) [12].

Assume-se também que ao longo destes 100 metros a atenuação seja de 10 dB, valor aceitável e coerente. A norma estabelece para esta mesma frequência (62,5 Mhz) um valor máximo permitido de 18,5 dB de atenuação do sinal.

Vale lembrar que, valores pequenos de atenuação são desejáveis, contrariamente às medições de outros parâmetros, como *NEXT* por exemplo. Suponha-se também que tenha sido injetado um sinal na extremidade próxima, o qual ao trafegar ao longo do *link* até chegar à extremidade remota tenha então sofrido uma atenuação de 10 dB.

Neste ponto, haverá a suposta falha de 24 dB de *NEXT*, e o sinal acoplado (devido à esta falha de *NEXT*), sofrerá também 10 dB de atenuação durante seu retorno ao longo do cabo, até o início do *link*, onde será capturado e medido o valor de 44dB.

A Figura 25 ilustra o fato.

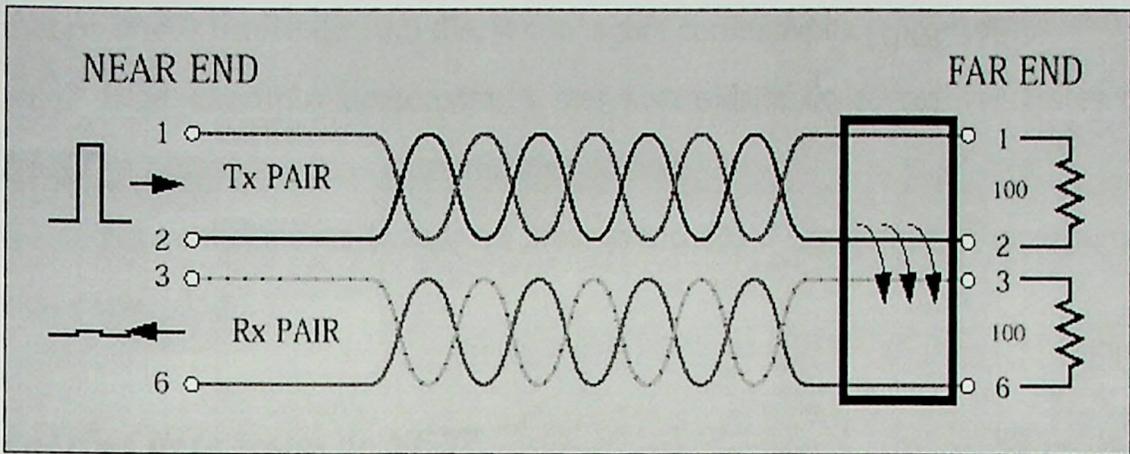


Figura 25 Medição Bidirecional de NEXT I [5]

Ocorre que tal medição de 44 dB ($10+24+10$) irá mascarar o resultado do teste, que apesar de ter sido aprovado (pois um *NEXT* de 44 dB é melhor que um de 24 dB), na realidade deveria ter sido reprovado.

Assim conclui-se que medições de *NEXT* devem ser executadas também partir da extremidade remota, isto é, bidirecionalmente, como mostra a Figura 26.

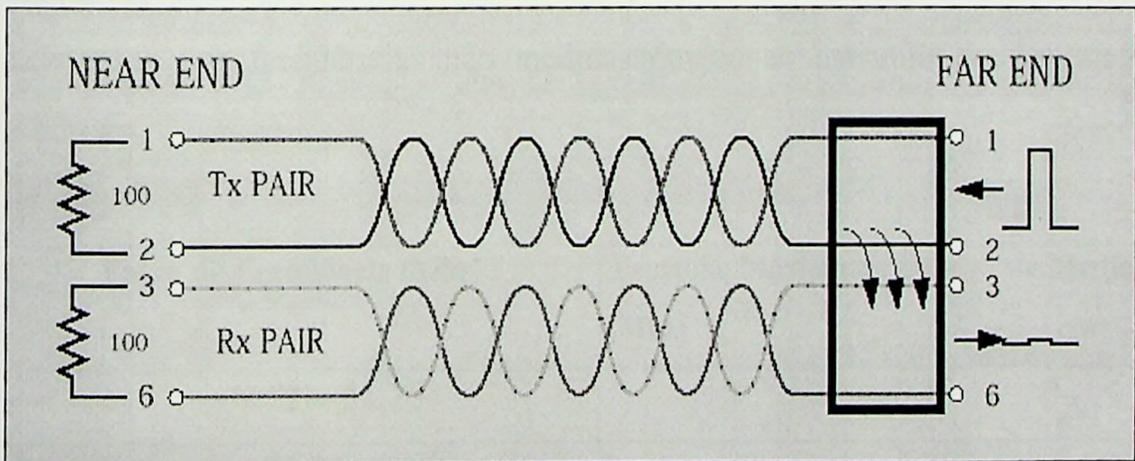


Figura 26 Medição Bidirecional de NEXT II [5]

Neste caso, percebe-se que a medição a partir da extremidade remota, não sofrerá o mascaramento da atenuação (que será desprezível), obtendo assim uma medição real do *NEXT* neste ponto de 24 dB a 62,5 Mhz, que é

menor que o limite de 30,6 dB, sendo agora corretamente reprovado.

Este exemplo demonstra, a real necessidade de se realizar testes de *NEXT* a partir das duas extremidades do *link*.

Na realidade os testadores mais avançados e modernos já incorporam esta capacidade.

Padrões para testes de *NEXT*

O *NEXT* é um parâmetro crítico que afeta consideravelmente o desempenho de um sistema de cabeamento, suas medições devem ser executadas em uma ampla faixa de frequência de 1 a 100 Mhz para UTP Cat 5.

Estas medições para cobrirem uma faixa tão larga de frequência, por norma, devem obedecer aos padrões mostrados na Tabela 6 [12].

Isto é importante para se evitar que medições em *saltos* elevados, (por exemplo, medições a cada 2 Mhz), possam não encontrar falhas reais existentes em frequências não medidas devido ao tamanho do degrau de medição.

Faixa de Frequência (Mhz)	Tamanho Máximo do Degrau de Medição (Mhz)
1 – 31,25	0,15
31,26 - 100	0,25

Tabela 6 Tamanho do Degrau de Medição do *NEXT*

Por outro lado, medições em saltos muito pequenos (por exemplo a cada 0,01 Mhz), faz com que os testes demorem muito tempo para serem

executados, uma vez que tais medições devem ser realizadas em todas as seis combinações entre os quatro pares do cabo, e em toda a faixa de 1 a 100 Mhz.

Reportagem dos Resultados de Testes de *NEXT*

Os resultados das medições de *NEXT* devem conter em sua reportagem as seguintes informações:

- a faixa de frequência do teste
- a combinação dos pares sob teste
- o pior caso de VALOR de *NEXT* em dB, ou
- o pior caso de MARGEM de *NEXT*, e
- a frequência em que o pior caso ocorreu.

A Margem do *NEXT* é definida como a diferença em dB, entre o valor medido e o valor estabelecido pela norma como limite de *APROVAÇÃO/REPROVAÇÃO* do link sob teste.

Tanto os valores medidos do *NEXT*, quanto os limites estabelecidos pela norma, variam com o aumento da frequência. Assim torna-se mais fácil e mais significativo analisar os resultados obtidos através da Margem, pois neste caso já estará implícito a comparação com o valor limite estabelecido pela norma.

Exemplificando, é mais significativo saber que uma certa medição teve como o pior caso em 70 Mhz uma margem de + 5dB (isto é, 5 dB acima do limite Passa/Falha), do que saber que o pior caso foi de 45 dB em 70 Mhz, sendo necessário procurar a informação na norma se este valor está dentro ou não dos limites.

A Tabela 7 apresenta os resultados de um teste de *NEXT*, onde pode-se notar que a pior margem de 4 dB ocorreu na combinação dos pares 3 e 6, 4 e 5, em 84,7 Mhz, cuja medição foi de 34,6 dB e o limite permitido é de 30,6 dB.

Pairs	1,2-3,6	1,2-4,5	1,2-7,8	3,6-4,5	3,6-7,8	4,5-7,8
NEXT (dB)	38.8	57.2	40.1	34.6	39.4	39.4
Limit (dB)	29.4	50.9	32.7	30.6	30.5	32.2
Margin (dB)	9.4	6.3	7.4	4.0	8.9	7.2
Frequency (MHz)	99.4	4.6	62.5	84.7	85.6	67.3
Result	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS
NEXT @ Remote (dB)	49.3	56.9	46.2	36.6	42.6	59.6
Limit (dB)	38.1	50.7	36.4	30.6	30.0	51.2
Margin (dB)	11.2	6.2	9.8	6.0	12.6	8.4
Frequency (MHz)	29.3	4.7	37.3	84.6	91.2	4.4
Result	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS

Tabela 7 Resultados numéricos de *NEXT* [5]

O teste em questão não informa sobre os resultados em outras frequências, mas de forma implícita indica que a margem nestes casos é maior que 4 dB em todas as frequências medidas.

É muito importante ressaltar que baixos desempenhos de *NEXT* em baixas frequências é muito prejudicial para a qualidade e desempenho de transmissão do *link*.

Isto porque, a maioria das técnicas de codificação de sinais aplicam quase toda a energia do sinal nas frequências mais baixas do espectro [6].

Deste modo, os pares 1 e 2, 4 e 5 devem ser cuidadosamente analisados, uma vez que, a pior margem de 6,3 dB ocorreu na frequência de 4,6 Mhz.

Pode-se também verificar na Tabela 7, os valores das medições do *NEXT* medidos a partir da extremidade remota do *link*.

ACR - Relação Atenuação – Diafonia (*Attenuation to Crosstalk Ratio*)

Durante a transmissão de sinais sobre cabo UTP, a atenuação e a *Diafonia (Crosstalk)* ocorrem simultaneamente, e o efeito combinado destes dois parâmetros, é um ótimo parâmetro indicador da real qualidade de transmissão do *link*, sendo denominado de Relação Atenuação - *Diafonia (ACR)*.

O *ACR* é uma medida de o quanto o sinal é mais forte que o ruído na extremidade do *link* em que o sinal será recebido e decodificado, sendo portanto, um ótimo indicador das características de transmissão do *link* [11],[7].

Quanto maior o valor de *ACR*, melhor serão as características de transmissão do *link* e menor será a taxa de erro de Bit (*BER*).

Este parâmetro possui uma definição análoga a Relação Sinal - Ruído, desconsiderando-se os efeitos dos ruídos externos capazes de afetar a transmissão do sinal.

O *ACR* é um valor calculado a partir da diferença entre os valores em dB, da Atenuação e da *Diafonia (Crosstalk)*, em cada faixa de frequência medida. Para que uma transmissão de sinais seja confiável e possua uma taxa de erro de Bit (*BER – Bit Error Rate*) menor que 1 em 10 bilhões, o valor do *ACR* de um sistema de cabeamento deve ser no mínimo, maior que 10 dB em

toda a largura de banda desejada do sinal. Como os efeitos da Atenuação e o *Crosstalk* aumentam com a frequência, o impacto do aumento da frequência sobre o *ACR* também é considerável.

É importante ressaltar que a partir da frequência onde *ACR* atinge o valor de 0 dB, a amplitude do ruído torna-se maior que a amplitude do sinal, então a partir desta frequência fica impossível haver comunicação através deste *link*.

O valor mínimo requerido para que a comunicação de dados seja bem sucedida, é que o sinal seja pelo menos 1,6 vezes maior que o ruído, isto é, possua um *ACR* de 4 dB [13].

A Figura 27 ilustra o exposto, mostrando um exemplo de um *link* Cat. 5, com os limites definidos pela TSB-67. Mostra também, um gráfico contendo medições de Atenuação, *NEXT* e *ACR* correspondente, incluindo os pontos críticos e suas respectivas frequências.

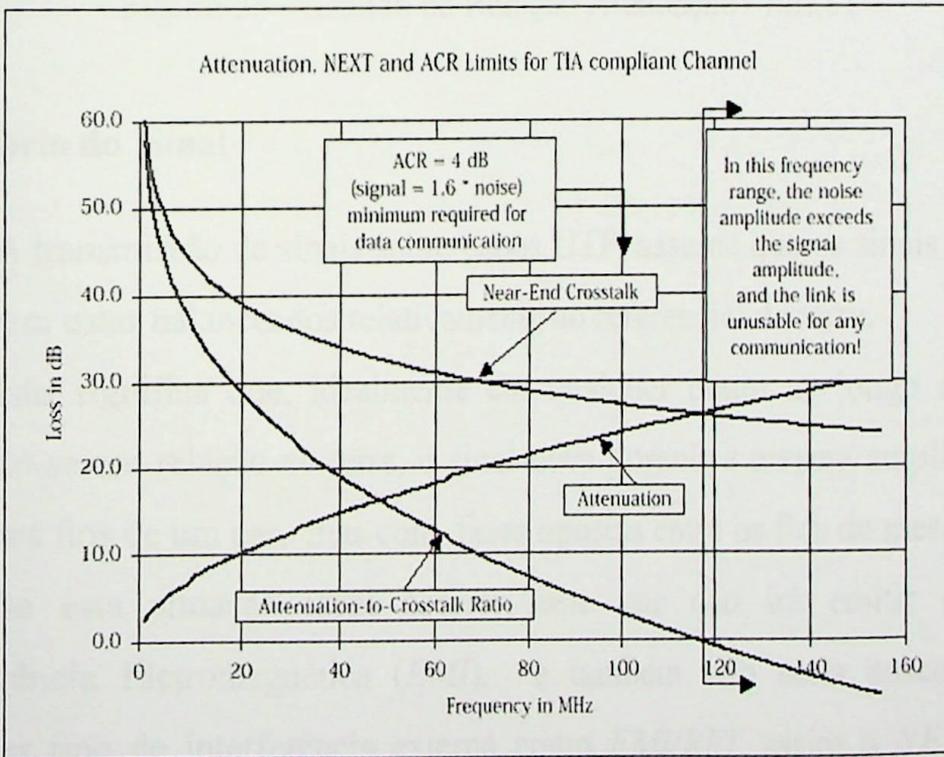


Figura 27 Medições de Atenuação, NEXT e ACR [5]

A Figura 28 mostra um gráfico de uma medição da relação Atenuação – *NEXT*, obtida através de simulação em laboratório.

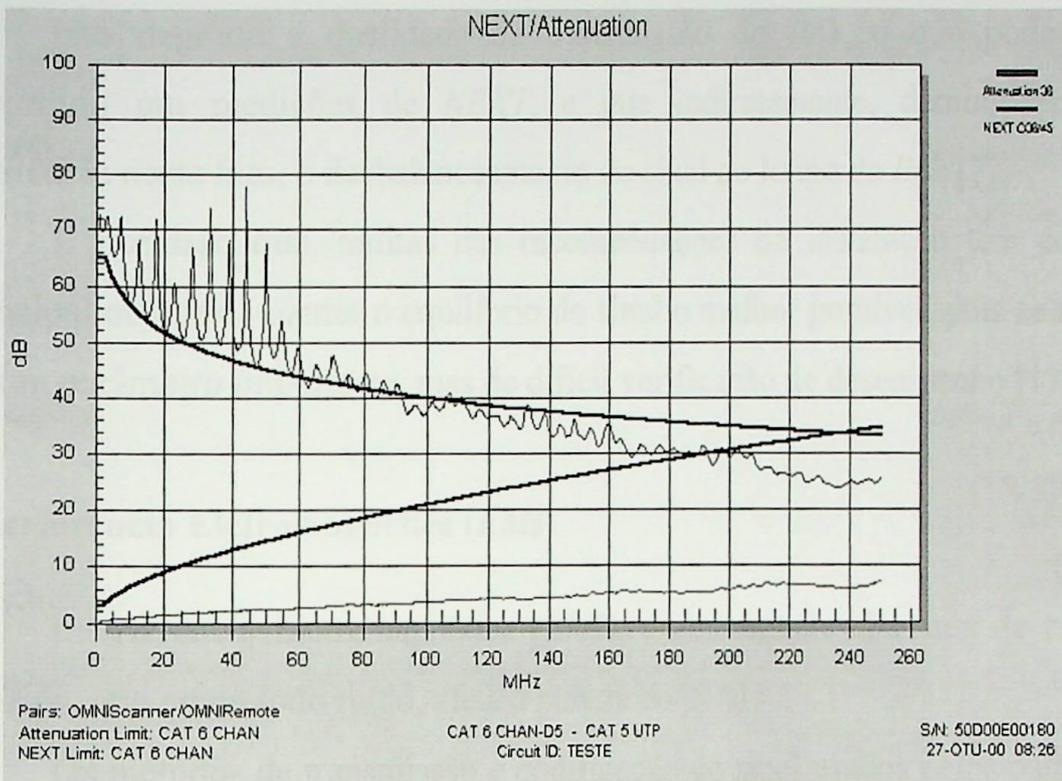


Figura 28 Gráfico da Relação Atenuação - NEXT

Equilíbrio do Sinal

A transmissão de sinais sobre cabos UTP, assume que os sinais em cada fio devem estar balanceados relativamente ao referencial do terra.

Isto significa que, idealmente em qualquer ponto ao longo do cabo, medindo-se em relação ao terra, o sinal deve possuir a mesma amplitude em ambos os fios de um par, mas com fases opostas entre os fios do mesmo par.

Se esta situação ideal ocorrer, este par não irá emitir qualquer Interferência Eletromagnética (*EMI*), e também não seria susceptível a qualquer tipo de interferência externa como *EMI/RFI*, assim o *NEXT* seria desprezível.

Entretanto, fatores como conexões, alteração no passo da trança e/ou destrançamento do cabo, conectores defeituosos, entre outros, são fatores que de alguma forma tendem a causar desbalanceamento do sinal [6].

Isto degrada a qualidade de transmissão do *link*, o que pode ser percebido em medições de *NEXT*, e que indiretamente, demonstram a existência deste fato, o desbalanceamento do sinal ao longo do *link* [7].

É por isso que, muitas das recomendações de instalação tem como principal objetivo, manter o equilíbrio do sinal o melhor possível, pois se trata de um parâmetro importante, mas de difícil verificação de desempenho [13].

Interferência Eletromagnética (EMI)

Interferência Eletromagnética (*EMI*), é comumente chamada de ruído elétrico, que como todo ruído, afeta a pureza do sinal.

Os métodos de transmissão e codificação do sinal usados pelos padrões em muitas *LAN's* (*Local Area Network*), foram concebidos para prover um sistema de transmissão robusto e confiável entre computadores. Todavia, é a qualidade do meio físico e de sua instalação, que irão garantir um perfeito balanceamento ou equilíbrio do sinal e conseqüentemente uma baixa taxa de erros (*BER*) durante a transmissão [6].

São nos testes realizados durante a instalação, principalmente de *NEXT*, que se pode perceber os efeitos deste desbalanceamento e a capacidade do *link* em rejeitar a influência de fontes externas de ruídos (*EMI / RFI*).

Os distúrbios causados por *EMI/RFI* podem ser interferências compostas por componentes de uma ou mais frequências, ou interferências causadas por *IMPULSOS* ou *PICOS*.

Nestes casos, estes *impulsos* representam problemas mais sérios ao desempenho da transmissão no *link*, porque ao se misturar e corromper um sinal válido, irá ocorrer falhas na transmissão, devendo a informação ser retransmitida pela estação que a gerou.

Assim, o excesso de retransmissões reduzem significativamente a velocidade de transmissão na rede.

As fontes destes ruídos causadores de IMPULSOS ou PICOS, normalmente são oriundas de equipamentos eletro-mecânicos como motores elétricos, elevadores, aparelhos de ar condicionado, entre outros.

Os casos de interferência causados por sinais externos de componentes aleatórios de frequência, são menos danosos à transmissão na rede, além de serem mais facilmente detectados e evitados.

Analisando o espectro de frequência do ruído, facilmente se detecta sua origem ou causa.. Por exemplo, se houver uma componente de frequência muito concentrada em 98,7 Mhz, pode ser devido a uma antena transmitindo sinais de FM nesta frequência, nas proximidades deste *link*.

Neste caso, ações corretivas como:

- mudar a rota do cabo, ou passá-lo por um eletroduto de metal, aterrado, a fim de prover boa blindagem;
- trocar o cabo UTP por STP, isto é, cabo de par trançado blindado, incluindo as conexões apropriadas também blindadas;
- ou ainda, trocar os *links* afetados por outros em fibra óptica, totalmente imunes a este tipo de interferência.

Obviamente, deve-se garantir um perfeito aterramento nas duas extremidades do *link* em questão, além de garantir que estejam no mesmo potencial.

Neste capítulo, foram estudados detalhadamente as características elétricas fundamentais que causam impacto diretamente sobre o desempenho de uma transmissão de dados através de um *link*.

Foi analisada a importância de cada parâmetro, como são medidos, como analisar os resultados obtidos, e como diagnosticar falhas de desempenho a partir destes resultados.

No capítulo a seguir, serão estudados as mais novas tendências tecnológicas que exigirão ainda mais desempenho dos sistemas de cabeamento e quais serão os novos parâmetros de análise de desempenho para estes novos padrões de alta velocidade.

Com certeza, à luz do estudado até aqui, será mais fácil compreender estes novos parâmetros, e como suas características elétricas causam impacto no desempenho em sistemas de redes de comunicação de dados.

CAPÍTULO 4 – A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA EM SISTEMAS DE CABEAMENTO UTP E AS EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO DAS REDES FUTURAS.

Neste capítulo serão estudados alguns tópicos do adendo nº 5 da norma *ANSI/TIA/EIA-568-A-5*, aprovado em 27 de janeiro de 2000, o qual estabelece novos parâmetros de testes para a nova Categoria 5e (Categoria 5 aprimorada) [13]. Bem como quais as tendências tecnológicas e como os sistemas de cabeamento UTP atenderão às necessidades das redes futuras.

A Categoria 5e

Em 1998, foi lançado no mercado uma nova categoria de cabeamento UTP, em substituição a categoria 5. Conhecida como Categoria 5e (Cat.5 *Enhanced*), mais aprimorada em relação a anterior e capaz de suportar maiores velocidades de transmissão.

Apesar de disponível no mercado, e de começar a ser instalada, não era testada como CAT.5e, uma vez que a norma que especifica esta nova categoria ainda não havia sido liberada.

Então, em fevereiro de 2000, foi publicado o *adendo nº 5* da norma *ANSI/TIA/EIA-568-A-5* denominado “*Transmission Performance Specifications for 4-Pair 100 Ohms – Category 5e Cabling*”, o qual especifica os parâmetros mínimos de Perda de Retorno, Atraso de Propagação, Desvio ou Distorção (*Delay Skew*) e *NEXT*.

Como também os valores mínimos dos novos parâmetros incluídos: *PSNEXT*, *FEXT*, *ELFEXT* e *PSELFEXT* para testes de certificação de cabeamento UTP de 4 pares, Cat. 5e [10].

Tais parâmetros serão estudados em detalhes ao longo deste capítulo.

Este adendo nº 5, além de especificar os novos parâmetros a serem testados, estabelece um rigor ainda dos testes em relação as normas TSB-67 e a norma posterior TSB-95, obviamente pela necessidade de suportar velocidades maiores, e de maior largura de banda.

Na Tabela 8, as diferenças significativas entre as especificações de desempenho destes parâmetros e do nível de rigor estabelecidos em cada um destes três documentos podem ser observados [10].

NORMA	TSB-67	TSB-95	Adendo nº 5
CATEGORIA	Cat.5 “Tradicional”	“Nova” Cat.5	Cat. 5e
Limite de Frequência	1 – 100Mhz	1 – 100 Mhz	1 – 100 Mhz
Propagation Delay	Não especificado	Especificado	0 mesmo do TSB-95
ATENUAÇÃO	Especificado	0 mesmo de Cat.5	0 mesmo de Cat.5
NEXT	Especificado	0 mesmo de Cat.5	41% melhor
PSNEXT	Não especificado	Não especificado	Especificado
ELFEXT	Não especificado	Especificado	5% melhor
PSELFEXT	Não especificado	Especificado	0 mesmo do TSB-95
Return Loss (RL)	Não especificado	Especificado	26% melhor
Delay Skew	Não especificado	Especificado	0 mesmo do TSB-95

Tabela 8 Comparação das exigências entre as normas antigas e atuais

Como as taxas de transmissão exigidas se tornam cada dia maiores, cada vez mais o desempenho dos sistemas de cabeamento depende das características do cabeamento horizontal, *hardware* de conexão, *patch cords*,

número total de conexões, qualidade dos cabos, conectores, conexões, e dos cuidados durante a instalação e manutenção.

O desenvolvimento de aplicações com elevadas taxas de transmissão, despertou a necessidade de uma elaboração de parâmetros adicionais de transmissão (*PSNEXT*, *FEXT*, *ELFEXT* e *PSELFEXT*), além de maior rigor e limites mais “apertados” em relação aos parâmetros especificados pela TSB-67, já vistos no capítulo anterior.

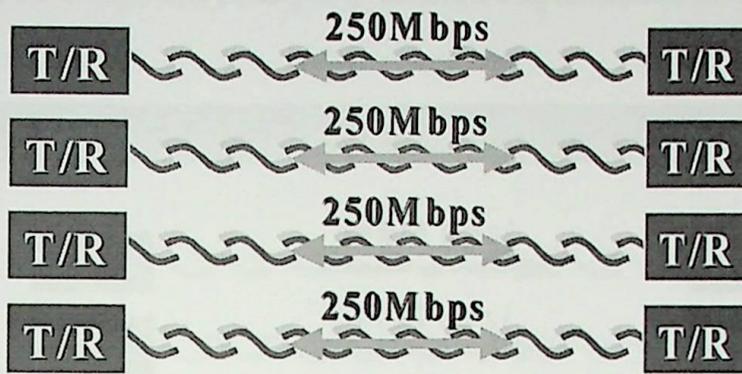
Os novos sistemas de cabeamento em Cat. 5e deverão ser avaliados com base nestes novos parâmetros e exigências, a fim de certificarem se irão suportar as aplicações atuais e futuras, que utilizam todos os quatro pares do cabo UTP.

Pois estas tecnologias emergentes, utilizam transmissão bidirecional simultânea no cabo, atingindo assim velocidades maiores de transmissão e exigindo maior largura de banda [9].

Um exemplo de aplicação que utiliza os quatro pares para transmissões simultâneas (*Full duplex*) é o 1000 Base-T4, (IEEE 802.3ab – junho/99), se trata da tecnologia *Gigabit Ethernet* sobre o cabeamento UTP Cat. 5e, no qual são transmitidos e recebidos 250 Mbps em cada par simultaneamente, conforme pode ser observado na Figura 29.



Padrão 1000 Base-T(4)



Gigabit Ethernet sob cabo UTP Cat. 5e

Figura 29 O Padrão 1000 Base-T4

Ocorre que a eletrônica envolvida neste padrão de transmissão é extremamente complexa, e obviamente, muito mais cara.

Este padrão é semelhante ao 100Base-T4 que foi desenvolvido para aplicações 100 Mbps sobre o cabeamento Cat. 3, o qual não obteve sucesso em vista do alto custo da eletrônica envolvida.

O cabeamento Cat.5e deve atender todas as recomendações deste documento (adendo 5), além disso, a todos os requerimentos da norma *ANSI/TIA/EIA568-A*, e seus respectivos adendos.

Percebe-se que o adendo 5 reconhece os avanços na tecnologia de cabeamento, além de incluir os procedimentos de testes em campo e em laboratório que podem ser utilizados para verificar se os componentes e o cabeamento irão atender às especificações [13].

Há também um novo padrão sendo estudado pelos comitês internacionais, trata-se do padrão chamado 1000Base-TX, *Gigabit Ethernet*. Ele é utilizado com o cabeamento UTP Cat. 6, no qual são utilizados apenas

dois pares para a transmissão dos sinais e os outros dois pares para a recepção (com taxas de 500 Mbps em cada par), conforme apresentado na Figura 30.

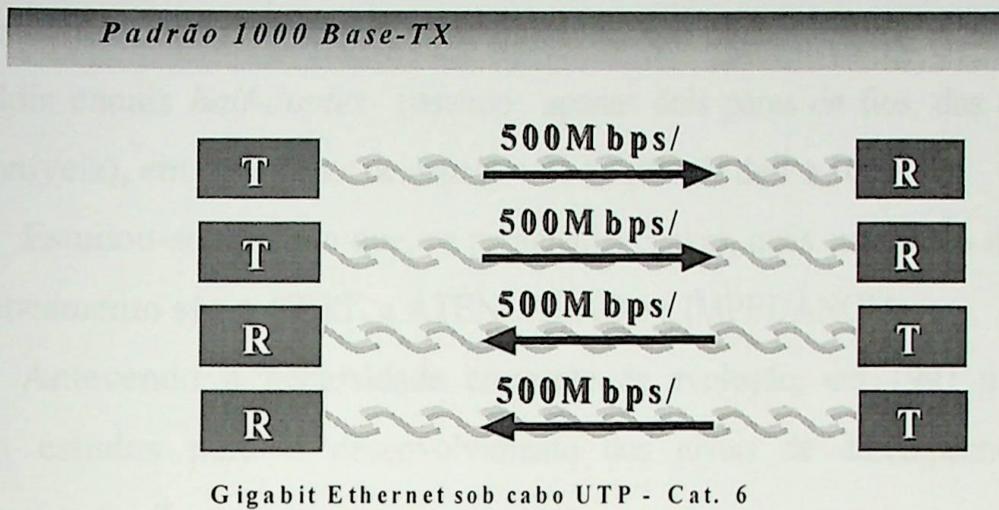


Figura 30 O Padrão 1000 Base-TX

A eletrônica envolvida neste padrão de transmissão é cerca de 75% menos complexa que no padrão 1000Base-T4 e, obviamente, muito mais barata.

Este padrão assemelha-se ao 100Base-TX, que permite “rodar” 100 Mbps sobre o cabeamento Cat.5. Ele permite uma eletrônica bem mais simples e vem sendo utilizado amplamente nas redes locais na atualidade [9].

Em vista do exposto até aqui, pode-se perceber que, de agora em diante, os profissionais envolvidos nos projetos de sistemas de cabeamento estruturado deverão se preocupar ainda mais com as características, e o desempenho dos componentes envolvidos nos sistemas de cabeamento, para que sejam instalados produtos que venham a suportar as aplicações futuras. Ou seja, no mínimo devem ser instalados componentes de Cat.5e, levando-se

também em consideração a possibilidade de utilização de componentes da novíssima Cat. 6 [9].

Como já descrito anteriormente, a norma TSB-67, referente ao cabeamento Cat.5, foi editada para aplicações que na maioria dos casos opera em dois canais *half-duplex* (usando apenas dois pares de fios, dos quatro disponíveis), em uma faixa de espectro de frequência de 1 a 100 Mhz.

Estudou-se também que, os parâmetros chaves, mais críticos do sistema de cabeamento são o *NEXT*, a *ATENUAÇÃO* e a *IMPEDÂNCIA*.

Antevendo a necessidade crescente de evolução, em 1997 tiveram início estudos para o desenvolvimento dos níveis de desempenho das categorias 6 e 7.

Desde então, a indústria em intensa atividade de desenvolvimento, tenta atualmente atender antecipadamente a estes níveis de desempenho, mesmo sem a publicação tão esperada da norma que deverá estabelecer as especificações de desempenho para estes níveis (Cat. 6 e 7) [14].

Exigências para a Transmissão Gigabit

Em transmissões *Gigabit* (1000Base-T4), para que seja possível suportar a transmissão *full-duplex* em todos os quatro pares do cabo, é necessário estudar as características adicionais de desempenho tanto do cabo quanto dos demais componentes que englobam o cabeamento (*hardware* de conexão e *patch cords*).

A mesma necessidade ocorre para o padrão 1000Base-TX, que apesar de utilizar apenas dois pares simultâneos, exige transmissões a 500 Mbps [14].

FEXT (*Far End Crosstalk*)

É definida como a medida da interferência gerada pelo par transmissor, sobre o par receptor, medido na extremidade remota. Esse efeito é influenciado pelo comprimento total do cabo [7].

Em outras palavras, é a parcela do NEXT acoplado na extremidade remota do par adjacente [11], como ilustrado na Figura 31.

Em geral esta medida tende a ser inferior ao *NEXT*, quanto maior o comprimento do *link*, e se iguala ao *NEXT* em comprimentos pequenos.

Isto deve-se ao fato do sinal acoplado (*FEXT*) sofrer o efeito da atenuação durante seu percurso ao longo do *link* até a extremidade remota.

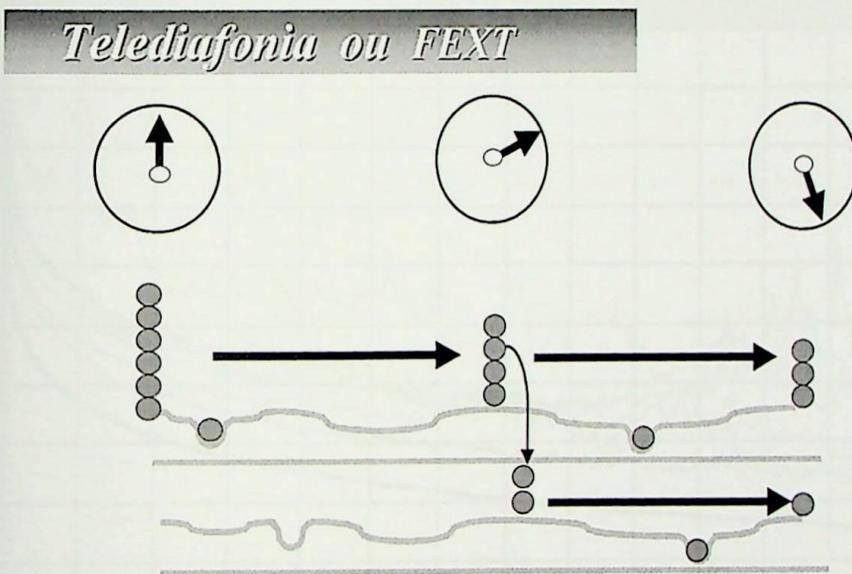


Figura 31 FEXT (Far End Crosstalk)

ELFEXT (*Equal Level Far end Crosstalk*)

Essa medida possibilita conhecer qual é a interferência gerada por um sinal emitido de um par transmissor local, em um par adjacente, tomada na

extremidade remota do par, com relação ao nível de sinal recebido no mesmo par [7].

Em resumo, essa medida é a relação entre *FEXT* e a ATENUAÇÃO, ou seja, é uma “ACR” vista sob a ótica da extremidade remota.

É a medida de quanto o sinal recebido na extremidade remota é maior ou mais intenso que o ruído (*FEXT*) no mesmo par, pois é necessário que o sinal chegue com maior intensidade que o ruído, para que possa ser interpretado [11].

A Figura 32 apresenta um gráfico típico de uma medição de *ELFEXT*, obtida através de simulação em laboratório.

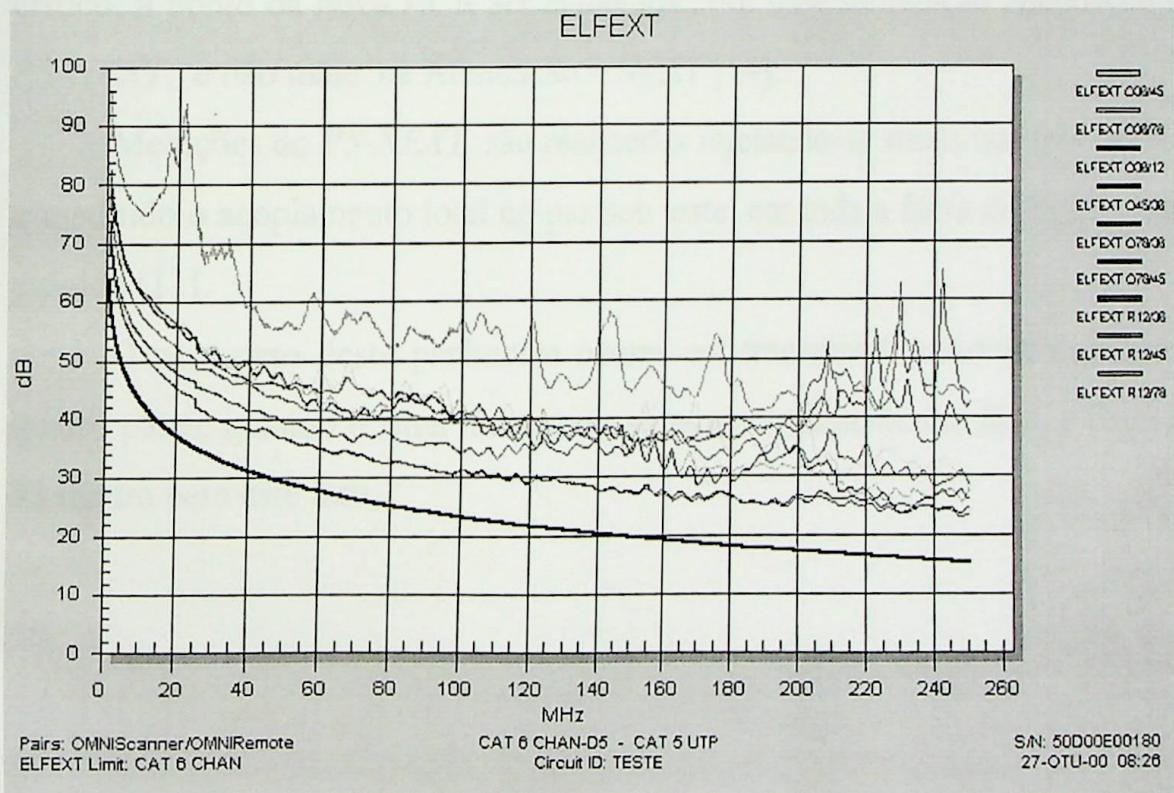


Figura 32 Medição de ELFEXT

PS-NEXT (*PowerSum Next*)

Este parâmetro permite medir o ruído provocado em um par em relação ao sinal transmitido em todos os outros pares do cabo UTP.

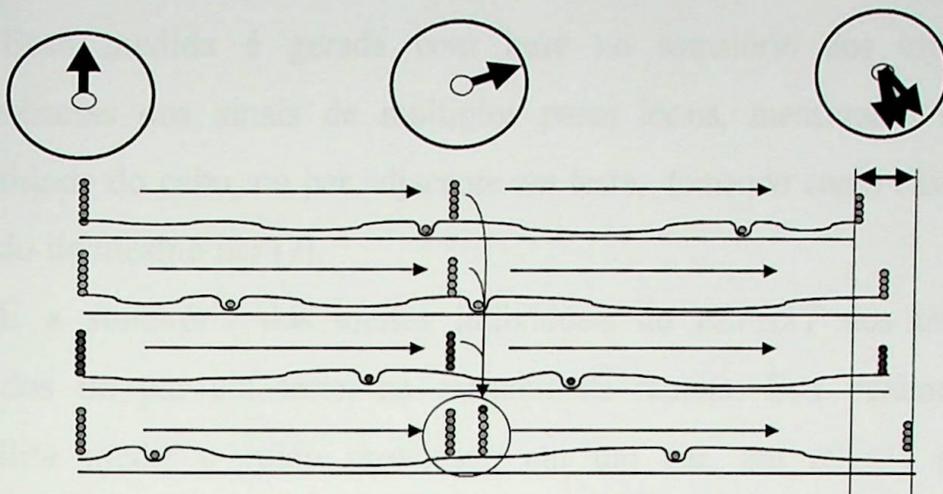
Desta forma, tem-se condições de analisar, com maior exatidão qual é a interferência total que um par sofre com a integração dos vários sinais no mesmo cabo [7].

Em outras palavras, é a somatória dos efeitos individuais do *NEXT* dos três pares adjacentes ao par sob teste [11].

Em transmissões simultâneas em vários pares, como é o caso das novas tendências tecnológicas, pode-se perceber como este parâmetro se torna crítico, a ponto da nova ACR ser calculada com base na relação Atenuação - *PS-NEXT*, e não mais na Atenuação - *NEXT* [14].

Medições do *PS-NEXT* são realizadas injetando-se sinais nos três pares, e medindo o acoplamento total no par sob teste, em toda a faixa de frequência exigida [11].

O pior caso deste parâmetro ocorre em transmissões simultâneas nos quatro pares, quando o sinal nos pares estiverem totalmente em fase, a Figura 33 ilustra bem este fato.



Se todos os sinais fossem enviados exatamente em fase (ao mesmo tempo) seus efeitos se “somariam” e a interferência/ruído seria tão intenso quanto o sinal (correlação).

Figura 33 Pior caso do PS-NEXT

A Figura 34 apresenta um exemplo gráfico de uma medição em laboratório do *PS-NEXT*, mostrando os resultados dos pares 4, 5 e 7, 8.

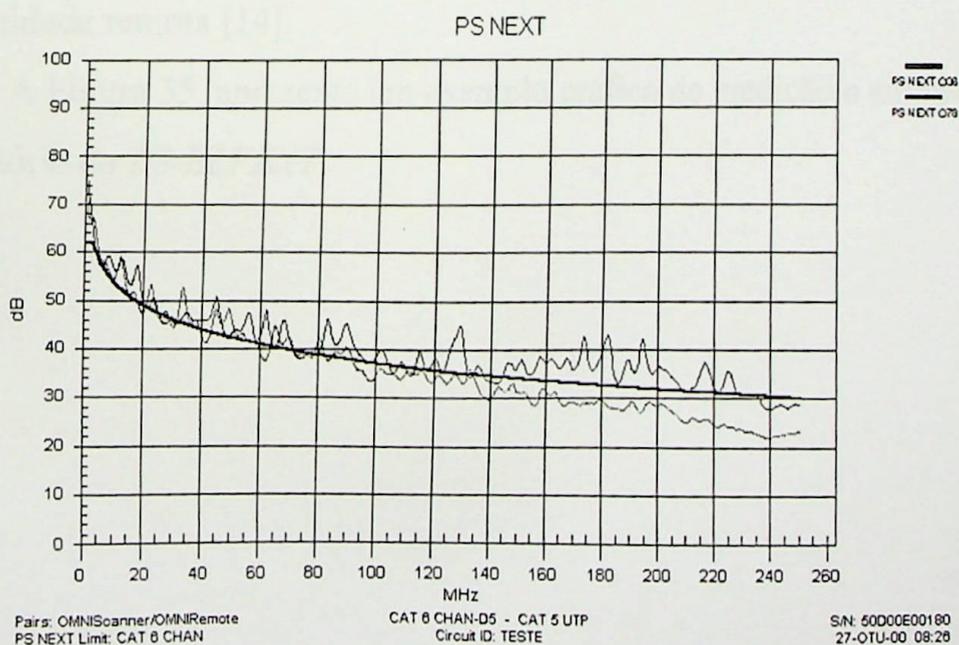


Figura 34 Gráfico do PS-NEXT

PS-ELFEXT (*PowerSum Equal Level Far End Crosstalk*)

Essa medida é gerada com base no somatório dos efeitos das interferências dos sinais de múltiplos pares locais, mensuradas na outra extremidade do cabo, no par adjacente em teste, tomando como base o sinal recebido do mesmo par [7].

É a somatória dos efeitos individuais do *ELFEXT* dos três pares acoplados no par em teste, na extremidade remota. Este parâmetro nos possibilita medir o ruído provocado em um par, em relação ao sinal transmitido nos outros pares do cabo [11].

Como já visto anteriormente, para se transmitir em 1000Base-T o cabo deve atender aos níveis de desempenho de *ACR* (Relação Atenuação-NEXT) baseado no PS-NEXT e não mais no NEXT.

Do mesmo modo que se tornou necessário somar os valores de *NEXT* na extremidade próxima, o *PS-ELFEXT* também se tornou um parâmetro crítico de desempenho, sendo necessário também somar os efeitos do *FEXT* na extremidade remota [14].

A Figura 35 apresenta um exemplo gráfico de medição e simulação em laboratório do *PS-ELFEXT*.

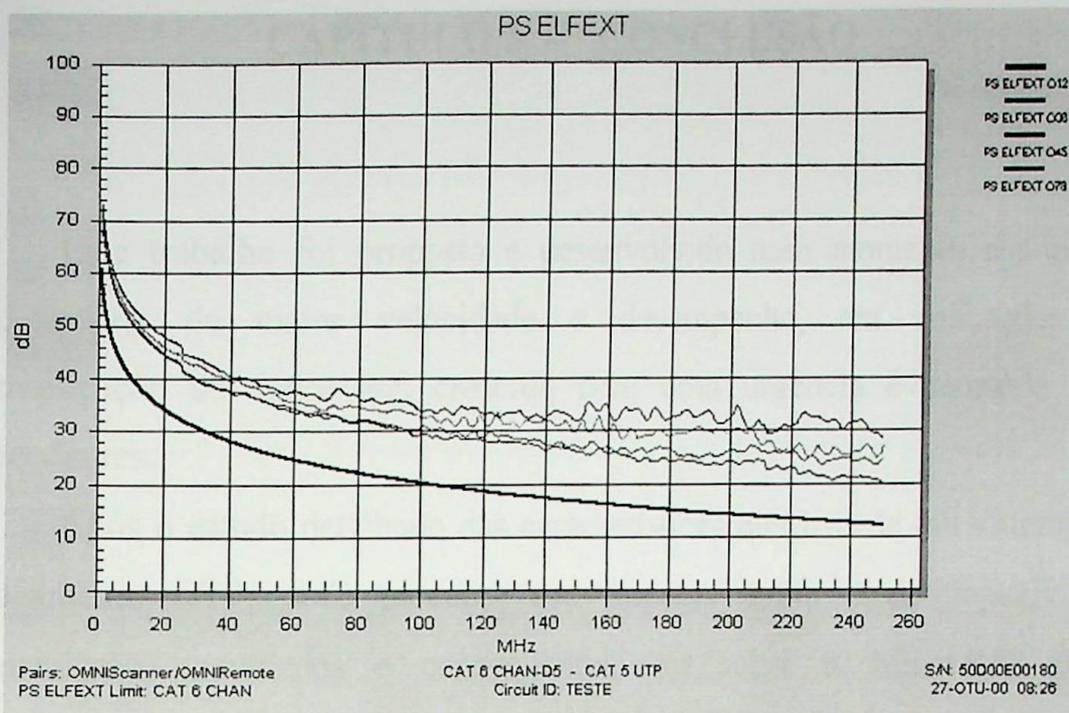


Figura 35 Gráfico do PS-ELFEXT

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

Este trabalho foi proposto e desenvolvido num momento em que a necessidade de maior velocidade e desempenho, em aplicações de comunicação de dados tem crescido com uma urgência e demanda sem precedentes.

Após o estudo detalhado das características elétricas de um sistema de cabeamento UTP, pode perceber seu impacto sobre o desempenho na transmissão dos dados e conseqüentemente sobre a velocidade desta transmissão.

Para que se obtenha o resultado desejado, isto é, o máximo desempenho possível do meio físico na transmissão dos dados, é importante que todos os parâmetros aqui estudados sejam devidamente testados por equipamentos que possuam elevado nível de precisão das medições, e em toda a faixa de freqüência que compõem a largura de banda do sinal.

E então comparados aos limites estabelecidos pelas normas e assim avaliar se todos estes parâmetros se encontram dentro dos limites aceitáveis.

Deste modo pode-se checar com precisão se a estrutura de cabeamento instalada, (que inclui conexões, cabos, cordões de conexão, enfim todo o *hardware* de conexão e o percurso de cada enlace), que conecta cada ponto da instalação esta livre de falhas que possam afetar a resposta do meio físico ao sinal que se propaga através dele.

Qualquer limitação imposta pelo meio físico poderá afetar a resposta em freqüência do mesmo, e dependendo da falha e do tipo de codificação utilizada pelo sinal, poderá afetar componentes de freqüência responsáveis por parte relevante da energia do sinal, fazendo com que não seja possível sua perfeita

recomposição no receptor, causando assim erros durante o processo de transmissão.

Estes erros de transmissão impactam sensivelmente o desempenho global do sistema, que dependendo do caso poderá chegar à inoperância da rede.

No caso de redes Ethernet, onde o meio físico é compartilhado por todos os dispositivos que partilham o mesmo domínio de colisão, este efeito se torna ainda mais nocivo.

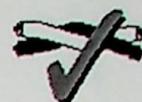
Desta forma, para que um projeto de um sistema de cabeamento estruturado seja bem sucedido e atenda as exigências para que foi projetado, devem ser observados com muito rigor os princípios detalhados ao longo deste trabalho. Sintetizados abaixo:

- devem ser escolhidos produtos de categorias que suportem o desempenho das aplicações atuais e de preferência com boa margem para suportar as aplicações futuras,
- preferencialmente, utilizar a solução completa do mesmo fabricante, isto é, todo o material do mesmo fabricante e da mesma categoria escolhida, e com qualidade comprovada,
- exigir mão de obra instaladora de qualidade, com rigorosa aplicação das normas EIA/TIA 568 A, e de preferência credenciada pelo fabricante da solução escolhido,
- exigência da observância de alguns cuidados básicos como: com o percurso e dobras dos cabos, uso de ferramentas corretas e de qualidade para climpagem dos conectores e *jacks*, lançamento e tracionamento correto dos cabos, montagem dos *rack's*, identificação padronizada de todos os pontos,

- após concluídas as instalações, iniciar o processo de testes e certificação de cada ponto, com análise e avaliação de todos os parâmetros, verificando se cada um foi aprovado com boa margem de folga,
- se durante a análise algum ponto apresentar margem muito pequena, principalmente em algum dos parâmetros críticos de desempenho já estudados, deve ser diagnosticado a causa desta medição e corrigi-la, no sentido de aumentar a margem deste parâmetro, pois tal fato poderá se tornar um gargalo em aplicações futuras que exija maior velocidade e desempenho do sistema,
- por fim, devem ser guardados os laudos como uma referência inicial do sistema de cabeamento estruturado (como uma “*certidão de nascimento*”), para comparações futuras se necessário.

Assim, conclui-se que os objetivos iniciais deste trabalho foram plenamente atingidos, pois ao detalhar cada característica elétrica e cada fator limitante de desempenho de um sistema de cabeamento UTP, e seu conseqüente impacto no desempenho final, a intenção de sensibilizar para a importância e relevância deste assunto foi certamente alcançada.

E também o fato de concentrar em um único trabalho, estas informações de difícil exposição literária, por si só pode se dizer que foram umas das principais contribuições deste trabalho. Bem como os estudos e análises de casos reais, simulações e testes em laboratório, que muito contribuíram para a comprovação e consolidação dos conhecimentos que foram agregados durante a execução deste trabalho.



OMNIScanner2 Reportagem da certificação

ID de circuito: p04
 Projeto: TIA Project
 Proprietário: SUPPORT INFORMATICA
 Autotest: *Cat5 Chan TSB95*
 Cabo: Cat 5 UTP
 NVP: 72
 Sítio: ---
 Predio: ---
 Chão: ---
 Armario: ---

OMNIScanner
 50D00E00180 SW: V04.00
Adaptador
 CHAN 5/5E/6

OMNIRemote
 50E00D00069
Adaptador



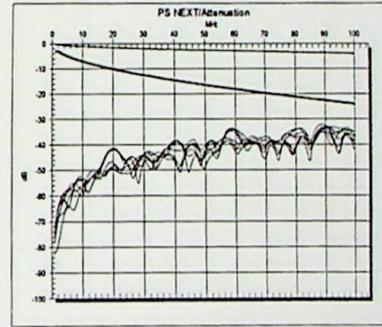
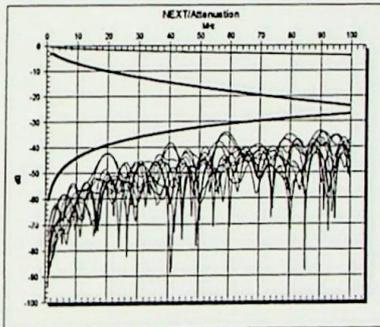
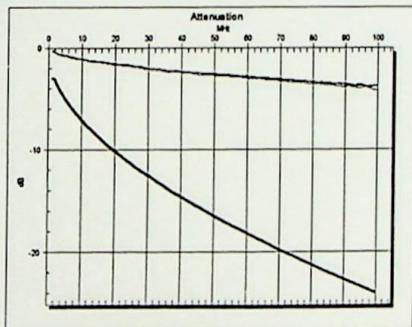
21.4 m



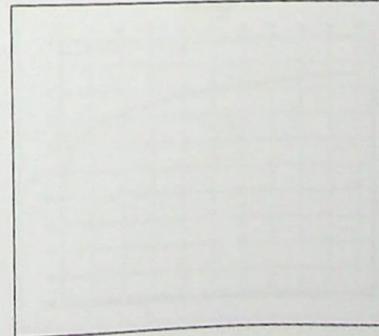
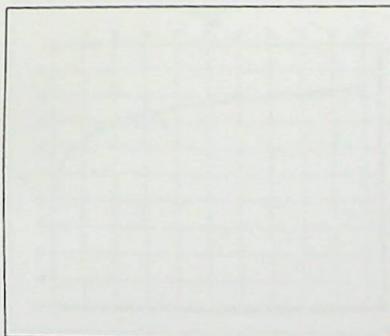
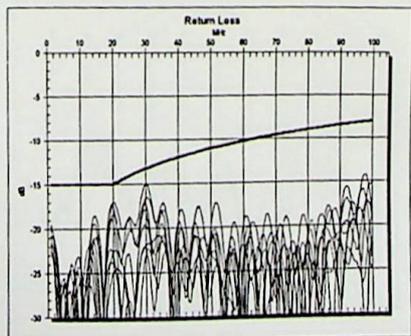
Atraso (ns): 97
 Skew (ns): 4
Pinagem
 OMNI: 12345678
 Remote: 12345678

Resistência (Ohms): ---
 Largura de banda (MHz): ---
Atual
 12345678
 12345678

	Atenuação	NEXT	ACR	PSNEXT	PSACR
Margem sobretudo (dB)*	19.8	3.1	---	---	---
	<u>Omni</u>	<u>OMNI:</u> <u>Remote:</u>	<u>OMNI:</u> <u>Remote:</u>	<u>OMNI:</u> <u>Remote:</u>	<u>OMNI:</u> <u>Remote:</u>
Pior par	36	12/36 12/36	---	---	---
Valor (dB)	3.9	34.3 42.3	---	---	---
Margem (dB)	19.8	3.1 3.1	---	---	---
Freq. (MHz)	97.9	58.5 19.4	---	---	---



	Perda por	ELFEXT	PSELFEXT
Margem sobretudo (dB)*	1.9	9.6	10.4
	<u>OMNI:</u> <u>Remote:</u>	<u>OMNI:</u> <u>Remote:</u>	<u>OMNI:</u> <u>Remote:</u>
Pior par	12 78	45/36 36/45	45 45
Valor (dB)	18.8 15.1	67.0 66.9	65.4 65.1
Margem (dB)	8.6 1.9	9.6 9.6	10.7 10.4
Freq. (MHz)	60.8 30.4	1.0 1.0	1.0 1.0



*Valor sobretudo da margem é a pior margem para o OMNI e o Remote



OMNIScanner2 Reportagem da certificação

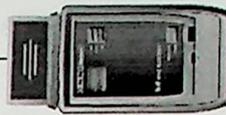
ID de circuito: p04-antes
Projeto: TIA Project
Proprietário: SUPPORT INFORMATICA
Autotest: *Cat5 Chan TSB95*
Cabo: Cat 5 UTP
NVP: 72
Sítio: ---
Predio: ---
Chão: ---
Armario: ---

OMNIScanner
 50D00E00180 SW: V04.00
Adaptador
 CHAN 5/5E/6

OMNIRemote
 50E00D00069
Adaptador

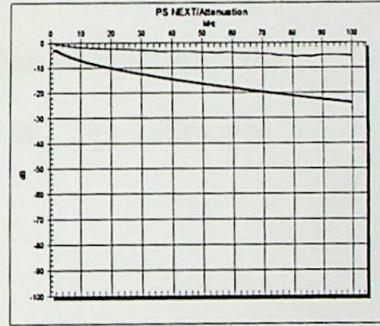
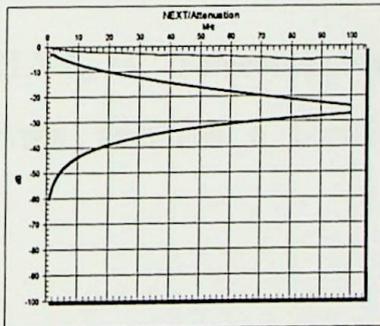
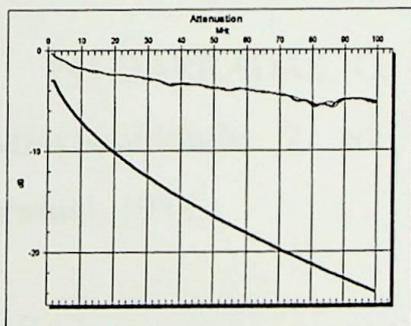


26.4 m

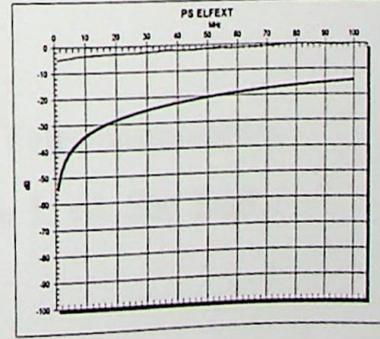
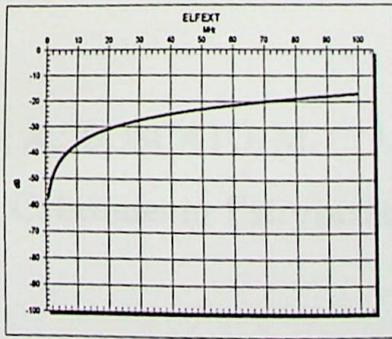
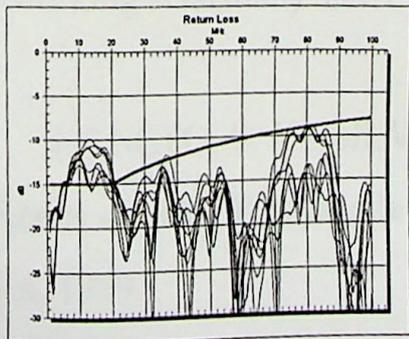


Atraso (ns):	120	Resistência (Ohms):	---
Skew (ns):	1	Largura de banda (MHz):	---
Pinagem	<u>Esperado</u>	<u>Atual</u>	
OMNI:	12345678	12345678	
Remote:	12345678	12345678	

Margem sobretudo (dB)*	Atenuação	NEXT		ACR		PSNEXT		PSACR	
	Omni	OMNI:	Remote:	OMNI:	Remote:	OMNI:	Remote:	OMNI:	Remote:
Pior par	45	---	---	---	---	---	---	---	---
Valor (dB)	5.8	---	---	---	---	---	---	---	---
Margem (dB)	15.6	---	---	---	---	---	---	---	---
Freq. (MHz)	80.5	---	---	---	---	---	---	---	---



Margem sobretudo (dB)*	Perda por		ELFEXT		PSELFEXT	
	OMNI:	Remote:	OMNI:	Remote:	OMNI:	Remote:
Pior par	45	78	---	---	---	---
Valor (dB)	19.2	13.4	---	---	---	---
Margem (dB)	-0.1	2.7	---	---	---	---
Freq. (MHz)	74.7	53.1	---	---	---	---



*Valor sobretudo da margem é a pior margem para o OMNI e o Remote

Referências Bibliográficas

- [1] SOARES, Luiz F.; LEMOS, Guido; COLCHER, Sérgio. **Redes de Computadores, das LAN's, MAN's e WAN's às Redes ATM.** 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- [2] CHIOZZOTTO, Mauro; DA SILVA, Luiz A. P.. **TCP/IP – Tecnologia e Implementação.** 1. ed. São Paulo: Érica, 1999.
- [3] BARRELLA, G.. **TCP/IP – Solução para Conectividade.**1. ed. São Paulo: Érica, 1993.
- [4] BARRADAS, O.; SILVA, G.. **Telecomunicações – Sistemas de Radiovisibilidade.** 2. ed. Livros Técnicos e Científicos, pp. 296-304. Embratel, 1978.
- [5] FLUKE CORPORATION. **Fundamentals of Cable Testing.** USA, 2000.
- [6] CISCO SYSTEMS INC.. Module I, CCNA (Cisco Certified Networking Assistant). USA, 1999.
- [7] NETO, S. V.; SILVA, A.; BOSCATO, M. C. J.. **Telecomunicações – Redes de alta Velocidade e Cabeamento Estruturado.** 1. ed. São Paulo: Érica, 1999.

- [8] POLICOM. **Cabling News n° 10**. Publicação Técnica, 1999.
- [9] POLICOM. **Cabling News n° 13**. Publicação Técnica, 2000.
- [10] POLICOM. **Cabling News n° 15**. Publicação Técnica, 2000.
- [11] MICROTEST CORPORATION. **Manual Técnico OMNISCANNER II**. USA, 2000.
- [12] EIA/TIA. **Technical Service Bulletin #67**. version 13, 1995.
- [13] EIA/TIA-568-A-5. **Transmission Performance Specifications for 4-Pair 100 Ohms Category 5e Cabling**. Addendum No. 5, February, 2000.
- [14] POLICOM. **Cabling News n° 8**. Publicação Técnica, 1998.