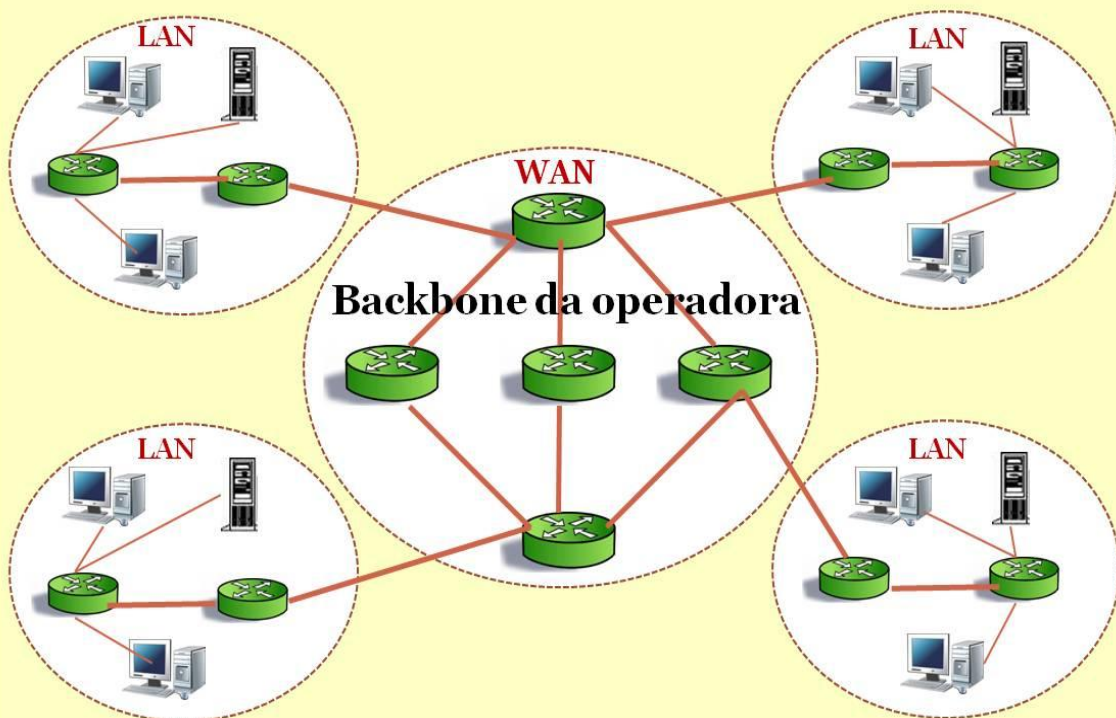


# Introdução às Redes WAN

## Redes de Computadores de Longa Distância



ITIT

Ademar Felipe Fey

4ª edição  
2018

**ADEMAR FELIPE FEY**

**INTRODUÇÃO ÀS REDES WAN:  
REDES DE COMPUTADORES DE  
LONGA DISTÂNCIA**

**4ª edição**

**Caxias do Sul  
Edição do autor  
2018**

## Resumo:

As Redes de Computadores de Longa Distância (WAN) surgiram inicialmente da necessidade de interligar as controladoras de terminais remotos aos computadores centrais, na década de 1970, e, posteriormente, da necessidade de interligar as redes locais de computadores entre si, na década de 1980. Atualmente a Internet é a rede WAN mais utilizada. No entanto, as redes WAN pioneiras nessa área (E1, X.25, Frame Relay, etc.) ainda são utilizadas ao redor do mundo. Este livro tem por objetivo uma introdução ao estudo das redes WAN, citando os conceitos e as características técnicas básicas dessas redes utilizadas para formação de redes empresariais de longa distância. O livro aborda também as novas tecnologias emergentes no âmbito das WANs. Além de questões teóricas em cada capítulo, um estudo de caso prático é tratado no último capítulo para desenvolver os conceitos teóricos estudados. As respostas são disponibilizadas no próprio livro.

Fey, Ademar Felipe.

Introdução às redes WAN: redes de computadores de longa distância / Ademar Felipe Fey. - 4. ed. - Caxias do Sul: 2018. 331 p.

ISBN 978-85-922651-5-1

© Ademar Felipe Fey

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução parcial ou total sem autorização por escrito do autor.

Nota: apesar dos cuidados e revisões, podem ocorrer erros de digitação, ortográficos e dúvidas conceituais. Em qualquer hipótese, solicitamos a comunicação para o e-mail [ademar.fey@gmail.com](mailto:ademar.fey@gmail.com), para que possamos esclarecer ou encaminhar a questão.

Nem o editor nem o autor assumem qualquer responsabilidade por eventuais danos ou perdas a pessoas ou bens, originados do uso desta publicação.

## **APRESENTAÇÃO**

Este livro é um esforço de pesquisa, tradução de artigos, reescrita de anotações de cursos realizados na Empresa Brasileira de Telecomunicações – EMBRATEL, material didático e apresentações elaboradas para as disciplinas de Interconexão de Redes (ETFAR – Farroupilha/RS), Comunicação de Dados (TECBRASIL – Caxias do Sul/RS) e Redes de Alta Velocidade (FTEC – Caxias do Sul/RS).

Esta é uma versão comercializada tanto na versão para livro impresso como na de e-book padrão PDF e é uma evolução de nosso livro/e-book “Introdução às Redes WAN: Redes de Computadores de Longa Distância”, na suas 1ª, 2ª e 3ª edição.

O entendimento dos assuntos abordados exigirá por parte do leitor um conhecimento básico de redes de computadores e do conjunto de protocolos dos modelos OSI e TCP/IP.

O objetivo deste livro é uma introdução geral às WAN (redes de longa distância) utilizadas para formação de redes corporativas (fins comerciais) desde a década de 1970 até nossos dias atuais.

Sugestões, críticas e pedidos de informações podem ser enviados para o e-mail do autor [ademar.fey@gmail.com](mailto:ademar.fey@gmail.com).

## **CONSIDERAÇÕES INICIAIS.**

Para atingir o objetivo proposto, de apresentar as Redes de Computadores de Longa Distância (WAN) e analisar tanto aspectos teóricos quanto práticos, a obra foi esquematizada como descrevemos a seguir.

No Capítulo 1 realizamos uma introdução às Redes de Longa Distância onde explicamos todos os conceitos fundamentais envolvidos no projeto e implementação de uma WAN (Wide Area Network).

No Capítulo 2 realizamos o estudo da WAN E1 (T1), seus princípios de comutação, suas características básicas, suas aplicações e a evolução desta tecnologia ao longo do tempo (esquema básico que iremos seguir nas demais tecnologias WAN).

No Capítulo 3 realizamos o estudo da WAN X.25 (Rede de Pacotes da ISO/ITU-T), seus princípios de comutação, suas características básicas, suas aplicações e a evolução desta tecnologia ao longo do tempo.

No Capítulo 4 realizamos o estudo da WAN ISDN (ISO/ITU-T), seus princípios de comutação, suas características básicas, suas aplicações e a evolução desta tecnologia ao longo do tempo.

No Capítulo 5 realizamos o estudo da WAN Frame Relay (ISO/ITU-T), seus princípios de comutação, suas características básicas, suas aplicações e a evolução desta tecnologia ao longo do tempo.

No Capítulo 6 realizamos o estudo da WAN ATM (Comutação por Célula da ISO/ITU-T), seus princípios de comutação, suas características básicas, suas aplicações e a evolução desta tecnologia ao longo do tempo.

No Capítulo 7 realizamos o estudo das Redes IP (Rede de Pacotes da IETF), seus princípios de comutação, suas características básicas, suas aplicações e a evolução desta tecnologia ao longo do tempo.

No Capítulo 8 realizamos o estudo das Redes MPLS (Comutação por Label), seus princípios de comutação, suas características básicas, suas aplicações e a evolução desta tecnologia ao longo do tempo.

No Capítulo 9 realizamos o estudo da tecnologia QoS utilizadas nas redes IP e MPLS (Qualidade de Serviço), seus princípios de funcionamento, suas características básicas, suas aplicações e a evolução desta tecnologia ao longo do tempo.

No Capítulo 10 realizamos o estudo da WAN Metro Ethernet (Ethernet Carrier), seus princípios de comutação, suas características básicas, suas aplicações e a evolução desta tecnologia ao longo do tempo.

No Capítulo 11 realizamos o estudo das Redes de Acesso Banda Larga Cabeadas, seus princípios de comutação, suas características básicas, suas aplicações e a evolução desta tecnologia ao longo do tempo.

No Capítulo 12 realizamos o estudo das Redes de Acesso Banda Larga Sem Fio, seus princípios de comutação, suas características básicas, suas aplicações e a evolução desta tecnologia ao longo do tempo.

No Capítulo 13 realizamos o estudo das novas tecnologias em Redes de Acesso Banda larga Cabeadas e Sem Fio.

No Capítulo 14 realizamos o estudo das novas tecnologias em Redes de Computadores de Longa Distância (WAN), tais como Cloud Computing, SDN e NVF.

No Capítulo 15 realizamos a implementação prática de uma rede WAN utilizando a tecnologia Frame Relay, com arquivos de configurações disponíveis ao comprador (veja instruções mais abaixo).

Por fim, objetivando consolidar os conceitos vistos em cada capítulo, disponibilizamos no final de cada um deles alguns exercícios que consideramos relevantes.

As respostas aos exercícios teóricos estão disponíveis no Anexo A deste livro e no final do estudo de caso prático indicamos o link para acesso à solução deste trabalho.

Esperamos que o livro contribua para a formação dos profissionais da área de cabeamento estruturado e que o leitor tenha uma boa leitura e um bom aprendizado.

## Prefácio da 3ª edição

Na 3ª edição foram realizadas as seguintes melhorias:

- Revisão total do texto;
- Atualizações em diversos capítulos;
- Desmembramento do capítulo de redes de acesso banda larga em dois capítulos: redes de acesso banda larga cabeadas e redes de acesso banda larga sem fio;
- Inclusão do capítulo do Metro Ethernet (Carrier Ethernet);
- Desmembramento de novas tecnologias em redes de acesso banda larga (WDM, G.Fast, PON, GFP, OTN) e novas tecnologias em redes WAN (VPLS, SDN e NVF);
- Objetivando consolidar os conceitos vistos em cada capítulo, disponibilizamos no final de cada um deles alguns exercícios que consideramos relevantes.

## **Prefácio da 4ª edição**

Na 4ª edição foram realizadas as seguintes melhorias:

- Revisão total do texto;
- Atualizações em diversos capítulos;
- Inserção de um projeto prático de rede WAN (simulador de redes);
- Disponibilização das respostas dos exercícios teóricos e da solução do estudo de caso proposto no próprio livro.

**No Anexo A você encontra as respostas para as questões teóricas e para conferir a solução do estudo de caso prático do capítulo final acesse o link [https://drive.google.com/file/d/1k8r2pTkQZmpnE4sC5a2InBMn24\\_3Jk-y/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1k8r2pTkQZmpnE4sC5a2InBMn24_3Jk-y/view?usp=sharing) e faça o download do arquivo.**

## **AVISOS**

É possível que algumas referências tenham sido omitidas, pois alguns textos impressos que foram traduzidos não continham os dados dos autores originais. Além disso, devido à natureza dinâmica da Internet, alguns links a outros textos traduzidos podem ter sido perdidos ou desatualizados.

Esta publicação pode conter imprecisões ortográficas e técnicas ou erros tipográficos. Periodicamente são feitas alterações nas informações aqui contidas; essas alterações serão incorporadas em novas edições da publicação. O autor pode fazer melhorias e/ou alterações nesta publicação a qualquer momento sem aviso prévio.

As informações contidas nesta publicação são de caráter informativo e de introdução ao assunto, sendo da responsabilidade do leitor buscar maiores informações se desejar aplicar os conhecimentos descritos nesta publicação numa situação prática, na área de sua atuação profissional.

A reprodução parcial ou completa é proibida sem autorização escrita do autor.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO ÀS REDES WAN .....</b>	<b>20</b>
1 INTRODUÇÃO .....	20
1.1 UM POUCO DE HISTÓRIA.....	20
1.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE UMA REDE WAN .....	21
1.2.1 - Velocidade de transmissão .....	21
1.2.2 Delay .....	22
1.2.3 Jitter.....	22
1.2.4 Meio de acesso .....	22
1.2.5 PPE .....	22
1.2.6 Backbone .....	23
1.2.7 Capilaridade .....	23
1.2.8 QoS .....	23
1.2.9 Topologia de uma Rede WAN.....	23
1.2.9.1 Topologia de Redes de Computadores.....	23
1.2.9.2 Topologia física .....	25
1.2.9.3 Topologia Lógica .....	27
1.2.9.3.1 Topologia lógica de mídia compartilhada .....	27
1.2.9.3.2 Topologia lógica baseadas em Token .....	28
1.3 APLICAÇÕES DE UMA REDE WAN .....	32
1.4 TÉCNICAS DE COMUTAÇÃO DE DADOS .....	32
1.4.1 Comutação de Circuitos .....	32
1.4.2 Comutação de Mensagens.....	33
1.4.3 Comutação de Pacotes .....	34
1.4.3.1 Comutação de Pacotes – Redes sem Conexão.....	34
1.4.3.2 Comutação de Pacotes – Redes com Conexão.....	36
1.4.4 Comutação de células .....	38
1.5 NOVAS TECNOLOGIAS DE REDES WAN .....	39

1.6 O ROTEIRO DE NOSSO LIVRO DE INTRODUÇÃO ÀS REDES WAN .....	39
1.7 EXERCÍCIOS .....	40
<b>CAPÍTULO 2 REDE WAN E1 (T1).....</b>	<b>41</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	41
2.2 E1 .....	42
2.2.1 O início do desenvolvimento do E1 .....	43
2.2.2 Padrões e aplicações E1 .....	43
2.2.3 Descrição do E1 .....	44
2.2.4 Hierarquia E1 .....	46
2.3 T1 .....	47
2.3.1 A Hierarquia T1 .....	51
2.4 UTILIZAÇÃO DO E1 (E DO T1) .....	51
2.5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	54
2.6 VANTAGENS .....	54
2.7 DESVANTAGENS.....	54
2.8 DETALHES DE PROJETOS DE REDES CORPORATIVAS COM WAN E1.....	54
2.9 APLICAÇÕES .....	55
2.10 FUTURO DO E1.....	55
2.11 EXERCÍCIOS .....	56
<b>CAPÍTULO 3 REDE WAN X.25 .....</b>	<b>57</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	57
3.2 NÍVEIS (CAMADAS) DO X.25.....	58
3.2.1 O Nível Físico (Physical Layer) .....	60
3.2.1.1 Interface Digital X.21 .....	60
3.2.2 O Nível de Enlace (Link Level) .....	61
3.2.2.1 LAPB (Link Access Protocol, Balanced).....	62
3.2.3 O Nível de Pacote .....	64
3.3 ESTABELECIMENTO DE CHAMADA (CALL SETUP) .....	65
3.3.1 O Formato de Pacotes .....	66
3.3.1.1 O Pacote de Controle .....	67
3.3.1.2 O pacote de PEDIDO de CHAMADA (CALL REQUEST).....	67
3.3.1.3 O Pacote de Dados (Data Packet) .....	70
3.4 DIAGRAMAS DE ESTADO DO X.25 .....	71
3.5 CARACTERÍSTICAS DO X.25.....	71

3.6 X.28 (COMUNICAÇÃO ASSÍNCRONA À REDE X.25) .....	72
3.7 UTILIZAÇÃO DO X.25.....	73
3.8 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO X.25 .....	73
3.9 VANTAGENS .....	74
3.10 DESVANTAGENS .....	74
3.11 DETALHES DE PROJETOS DE REDES CORPORATIVAS WAN X.25 .....	74
3.12 APLICAÇÕES .....	75
3.13 FUTURO DO X.25.....	76
3.14 EXERCÍCIOS .....	76
<b>CAPÍTULO 4 REDE WAN ISDN .....</b>	<b>78</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	78
4.2 O QUE É ISDN OU RDSI? .....	79
4.3 TIPOS DE LINHA ISDN.....	82
4.3.1 Taxa básica (Basic Rate) .....	83
4.3.2 Taxa primária (Primary Rate) .....	85
4.3.3 Taxa Híbrida (Canais H).....	86
4.4 BROADBAND.....	87
4.5 AS CAMADAS DO MODELO OSI ONDE O ISDN FUNCIONA.....	87
4.5.1 Camada 1 (Física).....	88
4.5.2 Camada 2 (Enlace ou Link de Dados).....	89
4.5.3 Camada 3 (Rede) .....	89
4.6 DESCRIÇÃO DE UMA CHAMADA TÍPICA NA REDE WAN ISDN .....	90
4.6.1 Chamada de Saída (Sainte) .....	90
4.6.2 Chamada de entrada (entrante) .....	94
4.7 SUGESTÕES DE INSTALAÇÃO .....	95
4.7.1 Taxa básica .....	95
4.7.2 Taxa primária .....	98
4.8 PADRÕES ISDN .....	98
4.9 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO ISDN:.....	100
4.10 VANTAGENS .....	100
4.11 DESVANTAGENS .....	100
4.12 APLICAÇÕES .....	100
4.13 FUTURO DO ISDN.....	101

4.14 EXERCÍCIOS .....	102
<b>CAPÍTULO 5 REDE WAN FRAME RELAY (FR).....</b>	<b>104</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	104
5.2 VISÃO GERAL .....	106
5.3 FORMATO DO FRAME.....	106
5.4 CIRCUITOS VIRTUAIS .....	108
5.5 PORTA, CIR E EIR .....	108
5.6 INTEGRIDADE DE DADOS .....	109
5.7 CONTROLE DE FLUXO E TAXAS DE INFORMAÇÃO .....	110
5.8 GERENCIAMENTO DO ESTADO DA CONEXÃO (STATUS POLLING).....	111
5.9 USOS DO FRAME RELAY.....	112
5.10 CONFIABILIDADE .....	113
5.11 UTILIZAÇÃO DO FRAME RELAY.....	113
5.12 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO FRAME RELAY: .....	115
5.13 VANTAGENS .....	115
5.14 DESVANTAGENS.....	115
5.15 APLICAÇÕES .....	115
5.16 FUTURO DO FRAME RELAY .....	116
5.17 EXERCÍCIOS .....	117
<b>CAPÍTULO 6 REDE WAN ATM.....</b>	<b>118</b>
6.1 INTRODUÇÃO .....	118
6.2 BÁSICO DO ATM.....	119
6.3 CONCEITOS DO ATM .....	120
6.3.1 Células ATM.....	120
6.3.2 Células na prática.....	123
6.3.3 Estrutura de uma célula ATM .....	124
6.3.4 Circuitos Virtuais .....	126
6.3.5 Tipos de caminhos e circuitos virtuais.....	128
6.3.6 Roteamento de Circuito Virtual e chamada de admissão.....	129
6.3.7 Criação do circuito virtual na rede ATM.....	130
6.3.8 Usando Células e circuitos virtuais para engenharia de tráfego.....	130
6.3.9 Modelagem do tráfego (traffic shaping) .....	131
6.3.10 Policiamento de Tráfego (traffic policing) .....	131
6.4 LAN Emulation (LANE).....	132

6.5 UTILIZAÇÃO DO ATM .....	133
6.6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO ATM.....	134
6.7 VANTAGENS .....	134
6.8 DESVANTAGENS.....	134
6.9 APLICAÇÕES .....	134
6.10 FUTURO DO ATM.....	135
6.11 EXERCÍCIOS .....	137
<b>CAPÍTULO 7 REDES WAN IP.....</b>	<b>138</b>
7.1 INTRODUÇÃO .....	138
7.2 FUNDAMENTOS EM COMUNICAÇÃO DE REDE .....	138
7.3 FUNDAMENTOS DE TRANSMISSÃO.....	140
7.4 A INFRAESTRUTURA DE REDE DE ÁREA LOCAL .....	141
7.5 INTERCONECTANDO LANS EM UMA ARQUITETURA BASEADA EM IP .....	144
7.5.1 A Pilha Internet Protocol.....	145
7.5.2 Internet Protocol (IP) .....	145
7.5.3 Um sumário da pilha IP .....	145
7.5.4 Protocolo de Transporte.....	146
7.6 BENEFÍCIO DA ARQUITETURA BASEADA NO IP .....	147
7.7 VPNs IP.....	148
7.7.1 IPSec.....	149
7.8 CONVERGÊNCIA .....	151
7.9 APLICAÇÃO REAL DA ARQUITETURA IP.....	152
7.10 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS REDES IP.....	153
7.11 VANTAGENS .....	153
7.12 DESVANTAGENS.....	154
7.13 APLICAÇÕES .....	154
7.14 CONCLUSÃO.....	154
7.15 EXERCÍCIOS .....	155
<b>CAPÍTULO 8 REDES MPLS.....</b>	<b>156</b>
8. 1 INTRODUÇÃO .....	156
8.2 O QUE É O MPLS? .....	157
8.3 A TECNOLOGIA DO MPLS - COMUTAÇÃO DE LABEL MULTIPROCOLO.....	158
8.4 INTRODUÇÃO AO FUNCIONAMENTO DO MPLS .....	161
8.5 OLHANDO MAIS PROFUNDAMENTE NO MPLS .....	162

8.6 INTRODUÇÃO AO QOS NO MPLS .....	165
8.7 EXEMPLO DE CRIAÇÃO DE UMA CIRCUITO VIRTUAL NO MPLS .....	169
8.8 UTILIZAÇÃO DO MPLS .....	172
8.9 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO MPLS.....	173
8.10 VANTAGENS: .....	174
8.11 DESVANTAGENS .....	174
8.12 APLICAÇÕES .....	174
8.13 FUTURO DO MPLS .....	175
8.14 EXERCÍCIOS .....	176
<b>CAPÍTULO 9 INTRODUÇÃO AO QoS .....</b>	<b>177</b>
9.1 INTRODUÇÃO AO QOS .....	177
9.2 TÉCNICA DSCP DE QOS.....	178
9.3 PROCESSO DO QOS UTILIZANDO O DSCP .....	181
9.4 EXEMPLO DE PLANO DE QOS ADOTADO POR UMA OPERADORA .....	183
9.5 EXERCÍCIOS .....	184
<b>CAPÍTULO 10 REDES METRO ETHERNET OU ETHERNET CARRIER.....</b>	<b>186</b>
10.1 INTRODUÇÃO .....	186
10.2 METRO ETHERNET OU ETHERNET CARRIER .....	186
10.2.1 Terminologia da Metro Ethernet (Carrier Ethernet) .....	187
10.2.2 Atributos do CE .....	190
10.2.2.1 Serviços padronizados .....	190
10.2.2.2 Escalabilidade .....	190
10.2.2.3 Confiabilidade.....	191
10.2.2.4 Gerenciamento do Serviço .....	191
10.2.2.5 Qualidade de Serviço (QoS).....	191
10.3 CARRIER ETHERNET 2.0 .....	192
10.3.1 Serviços oferecidos pela CE 2.0 .....	192
10.3.1.1 Serviço E-Line .....	192
10.3.1.2 Serviço E-LAN.....	194
10.3.1.3 Serviço E-Tree .....	195
10.3.1.4 Serviço E-Access .....	196
10.4 FUTURO DA REDE METRO ETHERNET (ETHERNET CARRIER).....	198
10.5 EXERCÍCIOS .....	198
<b>CAPÍTULO 11 REDES DE ACESSO BANDA LARGA CABEADAS .....</b>	<b>200</b>

11.1 INTRODUÇÃO ÀS REDES DE ACESSO BANDA LARGA À INTERNET .....	200
11.1.1 A família XDSL .....	202
11.1.1.1 HDSL (Linha de Assinante Digital de Alta Taxa de Dados) .....	202
11.1.1.2 SDSL (Linha de Assinante Digital Única) .....	202
11.1.1.3 ADSL (Linha de Assinante Digital Assimétrica) .....	203
11.1.1.4 R-ADSL (Linha de Assinante Digital de Taxa Adaptável) .....	203
11.1.1.5 VDSL (Linha de Assinante Digital de Taxa de Dados Muito Alta) .....	203
11.1.2 ADSL .....	206
11.1.2.1 Evolução do Modem Tecnologia série "V.dot" .....	211
11.1.2.2 Técnicas de modulação .....	214
11.1.2.2.1 CAP (Carrierless Amplitude Phase) .....	215
11.1.2.2.2 DMT .....	215
11.1.2.3 Vantagens do DMT sobre o CAP .....	218
11.1.3 ADSL 2, ADSL 2+ .....	220
11.1.4 Padrões e Associações .....	220
11.2 MODEM A CABO .....	221
11.2.1 Introdução .....	221
11.2.2 Fundamentos de Modem a cabo .....	222
11.2.3 Largura de banda do canal do modem a cabo .....	223
11.2.4 Transmissão de dados no CATV .....	225
11.2.5 Visão Interna do Modem a Cabo .....	225
11.2.5.1 O funcionamento básico do Modem a cabo .....	226
11.2.6 Sistema de Terminação do Modem a Cabo .....	227
11.2.7 Padronização do Modem a cabo .....	228
11.2.8 Os pros e os contras do modem a cabo .....	229
11.3 EXERCÍCIOS .....	229
<b>CAPÍTULO 12 REDES DE ACESSO BANDA LARGA SEM FIO .....</b>	<b>231</b>
12.1 REDES WIRELESS .....	231
12.1.1 Introdução .....	231
12.1.1.1 Padrões de redes Wi-Fi .....	232
12.1.1.2 Componentes de uma rede Wi-Fi .....	233
12.2 WIMAX .....	235
12.2.1 Introdução a Redes WiMAX .....	235

12.2.2 Conceito de WiMAX .....	236
12.2.3 WiMAX Forum .....	237
12.2.4 Protocolo WiMAX .....	237
12.2.5 WiMAX II .....	239
12.2.6 Arquitetura do WiMAX.....	240
12.2.7 Tecnologias Competindo com o WiMAX .....	241
12.3 LTE (LONG TERM EVOLUTION) .....	242
12.3.1 Atributos do LTE.....	246
12.3.2 Modulação e Multiplexação no LTE .....	247
12.3.3 A evolução do LTE segundo o 3GPP .....	249
12.3.4 LTE Advanced.....	249
12.4 5G .....	250
12.5 EXERCÍCIOS .....	251
<b>CAPÍTULO 13 NOVAS TECNOLOGIAS DE REDES DE ACESSO BANDA LARGA .....</b>	<b>253</b>
13.1 INTRODUÇÃO .....	253
13.2 WDM .....	253
13.3 PON.....	255
13.4 G.Fast.....	257
13.5 GFP .....	259
13.6 OTN.....	263
13.7 EXERCÍCIOS .....	267
<b>CAPÍTULO 14 NOVAS TECNOLOGIAS DE REDES WAN .....</b>	<b>269</b>
14.1 INTRODUÇÃO .....	269
14.2 SDN.....	269
14.3 NFV .....	271
14.4 VPLS .....	274
14.5 CLOUD COMPUTING .....	276
14.5.1 O básico da Cloud Computing.....	276
14.5.2 O surgimento da Cloud Computing .....	278
14.5.3 Vantagens da Cloud Computing.....	279
14.5.4 Desvantagens da Cloud Computing.....	280
14.6 EXERCÍCIOS .....	281
<b>CAPÍTULO 15 IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA DE UMA REDE WAN .....</b>	<b>283</b>

15.1 INTRODUÇÃO .....	283
15.2 ESTUDO DE CASO .....	283
15.3 SOLUÇÃO DO ESTUDO DE CASO PROPOSTO .....	284
15.4 TOPOLOGIA DA SOLUÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	285
15.5 DETALHAMENTO DA REDE CORPORATIVA .....	287
<b>CONCLUSÃO DO LIVRO REDES DE COMPUTADORES DE LONGA DISTÂNCIA (WAN) .....</b>	<b>298</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>299</b>
<b>ANEXO A – RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS .....</b>	<b>306</b>
<b>APÊNDICE A – CADASTRO NO BLOG INFRAESTRUTURA DE REDES .....</b>	<b>325</b>
<b>APÊNDICE B – INDICAÇÕES DE CURSOS DE INFRA/E-BOOKS POR ASSUNTO.....</b>	<b>326</b>
<b>APÊNDICE C – CURSOS DE INFRAESTRUTURA DE REDE DOS AUTORES ...</b>	<b>329</b>
<b>APÊNDICE D – OUTROS E-BOOKS/LIVROS DOS AUTORES.....</b>	<b>330</b>
<b>APÊNDICE E – VIDEOAULAS DOS AUTORES.....</b>	<b>331</b>

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO ÀS REDES WAN

### 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo iremos estudar um pouco do histórico das redes WAN (Wide Area Network – Redes de Longa Distância), os seus conceitos básicos e as suas principais características técnicas.

#### 1.1 UM POUCO DE HISTÓRIA

As redes de computadores WAN existem desde a década de 70 do século passado. Com o advento da necessidade de que os computadores trocassem dados entre si (através, por exemplo, do modelo de protocolos de interconexão de computadores SNA da IBM) surgiu também a ideia de uma rede de computadores de longa distância (Wide Area Network – WAN) que permitisse essa comunicação.

Ao longo desses praticamente 40 anos, as tecnologias de redes WAN foram se sucedendo, cada uma delas com seu princípio de funcionamento, suas aplicações, suas características técnicas, suas vantagens e desvantagens.

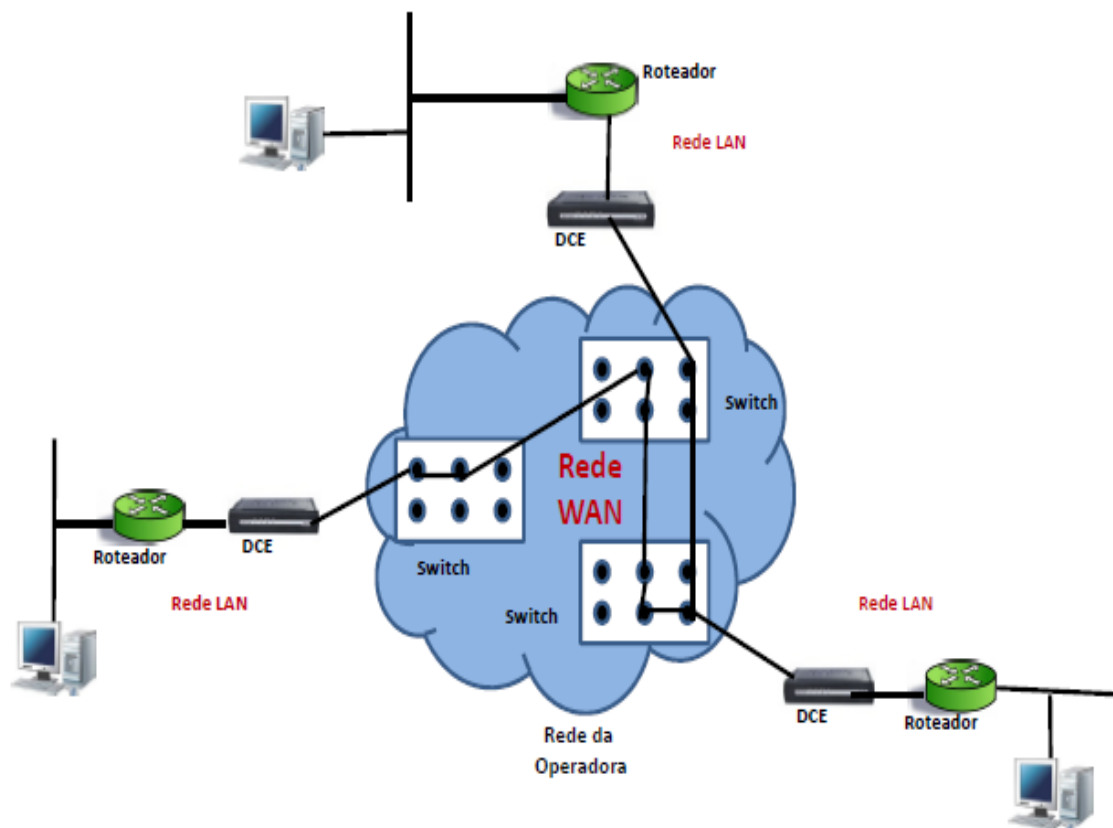


Figura 1.1 Redes de Longa Distância (WAN - Wide Area Network).<sup>1</sup>

Desde a rede E1 (que utiliza o conceito da Interface E1, ou interface de 2 Mbps), primeira a ser lançada no cenário internacional, até a rede MPLS, essa última funcionando na camada 2,5 do modelo OSI de interconexão (na palavra de alguns especialistas), as redes foram sendo implantadas para atender necessidades específicas de cada época, cada qual com suas características que pretendemos estudar ao longo deste trabalho.

Ao falar das redes WAN, acreditamos que não podemos deixar fora as redes Broadband, redes banda larga, que apesar de serem redes de acesso (normalmente à Internet) estão tendo um papel fundamental de democratizar o acesso à Internet para o usuário residencial, ou usuário final. Aliás, recentemente o Broadband Forum aglutinou os serviços xDSL e MPLS, corroborando com nossa ideia de inserir um capítulo sobre as redes de acesso banda larga.

Também não podemos deixar de lado as novas gerações de redes wireless WiMAX e a LTE (Long Term Evolution), que pretendem revolucionar a comunicação no âmbito das operadoras de telecomunicações, trazendo a possibilidade de oferecer a tecnologia 4G.

O profissional de Telecomunicações e de Redes de Computadores não pode deixar de conhecer estas tecnologias de redes, pois elas abrem a visão para o desenvolvimento e para o conhecimento futuro de novas tecnologias de redes WAN, tal como a Carrier Ethernet ou Metro Ethernet.

## **1.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE UMA REDE WAN**

### **1.2.1 - Velocidade de transmissão**

Capacidade de transmissão ou largura de banda que a rede WAN oferece em seus circuitos individuais para acesso a um site da rede.

Normalmente as velocidades de circuitos numa rede WAN podem variar de 1200 bps para ordem de dezenas de Mbps.

Ainda hoje os circuitos normalmente são entregues em múltiplos acessos de 2 Mbps (em virtude ainda da padronização da interface E1, limitada individualmente a 2 Mbps). No entanto, há um movimento para romper a quebra de paradigma da interface de 2 Mbps, conforme iremos destacar ao longo do livro.

Todavia, aparentemente, a tecnologia Carrier Ethernet irá trazer uma inovação no setor de redes WAN, pois pretende entregar circuitos de padrões Ethernet ou FastEthernet em circuitos de longa distância.

### 1.2.2 Delay

Tempo que leva um pacote de dados para ir de um extremo a outro da rede WAN. A medida é feita na entrada e na saída do nó intermediário da rede WAN.

Normalmente não se leva em conta, portanto, o delay no meio de acesso entre o Ponto de Presença da operadora e as instalações da rede local do cliente do site em análise, em ambos os lados de uma rede WAN.

O delay é prejudicial às aplicações que dependam da transmissão em tempo real como videoconferência, telefonia IP, etc.

### 1.2.3 Jitter

Termo aqui empregado para identificar se há diferença de delay entre dois ou mais pacotes transmitidos entre dois pontos da rede WAN.

Da mesma forma de que o Delay, o Jitter também é muito prejudicial às aplicações que dependam da transmissão em tempo real, como a videoconferência, telefonia IP, etc., devendo ser evitado ou atenuado a sua existência tanto quanto possível.

### 1.2.4 Meio de acesso

É o acesso físico construído entre o PPE (Ponto de Presença da Operadora de Telecomunicações) e a rede local do site onde vai ser implantada a rede WAN.

O tipo do meio físico usado no meio de acesso é importante, pois vai nos indicar o delay total entre redes locais de um site a outro.

Por exemplo, se o meio físico é a fibra ótica, o delay é baixo e não vai influenciar no delay entre o site A e B, numa determinada rede WAN.

### 1.2.5 PPE

Local físico onde a operadora concentra equipamentos de transmissão, do seu backbone E1 (ou hierarquia superior) e das demais tecnologias de redes WAN.

Em inglês PoP (Point of Presence), ou seja, o PPE marca a presença da operadora como prestadora de serviço num determinado local ou região. Para a operadora, quanto mais PPEs existirem, maior será sua área de atuação.

Chamamos a atenção que o termo PPE pode sofrer variações, em termos de significado, de operadora para operadora. Entendemos aqui, o termo “operadora”

como uma empresa operadora de telecomunicações, que fornece serviços de telefonia, transmissão de dados e vídeo, cuja abrangência normalmente pode ser regional, estadual, nacional ou internacional.

### **1.2.6 Backbone**

É o conjunto de hardware e software utilizado pela operadora para implantar determinada rede WAN. Podemos dizer que é um somatório de recursos utilizados nos nós intermediários, meio de transmissão entre esses nós de alta velocidade e a capacidade de gerenciamento da rede WAN.

### **1.2.7 Capilaridade**

Número de PPEs da operadora que compõe o backbone de determinada rede WAN.

Quanto maior a quantidade de PPEs, maior a possibilidade de atendimento a uma empresa que deseja implantar uma rede corporativa através de uma determinada tecnologia de rede WAN.

### **1.2.8 QoS**

Garantia de qualidade no serviço. As novas tecnologias de redes WAN vêm sendo desenvolvidas para oferecer a qualidade de serviço nativamente. Na prática, as redes MPLS oferecem esta característica, embora as redes Frame Relay e ATM também possam oferecer o QoS, mesmo que parcialmente.

Trata-se de um acordo de priorização do tráfego, combinado entre o cliente e a empresa prestadora do serviço WAN. É um acordo mútuo que deve ser obedecido por ambas as partes envolvidas, para a garantia real do funcionamento do QoS.

## **1.2.9 Topologia de uma Rede WAN**

### **1.2.9.1 Topologia de Redes de Computadores**

Topologia é um termo que significa disposição física dos componentes de uma rede de computadores. A topologia tem a ver em como a rede de computadores está organizada fisicamente.

A topologia física de uma rede refere-se à configuração de cabos, computadores e outros periféricos. A topologia física não deve ser confundida com a topologia lógica, a qual representa o método usado para passar informação entre os nós da rede de computadores.

É uma espécie de desenho mostrando como os computadores se interligam fisicamente.

Podemos dizer então que “Uma topologia define o arranjo de nós, cabos e equipamentos de conectividade que compõe uma rede de computadores”.

Duas categorias básicas formam a base da discussão sobre topologias:

- Topologia física. Descreve o layout atual da mídia de transmissão da rede de computadores
- Topologia lógica. Descreve o caminho lógico que um sinal segue quando ele passa ao longo dos nós de uma rede de computadores

Uma outra maneira de pensar sobre a diferença entre topologia física e a lógica é que a topologia física define a aparência física da rede de computadores enquanto a topologia lógica define o caminho em que os dados passam entre os nós de uma rede de computadores.

Numa primeira análise a distinção pode parecer muito pequena, mas à medida que estudamos as redes de computadores iremos verificar que a diferença pode ser bastante grande.

Lembre-se de que a topologia lógica representa como os computadores trocam informações entre si, ou seja, como os protocolos de comunicação se inter-relacionam para possibilitar a troca de informação entre os computadores de uma rede, seja ela uma rede local (LAN) ou rede de longa distância (WAN).

As duas topologias, física e lógica, podem diferenciar entre si, ou seja, a aparência da topologia física pode diferir da topologia lógica.

Uma rede de computadores com uma topologia física em estrela pode ser tanto topologia lógica em anel ou em barramento.

Um hub, por exemplo, apresenta topologia física em estrela e a topologia lógica em barramento.

Num uso comum, a palavra “topologia” aplica-se a uma definição completa de rede de computadores, a qual inclui topologia física e lógica, bem como às especificações para elementos tais como o meio físico.

Se você estiver se preparando para uma certificação específica (Microsoft, Cisco, etc.) convém pesquisar como aquela certificação define a topologia, pois pode haver diferentes interpretações do termo.

### 1.2.9.2 Topologia física

As principais topologias físicas são as seguintes:

- Topologia em barramento (rede LAN): todos os elementos da rede se interligam a um barramento principal (bus)

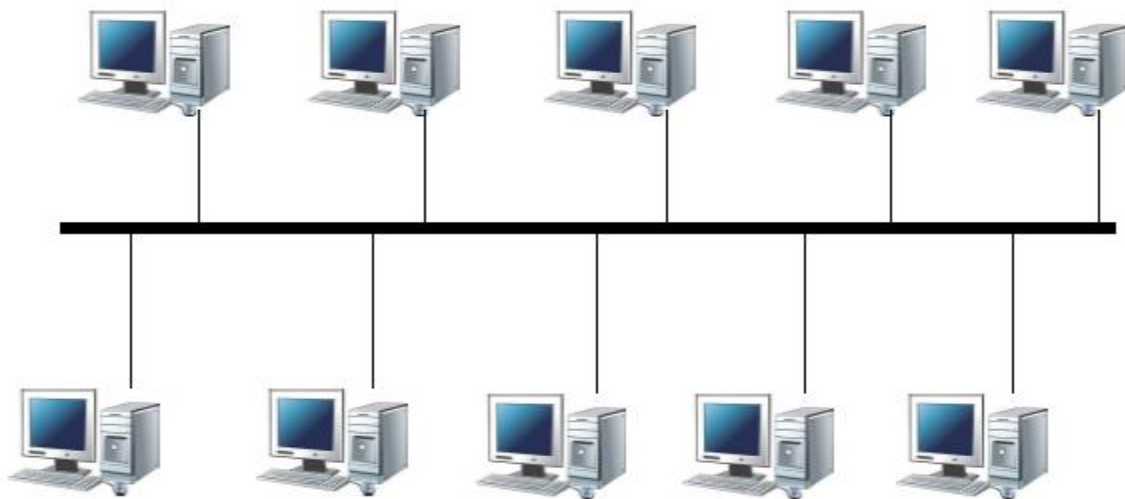


Figura 1.2 Topologia em barramento.<sup>1</sup>

- Topologia em estrela (rede LAN e WAN): todos os elementos da rede se interligam a um ponto central (hub)

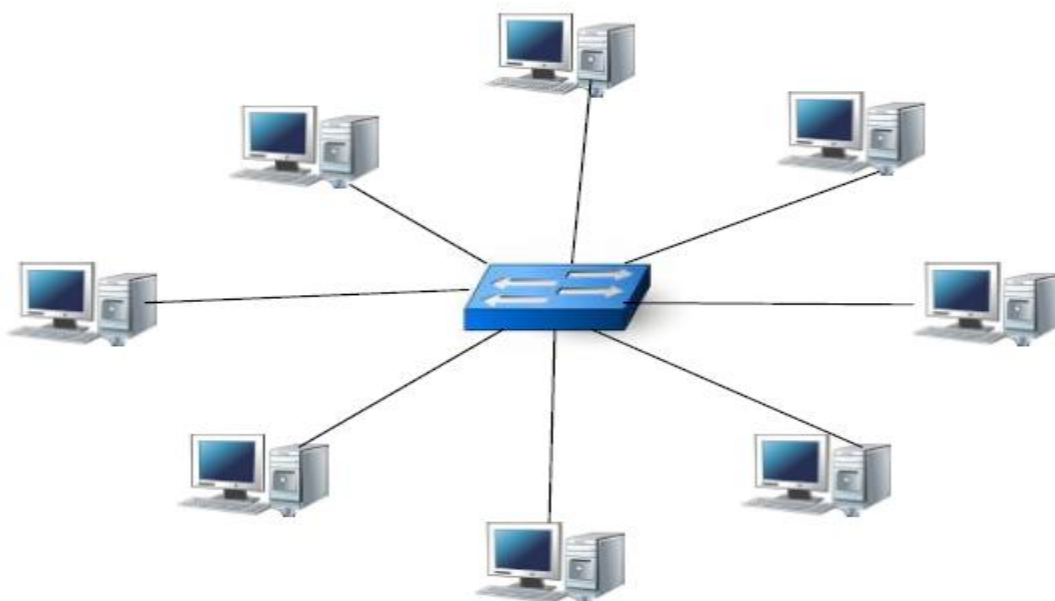
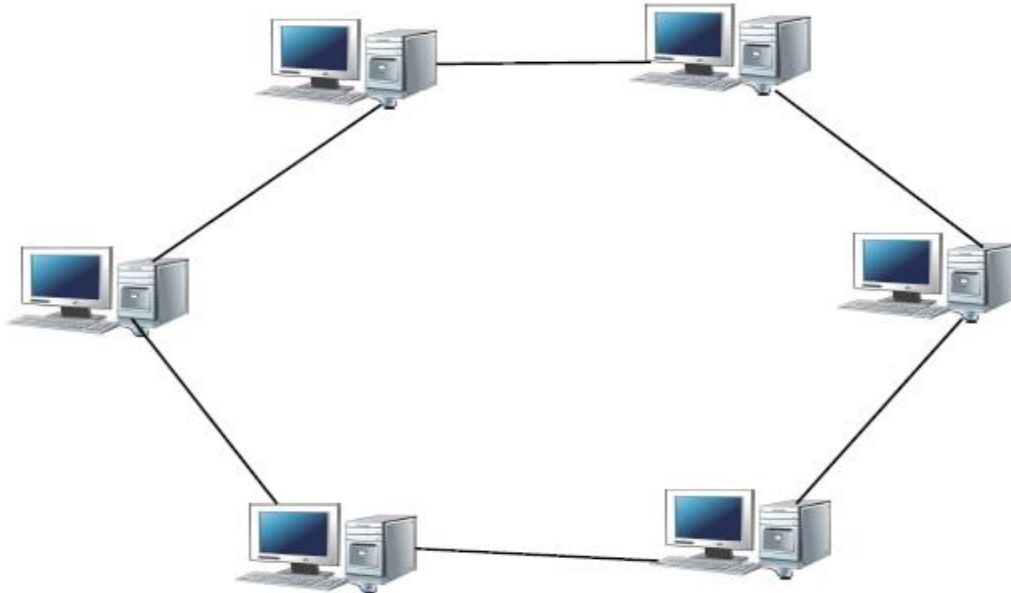


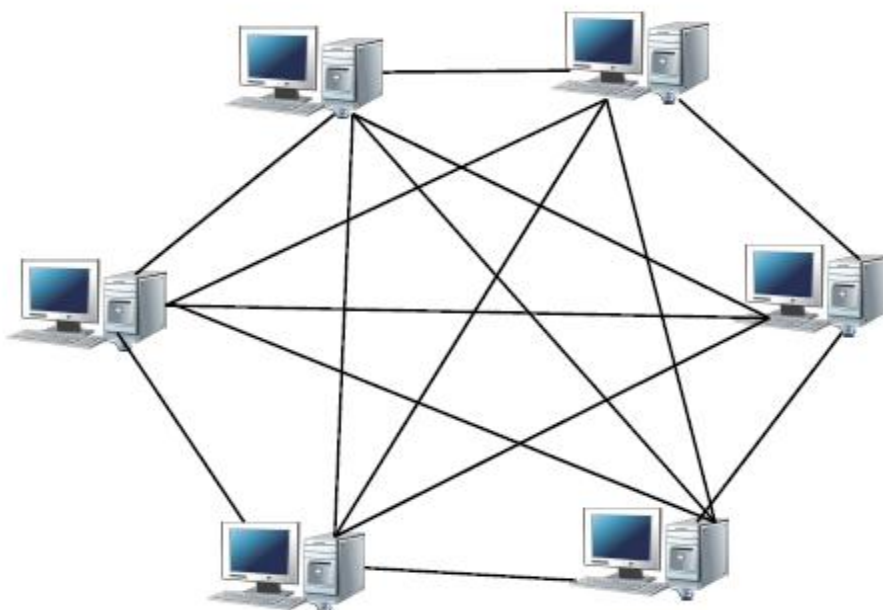
Figura 1.3 Topologia em estrela.<sup>1</sup>

- Topologia em anel (rede LAN e WAN): todos os elementos da rede estão ligados em série, ou seja, a entrada de um se liga na saída do outro (também chamada de topologia Token Ring).



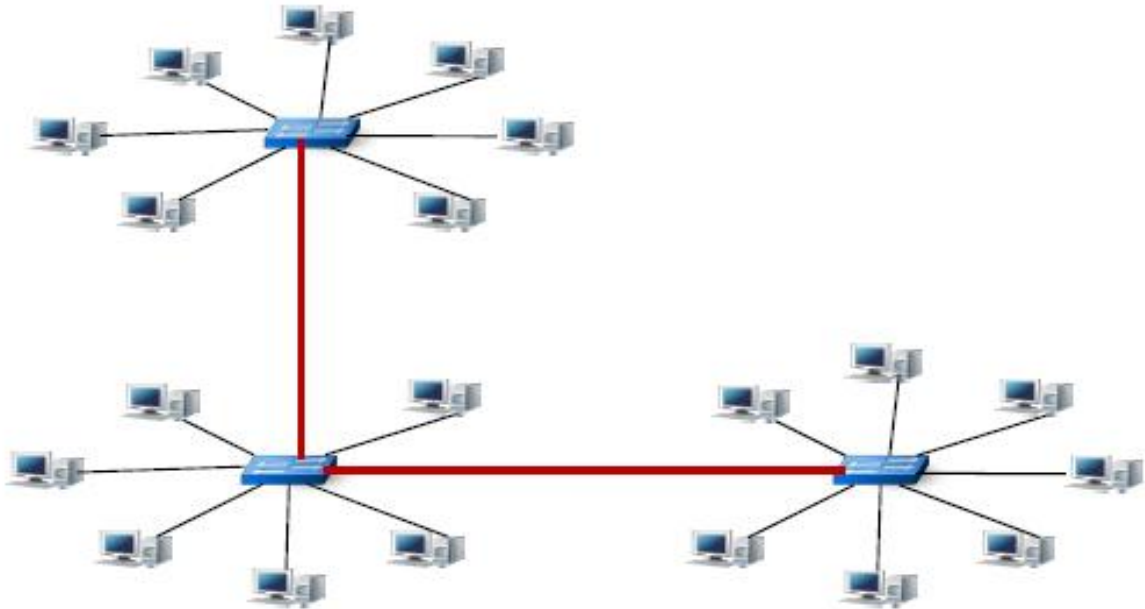
**Figura 1.4 Topologia em anel.<sup>1</sup>**

- Topologia totalmente interligada (rede WAN): todos os elementos da rede se interligam entre si (Full-Meshed).



**Figura 1.5 Topologia totalmente interligada (Full-Meshed).<sup>1</sup>**

Às vezes, uma topologia pode utilizar princípios de outras duas topologias, como no caso do uso da topologia em estrela em conjunto com a topologia em barramento, resultando numa topologia em árvore ou híbrida.



**Figura 1.6 Topologia híbrida.<sup>1</sup>**

### **1.2.9.3 Topologia Lógica**

Como já citamos, a topologia lógica define como os computadores se comunicam através da topologia física. Alguns autores definem a topologia lógica como o método de acesso ao meio físico ou meio de transmissão.

Existem dois tipos básicos de topologias lógicas:

- **Topologia de mídia compartilhada (shared media)**
- **Topologia baseada em Token (token-based)**

#### **1.2.9.3.1 Topologia lógica de mídia compartilhada**

Na topologia lógica de mídia compartilhada, todos os computadores têm a habilidade de acessar o meio físico quando eles necessitarem. A principal vantagem na mídia compartilhada é que os sistemas podem ter acesso irrestrito ao meio físico.

Certamente, a principal desvantagem dessa topologia lógica é a existência de colisões. Se dois sistemas enviarem informações no meio físico ao mesmo tempo, os pacotes colidem e ambos os pacotes são descartados. A Ethernet é um exemplo da topologia lógica de mídia compartilhada.

Para ajudar na prevenção do problema de colisões, a Ethernet usa o protocolo chamado de Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD). Nesse protocolo, cada computador monitora o cabo físico, escutando por tráfego de dados. Se o tráfego é detectado, o computador aguarda até que ele perceba que não há mais tráfego antes de enviar novos pacotes ao meio físico.

Se acontecer uma situação onde dois computadores enviarem pacotes ao mesmo tempo e uma colisão ocorrer, cada computador aguarda um período de tempo (aleatório) antes de efetuar nova tentativa. Esse processo é chamado de "back off" (recolher-se à inatividade). Esse período de tempo é diferente para cada computador, justamente para tentar evitar uma nova colisão.

Para redes pequenas, a topologia lógica de mídia compartilhada funciona bem, entretanto, se você iniciar a adicionar mais computadores na rede, existe uma grande probabilidade de colisões. Para ajudar a reduzir o número de colisões, muitas redes são divididas em redes menores com o uso de switches, sendo que cada nova rede criada acaba tendo seu próprio domínio de colisão.

As redes de topologia lógica de mídia compartilhada são tipicamente utilizadas em topologias físicas de barramento, estrela e híbrida.

#### **1.2.9.3.2 Topologia lógica baseadas em Token**

A topologia lógica baseada em token funciona usando um token (bastão) para prover o acesso a uma mídia física. Imagine um token como sendo uma mensagem entregue de um computador para outro em uma rede em anel. A mensagem contém o computador de origem e destino, o tempo de transmissão que o computador de origem dispõe, etc.

Portanto, em redes baseadas em token, existe um token que viaja ao redor da rede. Quando um computador necessita transmitir pacotes, ele retira o token do meio físico, anexa informação ao pacote que está sendo transmitido e o envia de volta ao meio físico.

À medida que o token viaja pela rede, cada computador examina o token. Quando o pacote chega ao computador de destino, aquele computador copia a informação e devolve o token ao meio físico, para ele continuar sua jornada até ele voltar ao computador de origem. Quando o originador da mensagem recebe o token de volta, ele retira o token do meio físico e envia de volta um token vazio para que possa ser usado pelo próximo computador.

As redes baseadas em token não possuem o mesmo problema de colisões que as redes baseadas na Ethernet, por causa da necessidade de possuir o token (permissão para transmitir) para poder se comunicar. Entretanto, um problema que

ocorre com as redes baseadas em token é a latência. Como cada máquina tem que esperar para poder usar o token, existe seguidamente um delay (demora) até que a comunicação de fato ocorra.

Redes baseadas em token são tipicamente configuradas na topologia física em anel porque o token necessita ser entregue de volta para a máquina originadora do pacote para ele ser substituído. A topologia física em anel facilita este requisito.

A seguir representamos uma topologia de uma rede WAN tradicional, topologia em estrela.

Observe na topologia que o centro da rede é o escritório central localizado no Rio de Janeiro. A rede WAN é representada por uma nuvem (que pela indicação é uma VPN gerenciada - Virtual Private Network gerenciada -), que poderia utilizar a tecnologia de rede WAN MPLS, a qual será analisada num próximo capítulo.

Entre a nuvem e os diversos sites, temos uma linha que representa o meio físico, ou meio de acesso, utilizado para interligar fisicamente a rede WAN à rede LAN, nos diversos sites da organização (site é o local físico onde está a infraestrutura de redes de computadores locais de uma organização, seja matriz ou filiais).

Observe que a forma como a rede se interliga logicamente é determinada pela tecnologia de rede WAN adotada pela operadora de telecomunicações e pode diferir da topologia física.



**Figura 1.7 Topologia física de uma rede WAN em estrela.<sup>1</sup>**

A seguir temos alguns exemplos típicos de topologias de rede LAN (rede local de computadores).

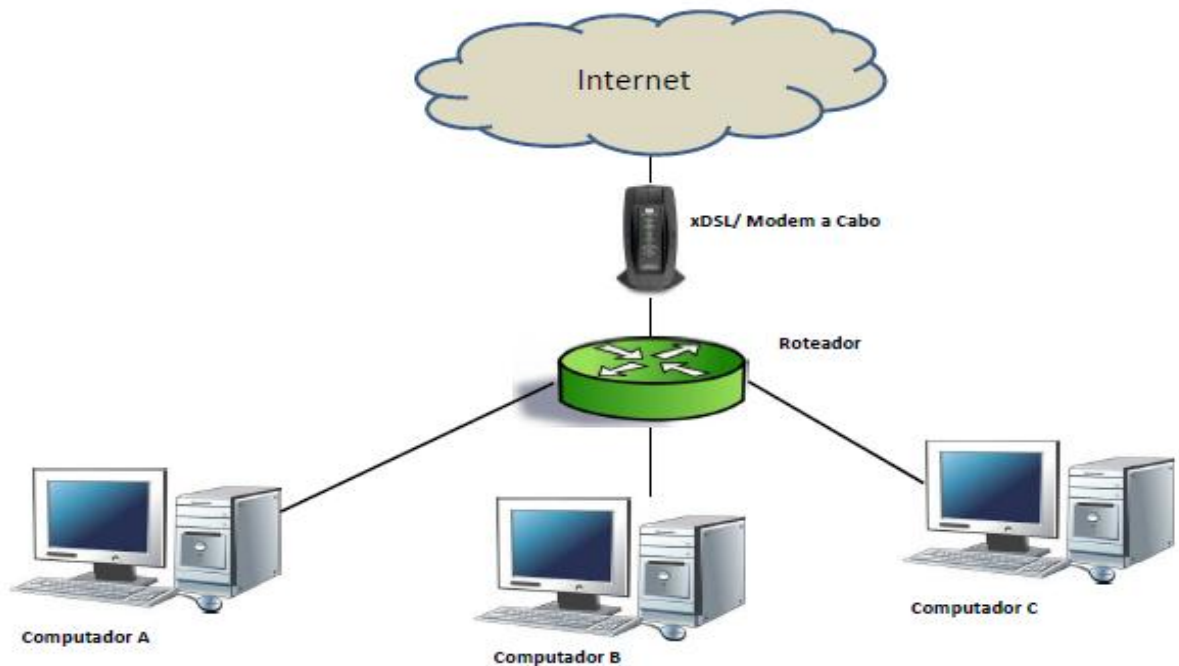


Figura 1.8 Rede LAN doméstica (serviço xDSL/Cable Modem).<sup>1</sup>

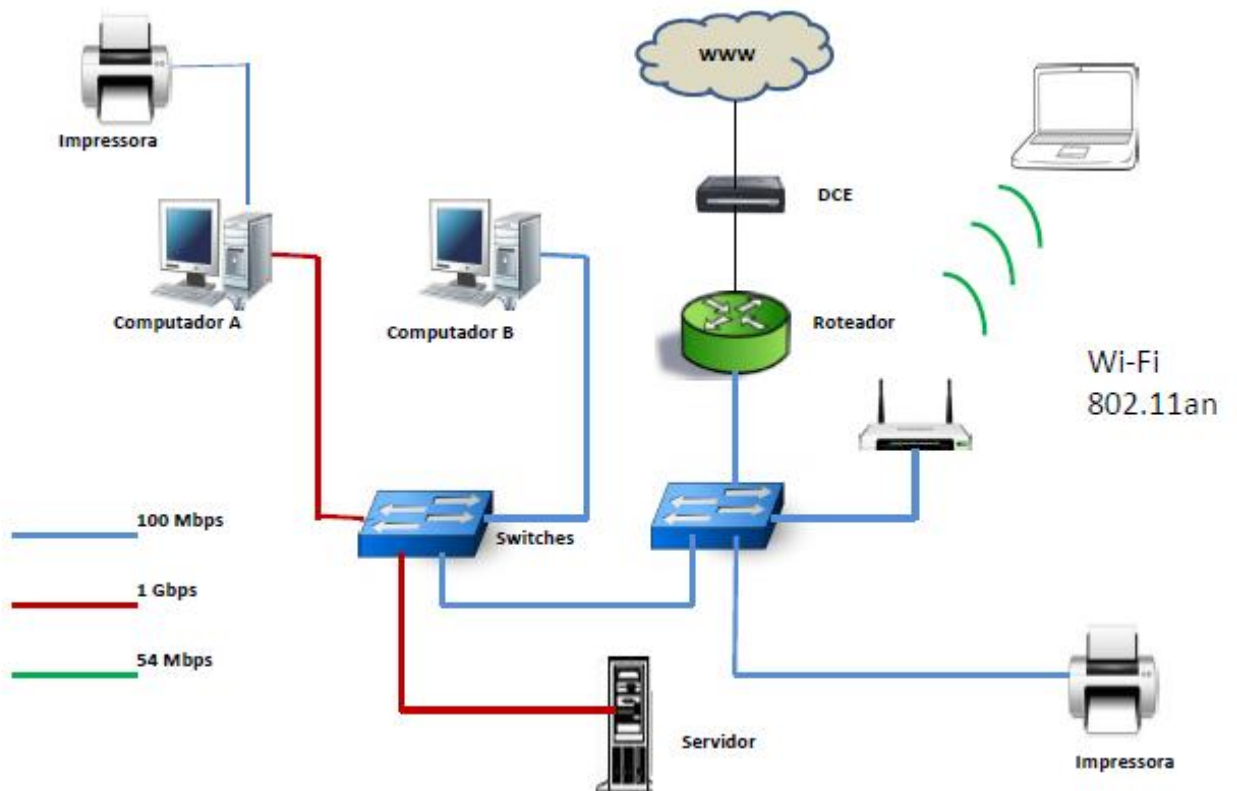


Figura 1.9 Rede LAN de um pequeno escritório interligada à Internet.<sup>1</sup>

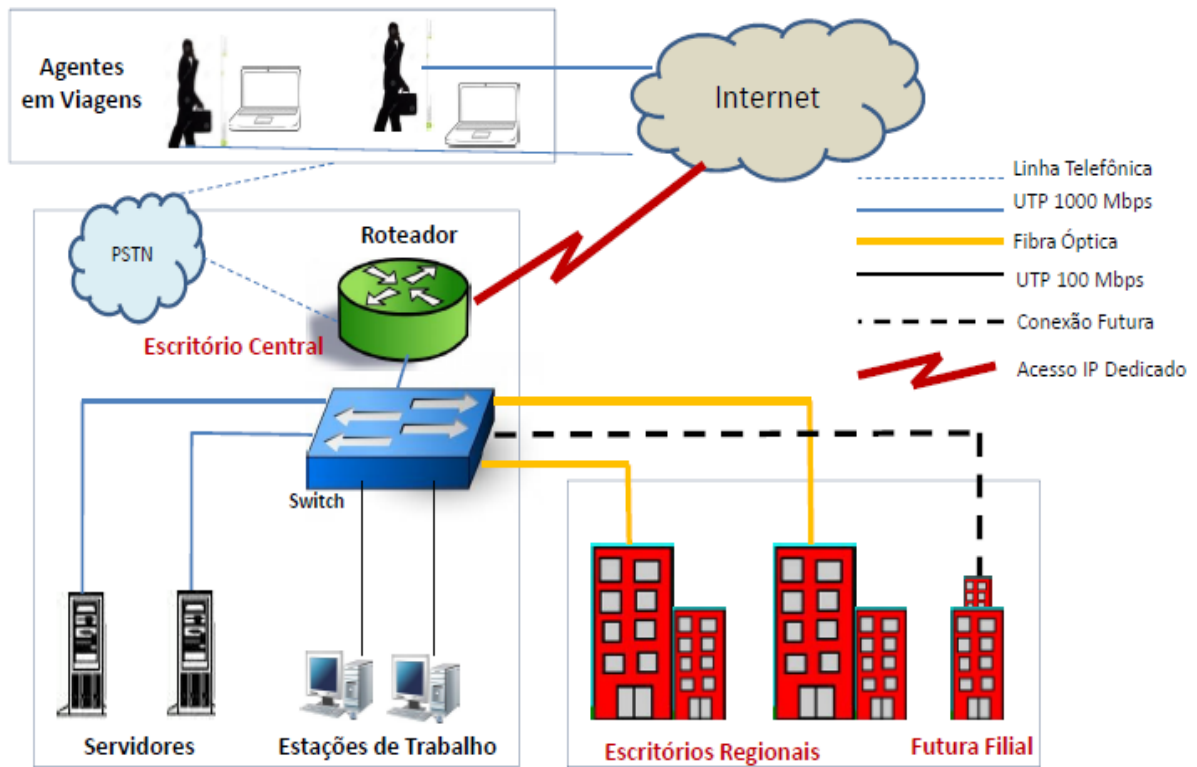


Figura 1.10 Rede LAN empresarial conectada à Internet (serviço IP Direto).<sup>1</sup>

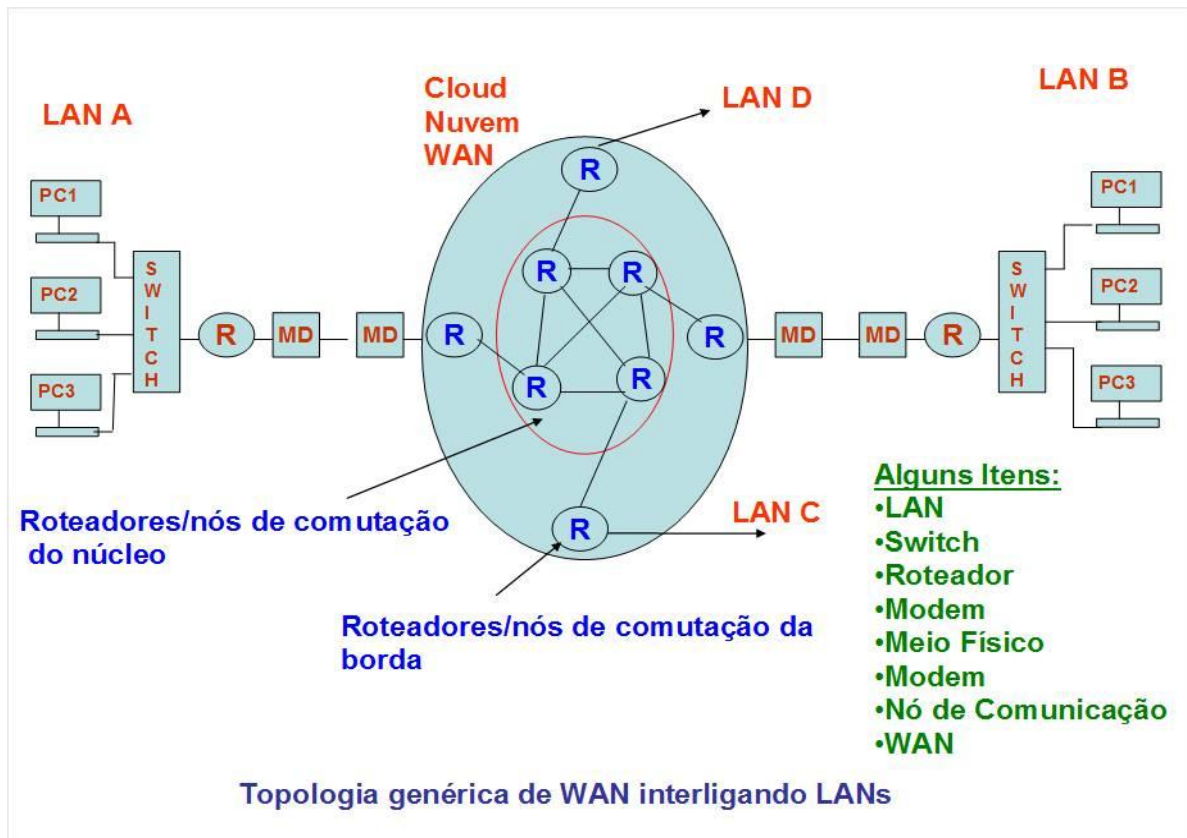


Figura 1.11 Rede LAN + circuito de comunicação de dados + rede WAN.<sup>1</sup>

### 1.3 APLICAÇÕES DE UMA REDE WAN

Via de regra, as redes WAN buscam atender três tipos de aplicações:

- a) Transmissão de dados
- b) Transmissão de voz
- c) Transmissão de vídeo

### 1.4 TÉCNICAS DE COMUTAÇÃO DE DADOS

As redes WAN da atualidade funcionam baseadas numa determinada técnica de comutação que elas utilizam para comutar a informação de uma porta de entrada para uma porta de saída da rede.

Os principais tipos de comutação são:

- a) circuitos
- b) pacotes
- c) células

#### 1.4.1 Comutação de Circuitos

É o tipo mais antigo, opera formando uma conexão dedicada (circuito) entre duas pontas. O exemplo tradicional é a Rede Pública de Telefonia.

É também conhecida como **Rede baseada em Conexão**.

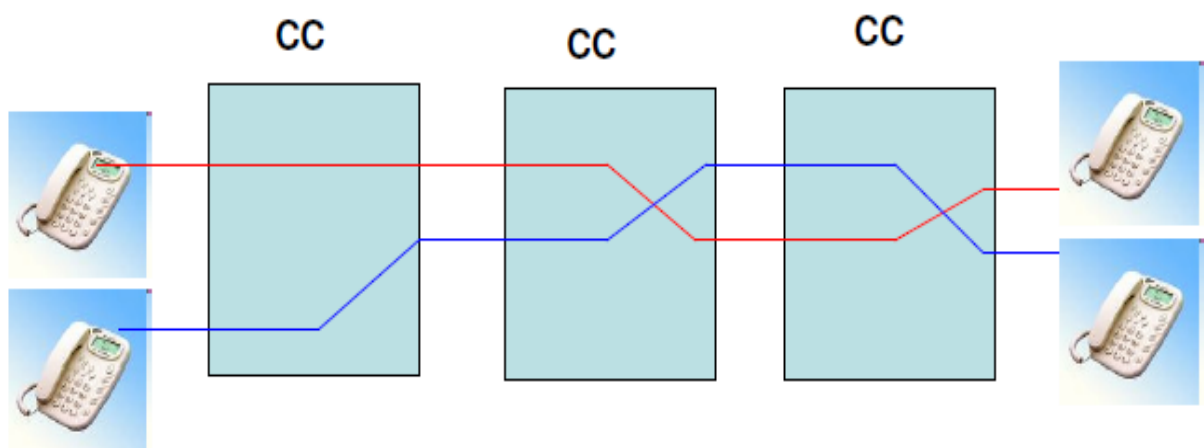


Figura 1.12 Rede Comunicação de Circuitos.<sup>1</sup>

Observe na figura anterior que os circuitos são estabelecidos entre origem e destino e permanecem assim até o final da ligação (circuito vermelho e circuito azul).

São características da comutação de circuitos:

- Um circuito fim a fim é estabelecido, como se puxássemos um fio do telefone de origem até o telefone de destino. Na realidade o circuito telefônico passa pela central de origem, por centrais intermediárias e finalmente a uma central de destino.
- A comutação deste tipo pode ser considerada analógica ou digital, conforme o tipo de central telefônica utilizada. Na atualidade a maioria das centrais telefônicas é digital.
- O circuito oferece um percurso de dados seguro, com banda garantida e exclusiva.

São vantagens da comutação de circuitos:

- Banda garantida. O circuito uma vez estabelecido, não pode ser ocupado por outra chamada telefônica, ou seja, ele se torna exclusivo até a desconexão da chamada;
- Circuito é transparente à informação, podendo ser trafegado voz e dados;
- Custos baixos de implantação e gerenciamento simples;
- Qualidade no estabelecimento da chamada (five nines - cinco noves -, ou 99,999% de qualidade).

São desvantagens da comutação de circuitos:

- Falta de qualidade na troca de informação, particularmente quando parte de seus componentes são analógicos;
- Não otimiza a ocupação de banda no circuito;
- Não implementa a detecção e correção de erros;
- Alto custo da chamada ou circuito;
- Preço fixo, independente do tráfego;
- Limitação no que diz respeito à faixa de transmissão, de 300 a 3.400 Hz (telefonia analógica).

#### **1.4.2 Comutação de Mensagens**

Também conhecido como sistema “store and forward” é um dos primeiros tipos de comutação de informação utilizados em redes de comunicação de dados.

Nesta técnica a informação é transferida para um primeiro nó intermediário por completo. Neste nó é feita a verificação de erro e a retransmissão de toda a informação para o próximo nó e, assim por diante, até chegar à máquina de destino. A unidade de troca de informação é a Mensagem e o delay pode ser bastante alto neste tipo de comutação. O caminho da origem ao destino não é sempre o mesmo.