

Capítulo 1

Linha Digital do Assinante

1.1 Considerações Iniciais

A tecnologia DSL, que utiliza a infra-estrutura telefônica existente, surgiu devido a necessidade de ser oferecer ao usuário final um conteúdo eletrônico, tal como a Internet. Tal tecnologia permite o transporte de dados em banda larga, o que resulta em ofertas de serviços com certa qualidade e baixo custo (comparada com outras tecnologias).

Neste capítulo, a tecnologia DSL será apresentada, bem como serão abordadas suas principais características. Será discutida a Qualificação do Enlace do Assinante, como meio usado para indicar possíveis problemas que podem limitar a qualidade dos serviços fornecidos ao assinante.

1.2 Tecnologia DSL

A tecnologia DSL, surgiu em 1989 da evolução dos sistemas RDSI (Redes Digitais de Serviços Integrados). Trata-se de uma tecnologia que usa as linhas telefônicas de cobre existentes e provê uma conexão à Internet dedicada e com alta velocidade. Uma das grandes vantagens de alguns sistemas DSL está no fato de que eles podem coexistir na mesma linha com o serviço telefônico de voz tradicional, ou POTS (*Plain Old Telephone Service*) [1]. Isso é conseguido utilizando-se faixas de frequência diferentes da faixa de voz (que vai de 0 a 4 kHz). Essencialmente, isso resulta em duas linhas em uma: uma para o POTS, e uma para a conexão com a Internet.

O fato de que a estrutura telefônica, baseada em circuitos chaveados, conhecida como *Public Switched Telephony Network* (PSTN) foi concebida para transportar sinais de voz e, ocupando apenas às baixas frequências, permite que se utilizem as altas frequências para outro tipo de transmissão. Com isso, é possível a transmissão de voz e dados em banda larga simultaneamente em um mesmo par trançado de cobre, uma vez que tais transmissões serão feitas em faixas de frequências diferentes.

Em sistemas DSL, a CO (*Central Office*) é responsável por prover o acesso à rede e isto é feito por meio de um equipamento chamado DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*). O DSLAM está ligado a uma rede de alta velocidade, que está ligada a um *backbone*; que por sua vez provê a ligação com a Internet. O DSLAM tem a função de transportar o sinal recebido da rede em que está ligado através do par trançado de cobre, que por sua vez, interliga a central ao assinante [2]. A Figura 1.1 mostra uma visão geral de um sistema DSL.

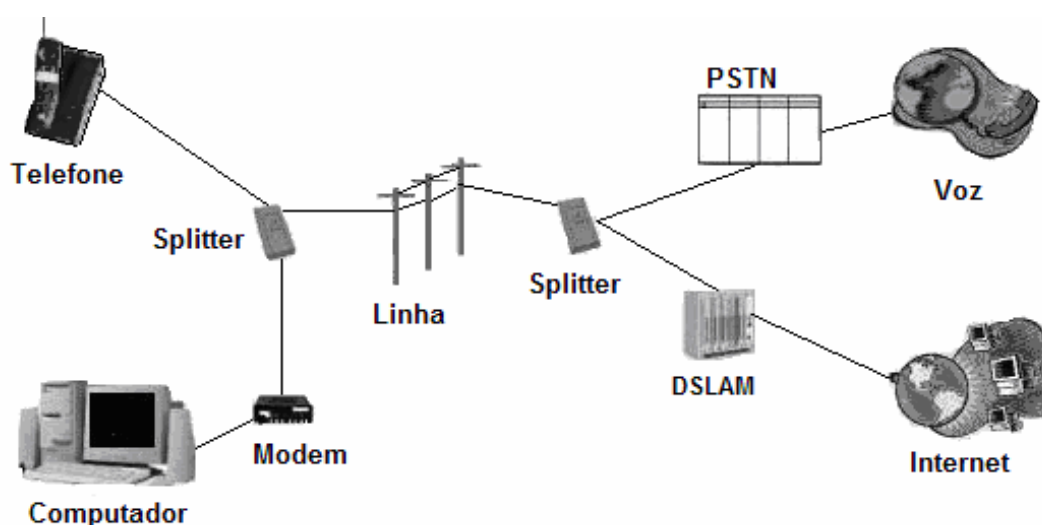


Figura 1.1: Visão geral de um sistema DSL.

1.3 A Família xDSL

Existem vários tipos de tecnologias DSL a serem escolhidas. A seleção de uma delas depende de múltiplos fatores: tipo de serviços oferecidos; topologia dominante da rede já existente; planos para o surgimento de novos serviços no futuro. Justamente por esta variedade de tipos, costuma-se empregar o acrônimo xDSL, onde o “x” substitui uma ou mais letras. A Figura 1.2 mostra uma arquitetura para as famílias xDSL. Pela figura, vê-se que existem dois tipos de DSL: simétrico e assimétrico. Os tipos simétricos transmitem dados com a mesma largura de banda nos dois sentidos (assinante-central e central-assinante) e nos tipos assimétricos a largura de banda é maior para transmissão dos dados no lado do usuário. Isto por que, a Internet doméstica é considerada em primeiro lugar, um serviço para *download*. Cada uma destas tecnologias oferece taxas diferentes de transmissão e recepção, bem como possuem características próprias, que incluem número de pares de fios empregados e

distâncias máximas de transmissão. Por exemplo, os usuários domésticos que desejam usufruir da alta largura de banda para o acesso à Internet, são melhores servidos pelos serviços assimétricos, pois, em geral, a própria natureza desse tráfego é assimétrica. Por outro lado, usuários corporativos, como filiais de empresas e provedores de conteúdo, devem usar os serviços simétricos.

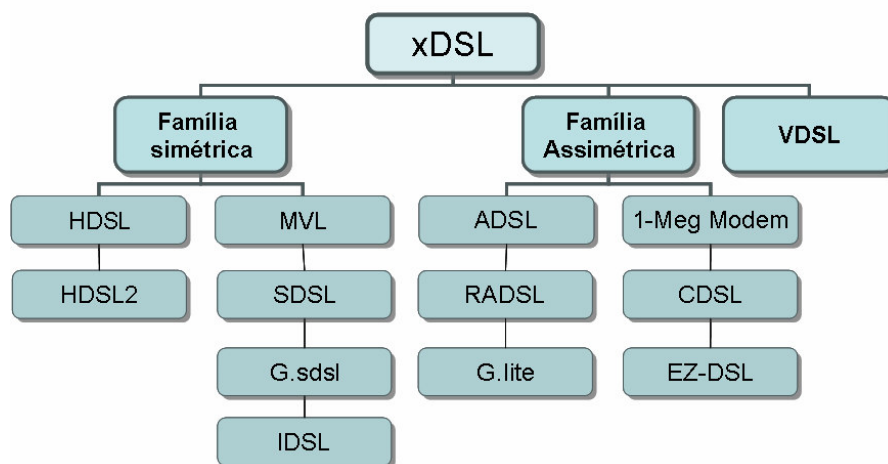


Figura 1.2: Família xDSL.

A ênfase desse trabalho será voltada para as famílias cujos conceitos são apresentados a seguir.

1.3.1 Família ADSL

ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) tem uma maior largura de banda para *downstream* (CO para assinante) do que para *upstream* (assinante para CO). Dessa forma, em geral, é mais aplicada a consumidores residenciais, visto que na maioria das vezes esses consumidores buscam por informação digital na rede. A taxa de bits para *downstream* varia de 256 kbps até 9 Mbps enquanto que a taxa de bits para *upstream* varia de 16 kbps até 640 kbps [3]. A transmissão ADSL pode alcançar distâncias entre CO e assinante da ordem de 5,5 km, entretanto, as taxas de bits são menores para essa distância máxima.

O ADSL, usualmente, utiliza a banda de frequência de 25 kHz até 1,104 MHz enquanto que o POTS usa a banda de 300 Hz até 3,4 kHz. Hoje em dia, a maioria dos modems ADSL usa técnicas DMT (*Discrete Multi-Tone*) que é recomendado pelos padrões ADSL.

Dentre esses padrões, incluem-se o ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), o ANSI (*American National Standard Institute*) e o ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication*) G.992.1 [4] e G.992.2 [5]. Na transmissão DMT, a banda de frequência (0 Hz até 1,044 MHz) é dividida igualmente em sub-canais ou sub-portadoras, frequentemente referenciada por tom. Isso equivale a 256 tons. Cada tom ocupa 4,3125 kHz da largura de banda. 32 tons são alocados para a banda de *upstream* e cerca de 250 tons são usados para a banda *downstream*.

1.3.2 Família VDSL

A família VDSL (*Very High bit-rate Digital Subscriber Line*) foi desenvolvida para proporcionar aos usuários alta velocidade de transmissão nas frequências até 30 MHz e taxa de bits da ordem de 52 Mbps. O VDSL pode operar em altas taxas de bits apenas para pequenas distâncias, da ordem de 1370 m e são conectados aos *backbones* de fibra óptica de alta velocidade. A topologia básica de um sistema VDSL consiste em: uma unidade óptica – ONU (*Optical Network Unit*), a unidade transmissora VDSL no lado do assinante – VTU-R (*VDSL Transmission Unit at Remote side*) e a unidade transmissora VDSL no lado da unidade óptica – VTU-O (*VDSL Transmission Unit at ONU side*).

A VDSL também pode coexistir com o POTS na mesma linha telefônica, como ocorre com a ADSL; entretanto, VDSL utiliza a banda de frequência de maneira diferente. A VDSL tem duas bandas para *downstream* duas bandas para o *upstream*, sendo a primeira banda (frequências mais baixas) utilizada para *downstream*, a segunda para *upstream*.

1.4 O Enlace Digital do Assinante

A infra-estrutura da linha telefônica, conhecida como planta do enlace, consiste de cabos de par trançados conectando a central a um assinante (CPE – *Customer Premise*). O enlace telefônico de par trançado é chamado de enlace local do assinante. O enlace do assinante, por possuir várias topologias de comprimentos variáveis e muitas vezes maiores que 3 km, é constituído de uma ou mais seções com cabos de diâmetros diferentes. Em destaque, a Figura 1.3 mostra uma representação de um enlace entre a central e o assinante, onde se observa a presença de um enlace com muitas seções, com diâmetros e comprimentos de diferentes.

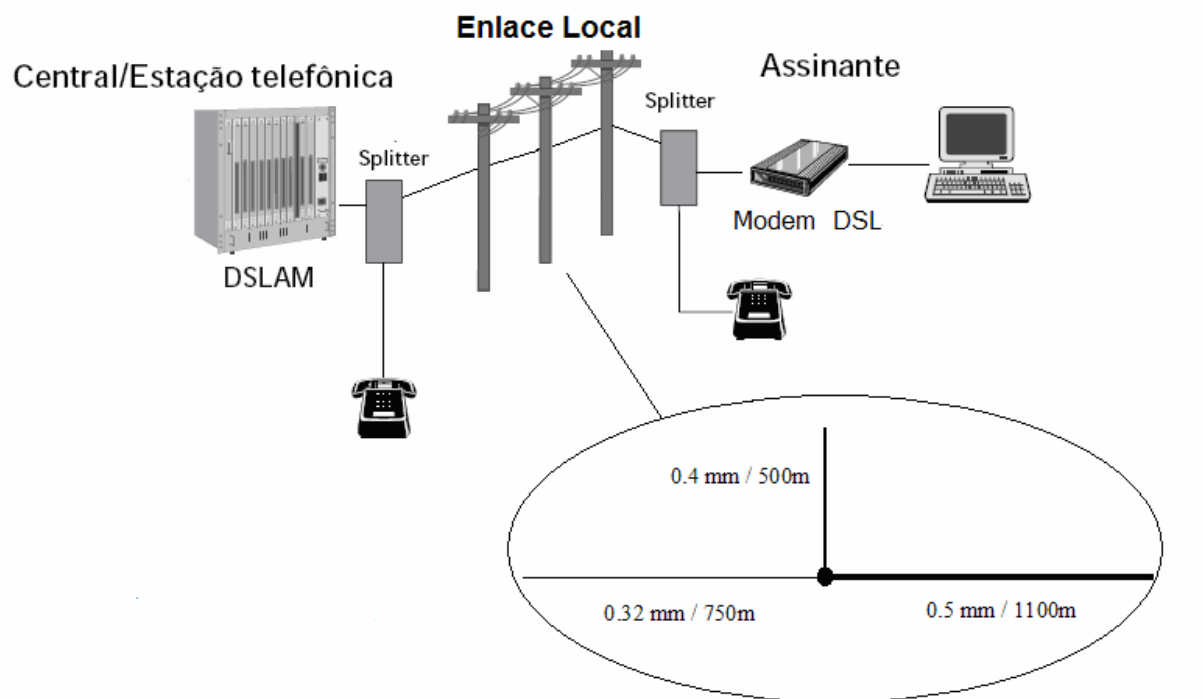


Figura 1.3: Enlace local entre a central e o assinante.

1.5 Vantagens e Desvantagens da Linha Digital do Assinante

1.5.1 Vantagens

Uma das principais motivações para o aparecimento da DSL foi a busca por uma tecnologia que permitisse elevadas taxas de transmissão de dados, para fazer face às capacidades dos *modems* por cabo, e permitindo a implementação rentável de Vídeo sobre Demanda e Internet através das linhas telefônicas. Em condições ideais, este objetivo foi amplamente atingido, com taxas de bits da ordem dos 8 Mb/s, mas mesmo com taxas mais baixas, há um ganho em relação às demais tecnologias.

No entanto, a capacidade de transporte da DSL varia muito com a distância, taxas de 6 Mb/s podem ser atingidas entre 3 a 4 km, e as taxas mais baixas encontram-se quanto maior for a distância, 1,5 a 2 Mb/s para cerca dos 5 km. Segundo testes, ainda se pode atingir distâncias de cerca de 9 km; e se o meio de transmissão usado for a fibra óptica pode-se atingir taxas de 52 Mb/s e 155 Mb/s. Sem dúvida, é uma das vantagens em relação à RDSI.

1.5.2 Desvantagens

A tecnologia DSL também tem os seus problemas. Um deles surge devido à distribuição das capacitâncias e resistências ao longo da linha, o que provoca grandes atenuações e distorções para a banda dos sinais de voz. Para resolver este problema ao longo das linhas, foram introduzidas bobinas indutivas de modo a compensar o efeito capacitivo, proporcionando uma boa comunicação dos sinais de voz.

O problema para DSL está no fato de que para frequências superiores a 4 kHz, as atenuações são grandes, daí a necessidade da remoção dessas bobinas de algumas linhas, para permitir comunicações de alta velocidade. Esta distribuição de capacitâncias e resistências ao longo das linhas é a que provoca o aumento da atenuação com a distância para as altas frequências, provocando assim a variação das taxas de transmissão. Outro problema com sinais em altas frequências é a dispersão do sinal, este efeito é causado devido às frequências que se propagam com velocidades diferentes ao longo da linha. Os efeitos da dispersão agravam-se com o aumento da frequência e do comprimento da linha.

Outro problema muito grave para as transmissões DSL, e outros sistemas que usam as altas frequências, são as interferências causadas por *crosstalk*, que são causadas pelos transmissores presentes nas linhas, os quais geram impulsos de mesma frequência, causando interferência com os sinais recebidos.

O cenário descrito acima parece indicar um ambiente catastrófico para a utilização da infra-estrutura telefônica, para fins de transmissão de dados em altas velocidades e altas frequências.

Porém, a tecnologia de acesso DSL é amplamente utilizada hoje. Para tanto, técnicas e métodos foram desenvolvidos para viabilizar o seu uso sobre pares de fios de cobre da rede telefônica. Tais técnicas são metodologias usadas pelo provedor de serviço, para indicar o estado operacional do enlace e apontar uma ação para os possíveis problemas identificados.

Dentro deste contexto, surgiu a técnica conhecida como Qualificação do Enlace, a qual será assunto da próxima seção.

1.6 Qualificação do Enlace Digital do Assinante

O estado operacional da linha do assinante reflete o propósito inicial para a qual foi projetada, ou seja, a sua construção está relacionada com as necessidades do sistema telefônico tradicional (POTS). Dessa forma, algumas características e elementos instalados no enlace local com o intuito de melhorar a qualidade do serviço telefônico, acabam por prejudicar ou afetar o desempenho, ou até mesmo inviabilizar a instalação do serviço DSL. Dentre esses elementos destacam-se as bobinas de pupinização (*load coil*), as derivações (*bridged tap*), e mudanças de cabos no enlace.

Antes da instalação do serviço DSL, as operadoras procuram obter a maior quantidade possível de informação do enlace local a fim de avaliar o estado operacional da linha e, conseqüentemente, adequá-la (se for o caso), para que o desempenho do serviço DSL não seja prejudicado. A obtenção dessa informação garante a boa operação e a rápida instalação, além de evitar futuras frustrações por parte do assinante com o baixo desempenho do serviço. Assim, a obtenção de informação do enlace local visa também manter a qualidade do serviço já em operação para um assinante específico.

Dentro desse contexto surge a qualificação do enlace, que é um conjunto de técnicas, as quais visam avaliar as capacidades de um enlace local específico de suportar e manter as exigências de um serviço DSL. Dentre essas técnicas destacam-se: medições em nível de camada física e simulações por meio de modelos matemáticos, que identificam um determinado enlace. No que se referem às medições, estas podem ser realizadas tanto no lado da CO como no lado do assinante (com a presença física ou não de um técnico da operadora) com equipamentos dedicados de medidas, ou através de *modems* e DSLAMS. Dessa forma, definem-se as técnicas de monitoramento em uma extremidade do enlace – SELT e as técnicas de monitoramento nas duas extremidades do enlace – DELT.

Adicionalmente, com a Qualificação do Enlace, é possível, através das medições realizadas e testes feitos pelas operadoras, a construção de um banco de dados, onde as informações armazenadas servem para comparações com outras bases de dados, para proverem uma ferramenta para monitorar e diagnosticar o desempenho do sistema DSL.

1.6.1 SELT

Os testes SELT são testes das características elétricas do enlace local realizadas por equipamento apropriado, sendo normalmente localizado no lado da CO [6]. Esses testes podem envolver a análise da reflexão de um pulso através do enlace local no domínio do tempo – TDR (*Time Domain Reflectometry*) ou no domínio da frequência – FDR (*Frequency Domain Reflectometry*). As técnicas SELT necessitam de menos tempo e custo financeiro, visto que não há a necessidade de enviar um técnico à residência do assinante. Entretanto, esses testes são mais dependentes do nível do ruído no receptor, visto que os sinais de testes devem se propagar por todo o enlace [7].

1.6.2 DELT

Os testes DELT são testes das características elétricas do enlace local que são realizados em ambos os lados, do assinante e da CO. Esses testes são realizados com auxílio da combinação de *modems* xDSL em cada extremidade do enlace, sendo o da CO o *modem* de referência. Vale ressaltar que o *modem* do assinante deve ser compatível com os padrões ADSL2 que suportam as técnicas DELT [8] e [9]. A Figura 1.4 ilustra os testes SELT e DELT. No teste DELT, a unidade de teste faz referência a um *modem* ou equipamento dedicado de medição que pode ser controlado remotamente. No SELT, os testes dependem apenas da central de operação.

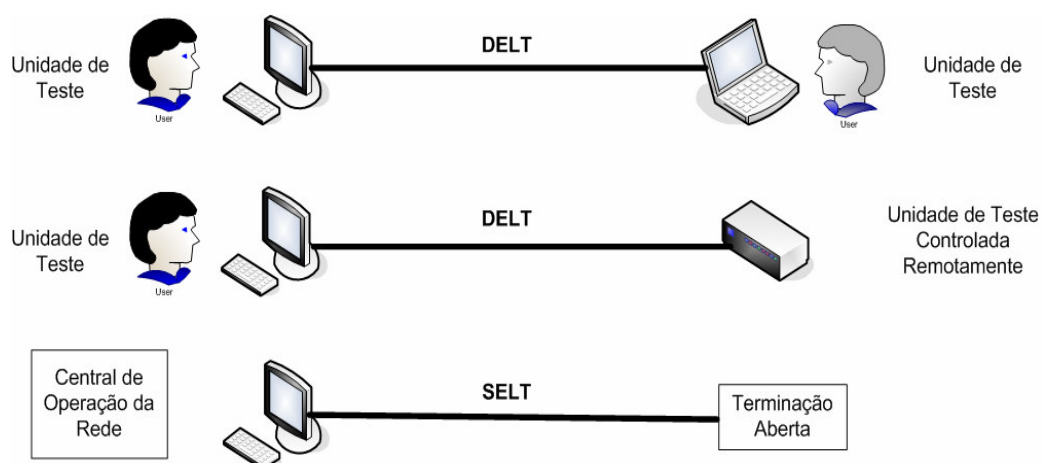


Figura 1.4: Configurações de Testes SELT e DELT [8].

1.7 Principais Problemas no Enlace do Assinante que Impactam nos Serviços Oferecidos pela Tecnologia DSL

Quando um assinante solicita para a operadora um certo serviço que utiliza a tecnologia DSL, a primeira coisa que ela deve fazer é verificar se a linha desse assinante pode suportar este serviço. A Qualificação do Enlace difere para cada assinante, dado que ela depende da topologia entre o assinante e a operadora. Conforme foi descrito na seção 1.4, muitas topologias são encontradas, mas tipicamente um enlace do assinante consiste de seções de cabos, possivelmente com diâmetros e comprimentos diferentes, conectados um ao outro. Além disso, existem outros fatores limitantes na oferta dos serviços DSL a serem considerados, como descrito na seção 1.6. Essas limitações são detalhadas a seguir.

1.7.1 Bobinas de Pupinização (*Load Coil*)

Bobinas de pupinização são pequenos transformadores usados como filtros passa-baixas, localizados ao longo do enlace do assinante para equilibrar a resposta em frequência na transmissão do sinal de voz [8]. Esses filtros são considerados uma catástrofe para serviços de banda larga, dependentes das altas frequências atenuadas drasticamente.

As bobinas de pupinização foram inicialmente usadas nos serviços POTS para tornar a resposta em frequência equilibrada e ainda diminuir a atenuação da linha. Mas, para o DSL, as bobinas de pupinização são consideradas como um fator limitante no desempenho e na qualidade dos seus serviços, pois, para as transmissões dos serviços DSL que trabalham com sinais acima da banda de voz elas aumentam a atenuação da linha.

Como consequência dos fatores citados anteriormente, é importante detectar e remover todas as cargas indutivas ao longo do enlace para se alcançar uma boa taxa de bits na transmissão dos serviços DSL.

1.7.2 Grande Comprimento do Enlace e a Atenuação

À medida que se aumenta o comprimento da linha de transmissão, o sinal também sofre um aumento na sua atenuação. Essa perda de potência do sinal transmitido devido à presença do enlace é conhecida como perda por inserção (*Insertion Loss*) [10]. Quanto maior o comprimento, maior a atenuação do sinal. Um problema prático é o da estimação da perda

por inserção, a qual é feita pela central telefônica a fim de se conhecer quanto de potência chega até seu assinante. Para os sistemas DSL, a perda devido à presença da linha se torna muito grande para linhas a uma distância acima de 5,5 km da central, tornando impraticável a implantação do serviço DSL [7].

O comprimento da linha é um fator preocupante na tarefa de qualificação, pois mesmo que a linha não possua uma terminação em curto ou aberto, ou até mesmo uma *bridged tap*, o próprio cabo telefônico possui perdas [11]. Quanto maior o comprimento da linha maior a perda, resultando em taxas de transmissões baixas, conforme se observa na Figura 1.5. Diante desse fator, nota-se que a taxa de transmissão em serviços DSL alcançável é inversamente proporcional ao comprimento da linha, sendo importante conhecer o comprimento da linha para se estabelecer taxas de transmissão suportadas por ela.

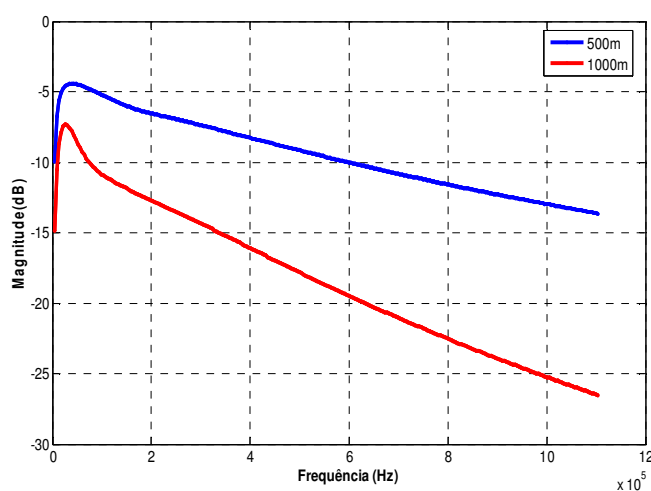


Figura 1.5: Curva de Transferência para Enlace com comprimentos diferentes.

1.7.3 Derivações (*Bridged Taps*)

As *Bridged taps* são derivações de fios em aberto que estão em paralelo com a linha do assinante. Elas se formam quando ocorrem mudanças na linha, deixando derivações desnecessárias presas a ela. As *bridged taps* podem existir entre a central e o assinante, ou até mesmo além do assinante. O efeito negativo dessas *bridged taps* nos serviços DSL está diretamente relacionado à sua localização, ao seu comprimento, ao seu diâmetro, ao tipo de serviço e à frequência utilizada. Algumas *bridged taps* podem ser toleradas, dependendo da sua localização e do serviço que será operado na linha.

O problema é que parte do sinal transmitido passa pela derivação e é refletido por sua terminação em aberto, voltando atrasado para a linha principal, fato esse que possivelmente

causará interferência com o sinal não atrasado. Contudo que a linha seja usada estritamente para POTS, esta reflexão é aceitável, desde que o tempo de atraso seja bastante curto para que o ouvido humano possa perceber e o comprimento da derivação esteja longe do tamanho do comprimento de onda dos sinais de baixa frequência. Por outro lado, para serviços de banda larga, isto causa alguns problemas, como perdas e distorções no sinal no enlace. Algumas das altas frequências podem ser extintas por conta de interferência negativa. A Figura 1.6 ilustra o efeito de uma derivação nos sinais transmitidos.

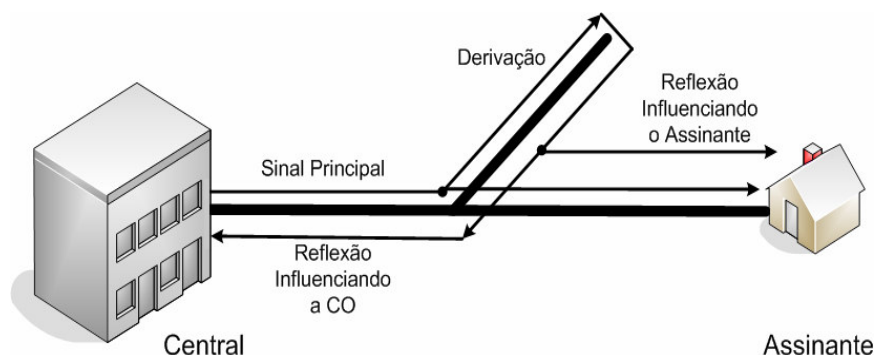


Figura 1.6: Efeito da derivação em um sinal transmitido [7].

Em um enlace DSL sem derivações, e considerando a terminação casada com a linha, a função de transferência decai de forma monotônica com o aumento da frequência. Entretanto, quando uma derivação está presente no enlace, a função de transferência apresentará oscilações periódicas resultando em perdas na capacidade de transmissão. Na Figura 1.7 é possível notar essas oscilações quando se comparar as curvas da função de transferência para enlaces com e sem *bridged taps*.

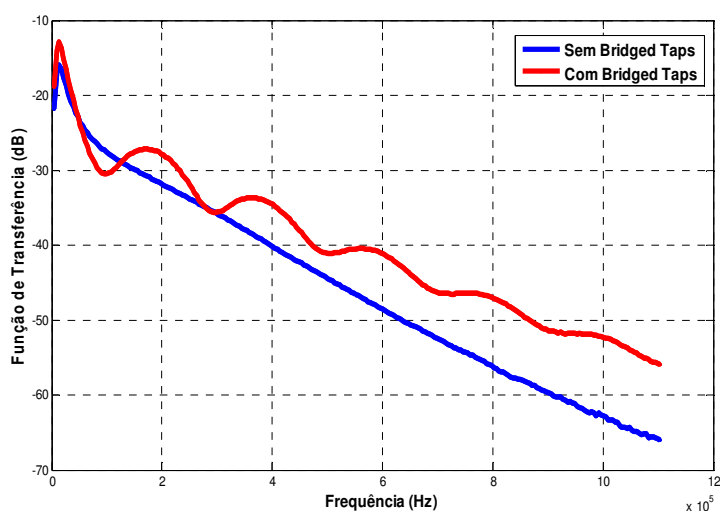


Figura 1.7: Função de Transferência com e sem *bridged taps*.

Uma técnica para detectar e localizar uma *bridged tap* é feita através da função de transferência do enlace do assinante. Nesta técnica a presença de um nulo periódico na função de transferência indica a presença de uma *bridged tap* no enlace [12].

A presença de uma derivação pode ser descoberta de modo que a frequência do primeiro nulo seja usada para estimar a comprimento da *bridged tap*. Quando uma simples *bridged tap* está presente no enlace, os nulos da função de transferência aparecem nas frequências onde o comprimento é igual a um número ímpar de um quarto do comprimento de onda [13 e 20].

Para detectar a presença de uma *bridged tap* em um enlace telefônico, utiliza-se uma metodologia similar às técnicas descritas acima [21]. No trabalho, a resposta ao impulso é feita pela IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) para detectar a presença de uma imperfeição ao longo do enlace. As reflexões causadas pelas *bridged tap*, as terminações em circuito aberto da *bridged tap* e a sua impedância são utilizadas para determinar a localização e o comprimento da mesma e também serve para estimar o comprimento total do enlace.

1.7.4 Mudança da Bitola

Todo o meio físico de transmissão sofre influências do meio externo, acarretando em perdas de desempenho nas taxas de transmissão. Essas perdas podem ser atenuadas limitando a distância entre os pontos a serem ligados. Nos cabos telefônicos, um fator determinante dessas perdas é a indução eletromagnética nos seus condutores.

Diante disso, a qualidade da linha de transmissão que utiliza os pares de fios trançados depende basicamente da qualidade dos condutores empregados e da bitola dos cabos (quanto maior a bitola, menor a resistência ôhmica por quilômetro).

Nos sistemas DSL, a consequência na mudança de bitola do cabo ao longo da linha provoca reflexões que irão atenuar o sinal. Essa atenuação aumenta com a frequência e com o comprimento da linha. De acordo com o serviço utilizado, diferentes bitolas podem ser encontradas na linha do assinante. Segundo as recomendações utilizadas pelos padrões ADSL, ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), ANSI (*American National Standard Institute*) e TELEBRÁS, as bitolas encontradas são:

- ETSI: 0,32 mm/0,4 mm/0,5 mm/0,63 mm/0,9 mm.
- ANSI: 19 AWG/22 AWG/24 AWG/26 AWG, onde AWG (American Wire Gauge).

- TELEBRAS: 0,3 mm/0,4 mm/0,5 mm/0,65 mm/0,9 mm.

A Tabela 1.1 indica a correspondência entre AWG, diâmetro do cabo e a resistência DC (em *Ohms* por quilômetro) [14]. A resistência do enlace é um importante parâmetro, visto que ela determina o comprimento máximo do enlace. Cabos muito finos têm uma alta resistência e normalmente são utilizados para enlaces curtos. Devido a sua baixa resistência, cabos mais grossos são utilizados para enlaces mais longos.

Tabela 1.1: Características Comuns das Bitolas dos Cabos de Par Trançado.

AWG	Diâmetro do cabo (mm)	Resistência do Enlace (Ω/km) a 20 ⁰ C
19	0,9	55
22	0,63	111
24	0,5	175
26	0,4	281

Conforme descrito anteriormente, a atenuação na transmissão de um serviço DSL é inversamente proporcional ao diâmetro do cabo utilizado. A Figura 1.8 mostra esse comportamento para vários cabos com tamanhos diferentes, mas com comprimentos iguais. O cabo com diâmetro de 0,9 mm apresenta uma menor atenuação em relação aos outros, ou seja, possui menor perda em dB na potência do sinal transmitido.

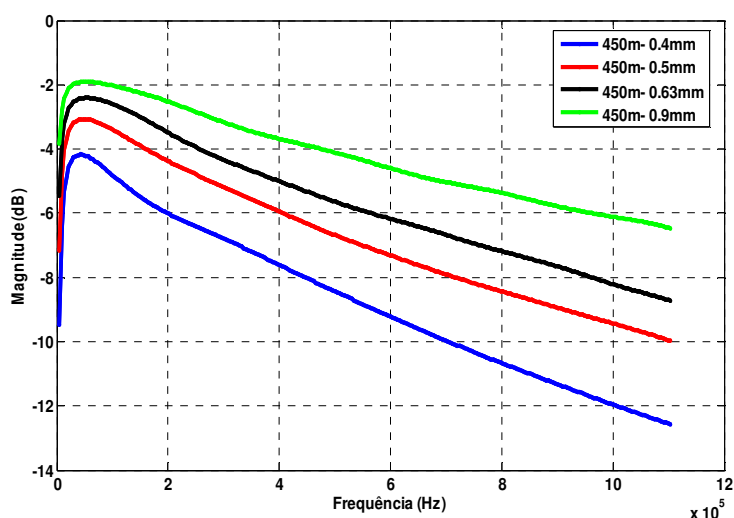


Figura 1.8: Curvas de Transferência do Sinal Transmitido.

Uma maneira de observar a mudança de bitola em um enlace é analisar o decaimento presente no sinal TDR. O efeito do descasamento de impedância causado pela mudança de

bitola ao longo do enlace é estudado através da função de transferência do canal [15]. A mudança de bitola causa uma descontinuidade na curva da função de transferência, mas essa descontinuidade é somente observada pela reflexão presente no sinal TDR. Porém, uma vez observada essa reflexão é possível estimar a bitola do enlace.

1.7.5 Crosstalk

Na rede telefônica, vários pares trançados de cobre são colocados juntos em um mesmo cabo chamado de *binder*. Sistemas adjacentes dentro do *binder* podem transmitir ou receber informações na mesma faixa de frequências, fato esse que pode gerar uma interferência por *crosstalk* significativa. Isso ocorre pelo fato de que os sinais induzidos pelo efeito de *crosstalk* se combinam com os sinais originalmente transmitidos pelo enlace. O resultado é uma forma de onda diferente da originalmente transmitida.

O efeito de *crosstalk* pode ser dividido em duas categorias. *Crosstalk* causado por extremidades próximas, conhecido como NEXT (*Near End Crosstalk*), é o mais significativo, justamente pelo fato de que a alta energia de um sistema adjacente induz um *crosstalk* significativo no sinal primário. A outra forma é o *crosstalk* causado por extremidades mais afastadas, conhecido com FEXT (*Far End Crosstalk*), que é tipicamente menor, pois a interferência da extremidade mais afastada é atenuada no decorrer do enlace. Existem também o *Self-NEXT*, funcionando no mesmo tipo de xDSL e no mesmo *binder* de cabos, e *Foreign-NEXT*, funcionando em tipos de xDSL adjacentes. A Figura 1.9 ilustra o esquema do NEXT e do FEXT [16].

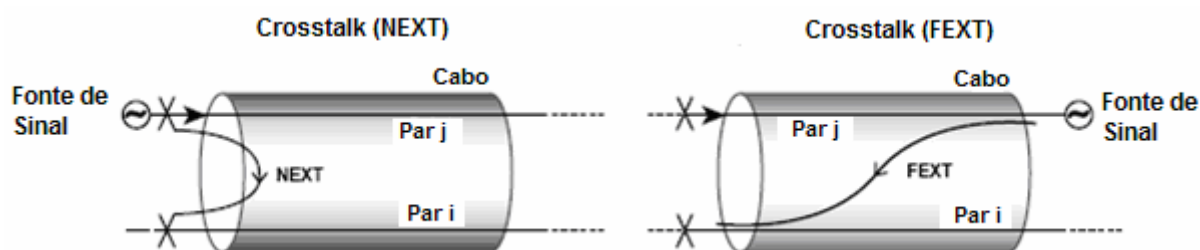


Figura 1.9: Esquema de NEXT e FEXT [11].

Existem três modelos matemáticos de *crosstalk* amplamente utilizados na literatura. Um deles é chamado modelo NEXT [17]. Outro é o modelo NEXT simplificado, determinado por:

$$|H_{NEXT}(f, N)|^2 = N^{0,6} 0,8536 \times 10^{-14} (f / 1Hz)^{1,5} \quad (1.1)$$

onde N é o número de pares do enlace, f é a frequência.

O terceiro modelo é conhecido como ETSI, o qual também é similar ao modelo NEXT, porém é um pouco mais sofisticado que o NEXT simplificado [18] [19]. O modelo de crosstalk ETSI é determinado por:

$$|H_{NEXT}(f, L, N)|^2 = N^{0,6} 10^{-5} (f / 1MHz)^{1,5} (1 - |s_{T0}(f, L)|^4) \quad (1.2)$$

onde $s_{T0}(f, L)$ é uma notação ETSI para a função de transmissão do enlace, a qual, por simplificação, pode ser também denominado como $H_{channel}(f, L)$.

Os modelos NEXT e NEXT simplificado são geralmente utilizados como modelos nas aplicações norte americanas, enquanto o modelo de *crosstalk* ETSI é frequentemente usado nas aplicações européias.

Similar ao acoplamento NEXT, o acoplamento FEXT é dado por:

$$|H_{FEXT}(f, L, N)|^2 = N^{0,6} K_{FEXT} f^2 L |H_{channel}(f, L)|^2 \quad (1.3)$$

onde L é o comprimento do enlace (medido em pés – *feet*) e K_{FEXT} é uma constante. Para os cabos do padrão ANSI, a constante $FEXT$ é considerada como sendo [9]:

$$K_{FEXT} = 8,10^{-20} \quad (1.4)$$

Para os cabos europeus, a constante FEXT é considerada como sendo [14]:

$$K_{FEXT} = 10^{-4,5} \frac{1}{MHz^2 km} = 10^{-19,5} \quad (1.5)$$

1.8 Trabalhos Relacionados à Qualificação do Enlace

Diante dos problemas na oferta dos serviços DSL, muitas pesquisas foram desenvolvidas com intuito de melhorar a qualidade do enlace do assinante. No entanto, buscaram-se ainda novas metodologias que ajudem na solução desses problemas. Nesta seção serão descritos alguns desses trabalhos.

O trabalho [22] sugere a aplicação de um modelo denominado VBU0 para estimar a função de transferência do enlace, a partir das medidas dos parâmetros da linha. Esse modelo é validado com medidas e simulações para algumas topologias da rede, considerando um caso de uma rede simples, com uma *bridged tap* ou uma rede em cascata com duas seções.

Para cada situação acima descrita foi encontrado, a partir dos parâmetros primários e secundários, um modelo matemático para os parâmetros de espalhamento S_{11} e para a função de transferência $H(f)$. Através desse modelo, é possível se obter informações da topologia da rede, a qual é considerada inicialmente desconhecida.

Em [23], o problema da qualificação do enlace utilizando SELT é realizado através das técnicas convencionais TDR, a partir das limitações da natureza da linha do assinante. Nesse trabalho é analisado um algoritmo, considerando-se o conhecimento estatístico do enlace. A principal relação através do algoritmo proposto é a exploração determinística do uso de modelos do par trançado. Depois, os modelos foram validados através de experimentos. Ainda foram feitas simulações para comparar os resultados obtidos com a ajuda de TDR para escolher a topologia que mais se aproxima de uma situação verdadeira. Para validar os resultados, foram realizadas simulação através de técnicas computacionais e os resultados comparados com as medidas obtidas através de TDR. Essas simulações e medidas levam em conta diferentes situações referentes à mudança de bitola do cabo.

Assim como em [23], a referência [7] utiliza um modelo matemático do enlace do assinante, a partir das dos parâmetros impedância de entrada e função de transferência de diferentes cabos (bitolas) para estimar o comprimento do enlace através do uso de TDR. O modelo utiliza diferentes topologias de rede (com ou sem *bridged tap*) para validar o seu resultado. Esses resultados são comparados com as informações armazenadas nos banco de dados das operadoras.

Em [24], um sistema especialista para identificação e classificação do enlace local foi desenvolvido através do uso de TDR. O objetivo desse sistema foi estimar a capacidade teórica do canal do enlace, entre a central e o assinante, baseando-se nas medidas de TDR e da densidade espectral de potência do ruído a partir da central. Essas medidas são processadas

usando-se técnicas avançadas de processamento digital de sinais, inteligência artificial e identificação de sistemas para estimar a função de transferência, na qual são necessárias para estimar a capacidade do canal. O sistema ainda utiliza o modelo VBU0 baseado em uma rede de duas linhas.

No trabalho [15] é proposta uma técnica para avaliar a precisão do *loop make-up identification* (identificação e caracterização do enlace), sem qualquer conhecimento a priori da topologia do enlace. Essa técnica utiliza um método através da análise das medidas de TDR para avaliar e identificar um *single ended loop make-up*. O método consiste em estimar a função de transferência do canal; para isso foi desenvolvido um algoritmo que, através da extração do sinal TDR obtido, é capaz de estimar uma determinada topologia da rede. Essa estimativa é feita a partir do sinal refletido, ou seja, da diferença entre o sinal TDR medido e o sinal TDR simulado. Na segunda parte da referência [25] é feita uma extensão do trabalho a partir de uma avaliação do desempenho de tal algoritmo através de técnicas de TDR estendidas [23], que utilizam modelos de resposta ao impulso e algoritmos ML (*Maximum Likelihood* - Máxima-Probabilidade). Uma outra contribuição desse trabalho é uma implementação para uma estimativa de múltiplas topologias através dos registros das medições da *Bellcore's* de 1987-1990.

1.9 Considerações Finais

Este capítulo teve como objetivo uma fundamentação da linha digital do assinante e da técnica de qualificação do enlace DSL. Outro ponto importante foi a descrição dos principais problemas que influenciam na limitação dos serviços oferecidos. O intuito de se realizar testes de qualificação é analisar, através de simulações de modelos matemáticos e de medições, o estado físico da linha para se chegar a um diagnóstico seguro e eficaz, garantindo com isso uma boa qualidade dos serviços ao usuário final. Ainda neste capítulo, alguns trabalhos relacionados à qualificação do enlace foram brevemente descritos, mostrando as atuais linhas de pesquisas nesta área.

O próximo passo vai ser a abordagem da determinação teórica dos parâmetros relacionados à qualificação do enlace do assinante, os quais serão aplicados na metodologia proposta.