



André Martins Quinta Redes Ópticas Sustentáveis



André Martins Quinta Redes Ópticas Sustentáveis

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do professor Dr. Borges Gouveia, Professor coordenador do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãs, amigos e colegas.

o júri

presidente

Doutor António da Cruz Tarelho
Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da
Universidade de Aveiro

Doutor António Luís Jesus Teixeira
Professor Associado, Departamento de Electrónica e Telecomunicações e
Informática da Universidade de Aveiro

Doutor Joaquim Borges Gouveia
Professor Catedrático, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da
Universidade de Aveiro

Doutor Ruben Soares Luís
Investigador no Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos da
Universidade dos Açores

agradecimentos

Este trabalho foi realizado graças ao contributo de pessoas envolvidas directamente ou indirectamente, às quais gostaria de agradecer.

Em primeiro lugar ao professor Doutor António Teixeira, não só pela oportunidade de realizar este trabalho, mas por todo o apoio prestado no âmbito e fora da realização deste mestrado.

Ao professor Doutor Joaquim Borges Gouveia pela orientação do meu trabalho de mestrado.

Ao Eng. Rodolfo Andrade e Eng. João Prata, pelos conselhos e sugestões.

Ao Eng. Albano Batista, Eng. João Andrade e Eng. Liliana Costa, pelo apoio na implementação do nó remoto.

Aos meus colegas de mestrado e do Instituto de Telecomunicações de Aveiro pela ajuda e encorajamento.

À minha família e amigos pelo encorajamento e apoio na realização deste trabalho.

A todos vós um muito obrigado.

palavras-chave

Consumo energético em comunicações ópticas, Reconfigurabilidade, Sustentabilidade, dispositivos de baixo consumo

resumo

Nas últimas décadas, as tecnologias de semicondutores emergentes têm sido responsáveis por enormes progressos tecnológicos no mundo.

Neste período esta indústria cresceu a uma taxa média da ordem de 16%, enquanto que a economia em geral apenas cresceu 4%. Os avanços na área da microeletrónica permitiram a agregação de valor em toda a cadeia produtiva de praticamente todos os segmentos industriais.

O sector das telecomunicações tem constituído um dos principais motores de desenvolvimento e transformação da nossa sociedade nas últimas décadas. É uma área em profunda e rápida mudança em todo o mundo. Equipamentos, tecnologias de informação, convergência de redes, de plataformas e de serviços estão na génese desta grande evolução.

No seguimento, um crescente nível de actividade de investigação na procura processos mais eficientes, onde eventualmente energia e que hoje é desperdiçada em filtros e outros processos pode vir a ser usada como fonte de energia alternativa para micro-dispositivos electrónicos, tais como, energy harvesters e "parasitic power sources".

keywords

Energy consumption in optical communications, Reconfigurability, Sustainability Networks, Trends, energy harvesters.

abstract

In recent decades, the developments in semiconductor technology have been responsible for an enormous technological progress in the world.

In this period the telecommunications industry grew at an average rate of 16%, while the overall economy grew only 4%. Advances in microelectronics have allowed the aggregation of value across the supply chain of virtually all industries.

Telecommunications sector has been a major driver of the development and transformation of our society in recent decades. It is an area that is suffering a fast change in the world. Equipment, information technology, convergence of networks, platforms and services are at the root of this great development.

As a result, we have an increasing research effort to find more efficient processes, eliminate energy waste and searching for other processes that might be used as an alternative energy source for micro-electronic devices such as energy harvesters.

.

Índice de Conteúdos

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e motivação.....	1
1.2. Objectivos	1
1.3. Estrutura da Dissertação	1
2. Sistemas sustentáveis	3
2.1. O futuro e a sustentabilidade.....	3
2.2. As TIC para o desenvolvimentos sustentável	4
2.3. Tendências Tecnológicas.....	7
2.4. Infra-estruturas de Telecomunicações.....	8
2.5. O Potencial de redução das TIC — sector a sector.....	9
3. Redes de Comunicação óptica	13
3.1. Do Cobre à Fibra.....	13
3.2. O Futuro das redes de comunicações ópticas.....	14
3.2.1. Requisitos das Redes Futuras.....	17
3.2.2. Tecnologias Emergentes Para as Redes de Acesso Futuras	17
4. Redes ópticas Sustentáveis	19
4.1. Sustentabilidade em redes ópticas	19
4.2. A rede global	19
4.2.1. Rede de Acesso	20
4.2.2. Topologias nas redes de acesso	24
4.2.3. Vantagens das redes PON	26
4.3. Caso de estudo	28
4.3.1. Central Office (CO)	29
4.3.2. Nó Remoto	30
4.4. A Reconfigurabilidade Como parte da solução	34
4.5. Sistema de Harvesting e Actuadores.....	35
5. Caracterização eléctrica de componentes.....	39
Características eléctricas do Microcontrolador e desmodulador	39
Características do “switch” Óptico.....	41
Caracterização do Fotodiodo e Conversor Opto-Eléctrico	41
Caracterização Conversor DC/DC.....	44
6. Conclusão	47
6.1. Sugestões de Trabalho Futuro	48
Apêndice A	49
Tramas de Comunicação	49

Bibliografia..... 53

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Relação do consumo energético com o tráfego IP [4] [5].	5
Figura 2.2 – (a) Densidade de infra-estruturas de telecomunicações (b) Densidade populacional [6]	6
Figura 2.3 - Evolução Geográfica das TIC [3]	7
Figura 2.4 – Tráfego IP por subcategorias [7]	7
Figura 2.5 – Emissões por dispositivos de Telecomunicações [3]	8
Figura 2.6 – Emissões das infra-estruturas de Telecomunicações[8]	9
Figura 2.7 - Impacto das TIC nos vários sectores [3]	10
Figura 3.1- Previsão do crescimento das redes FTTH. [11]	15
Figura 3.2 - A evolução das gerações de sistemas por fibra óptica. [12]	17
Figura 4.1 - Rede Global IP [13]	20
Figura 4.2 - FTTx	23
Figura 4.3 - FTTH - Topologia em Estrela [14]	25
Figura 4.4 - Arquitectura Rede Óptica Passiva (PON) [14]	26
Figura 4.5 - Arquitectura de Rede SARDANA [12]	28
Figura 4.6 – Disposição dos RN no anel de fibra óptica [15]	30
Figura 4.7 - Arquitectura do nó remoto [12]	31
Figura 4.8 – Níveis de energia das fibras dopadas com Érbio [16]	32
Figura 4.9- Amplificação de sinal [12]	33
Figura 4.10 – Disposição dos RNs no anel de fibra óptica [18]	33
Figura 4.11 - Nó Remoto (RN) implementado e testado	34
Figura 4.12 - Diagrama de Blocos do Sistema Harvesting	36
Figura 4.13 - Modulo Harvesting desenvolvido no Instituto de Telecomunicações com três “switch”s 1:4	37
Figura 4.14 - Custos de reparação e manutenção para o cobre e fibra óptica nos diferentes cenários [19]	38
Figura A.5.1 - Máquina de estados do sistema de controlo	39
Figura A.5.2 - Eficiência em função da Potência óptica	41
Figura A.5.3 - Potencia eléctrica em função da Potência óptica	42
Figura A.5.4 - Eficiência em função da Potência óptica	43
Figura A.5.5 - Potência eléctrica em função da Potência óptica	44
Figura A.5.6 - Circuito do Conversor DC/DC Step-Up Simple Boost	44
Figura A.5.7 - Fase de carga L1 quando Q1 está a conduzir [20].	45
Figura A.5.8 - Fase de descarga de L1 quando Q1 não conduz [20].	45
Figura A.5.9 - Eficiência em função da potência óptica aplicada	46

Figura B.0.1 - Formato da trama de comunicação[21].....	49
Figura B.0.2 - Formato da Trama enviada pelo CO.....	50
Figura B.0.3 - Consumos Energéticos do dispositivo implementado no Nó Remoto	51

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 - Bases PON [14].....	26
Tabela A.0.1 - Características eléctricas do MCU	40
Tabela A.0.2 - Características eclécticas do desmodulador de comunicações	41
Tabela A.0.3 - Características eléctricas do comutador óptico	41

Lista de Acrónimos

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
APON	ATM Passive Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BPON	Broadband PON
CAPEX	Capital Expenditure
CO	Central Office
CQNUMC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática
DSL	Digital Subscriber Line
EDF	Erbium Doped Fibber
EMI	Electromagnetic interference
EPON	Ethernet PON
FFTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Cabinet
FFTH	Fiber To The Home
FFTO	Fiber To The Office
FTTN	Fiber To The Node
FFTX	Fiber To The X
FITL	Fiber In The Loop
GBA	Geographic Bandwith Allocation
GEE	Gases Efeito Estufa
GPON	Gigabit PON
GSM	Groupe Special Mobile
HDSL	High-Bit-Rate Digital Subscriber Line
IC	Integrated circuit
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol television
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU-T	Internation Telecom Union – Telecommunication
LAN	Local Area Network
LCD	Liquid Crystal Display
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
NGN	Next Generation Network

OADM	Optical Add-Drop Multiplexer
OBS	Optical Burst “switch”ing
OLT	Optical Line Terminal
ONT	Optical Network Terminal
ONU	Optical Network Unit
OPEX	Operational Expenditure
PC	Personal Computer
PCM	Pulse Code Modulation
PON	Passive Optical Network
POP	Point Of Presence
PSTN	Public “switch”ed Telephone Network
QoS	Quality of Service
RADSL	Rate Adaptive DSL
RF	Radio Frequency
RFI	Radio Frequency Interference
RN	Remote Node
SARDANA	Scalable Advanced Ring Based Passive Dense Access Network Architecture
SDSL	Symmetric ou Single line-high-bit-rate
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
TIC	Tecnologias Informação e Comunicação
TCMA	Tiered Contention Multiple Access
ULP	Ultra Low Power
VDSL	Very-High Digital Subscriber Line
WAN	Wide Area Networking
WDM	Wavelength Division Multiplexing

1. Introdução

As telecomunicações são hoje uma das mais importantes componentes do mercado global das tecnologias de informação, sendo vitais para ultrapassar a barreira do tempo e do espaço para a transmissão, acesso e processamento de informação em todos os níveis da sociedade.

A chave deste sucesso reside nas comunicações ópticas, as quais tornaram-se uma realidade com o advento da fibra óptica.

1.1. Enquadramento e motivação

O aparecimento da internet e o rápido crescimento das redes de dados teve um grande impacto no desenvolvimento da economia mundial. O crescimento da internet tem sido possível devido à disponibilização e o desenvolvimento de infra-estruturas de baixo custo, simples e escaláveis que permitem o crescimento sustentável. O aumento do número de utilizadores e o aparecimento de novos serviços emergentes, tais como vídeo-on-demand, videoconferência, jogos interactivos, fizeram disparar o tráfego de dados que circula na rede global e consequentemente o consumo de energia dos equipamentos de transmissão de dados. A eficiência energética dos equipamentos de rede torna-se um factor cada vez mais importante, tanto a nível ambiental, como social e político. É então necessário contabilizar o consumo dessa energia em função das tecnologias utilizadas. E apresentar alternativas para a melhoria de eficiência energética dessas redes de comunicação.

1.2. Objectivos

Este trabalho tem como principal objectivo analisar o consumo energético das infra-estruturas de telecomunicações das redes globais, tendo em conta as necessidades futuras, propondo uma solução alternativa para melhorar eficiência energética da rede global.

1.3. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos que descrevem o consumo energético das TIC, as evoluções das redes de comunicação e a abordagem a um caso prático referente à sustentabilidade em sistemas de acessos totalmente ópticos nas redes de nova geração.

No primeiro capítulo a título introdutório, encontram-se o enquadramento, motivação e objectivos do trabalho.

Seguindo-se, o capítulo 2, “Sistemas Sustentáveis”, com a análise do tema sustentabilidade e as TIC. A evolução das comunicações ópticas e as tecnologias emergentes será abordado no terceiro capítulo.

O capítulo 3, “Redes de Comunicação Óptica”, é feita uma abordagem à evolução das comunicações ópticas e tecnologias emergentes.

A abordagem da sustentabilidade em comunicações ópticas será feita no capítulo 4, “Redes Ópticas Sustentáveis”, engloba também um caso prático, referente a redes de acesso de nova geração.

Por fim, em termos de conclusão e consolidação, no quinto capítulo, será feita uma breve apreciação sobre o trabalho realizado. Propondo sugestões para melhoria de um trabalho futuro.

2. *Sistemas sustentáveis*

“Não herdamos o Presente dos nossos pais, pedimo-lo emprestado aos nossos filhos.” Saint-Exupéry (1900-1944)

Este capítulo dá uma visão clara do papel fundamental das TIC no que respeita ao combate às alterações climáticas. Pressupondo não só, a redução de emissões e racionalização da energia no sector das TIC, mas trazendo também outros benefícios para influenciar e transformar a maneira de como se comporta a sociedade de hoje. Neste capítulo será ainda feita uma breve análise aos consumos directos pelas TIC e o potencial de redução das TIC nos sectores da indústria, construção, transporte e energia.

2.1. O futuro e a sustentabilidade

Analisando o comportamento da humanidade ao longo da sua existência, observa-se um grande fascínio pelo uso de novas tecnologias. A preocupação com base no desenvolvimento sustentável a uma escala global é cada vez maior e suscita uma série de questões no que se refere ao uso de novas tecnologias. Essas questões debatem-se efectivamente, nas contribuições do uso dessas tecnologias para a melhoria da qualidade de vida e o ponto em que o uso dessas tecnologias passa a contribuir de forma nefasta para a qualidade de vida humana.

A base do desenvolvimento sustentável não pode ser entendida apenas sob o ponto de vista energético, é necessário ter em conta uma série de aspectos e critérios, para se poder avaliar a viabilidade de uma tecnologia em relação a outras. Esses aspectos e critérios que determinam a viabilidade da tecnologia englobam também o consumo energético durante a sua concepção, o impacto ambiental dos resíduos daí resultantes e o tempo de degradação natural da tecnologia.

O conceito de desenvolvimento sustentável pode ser então entendido como: o desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração actual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades, significa possibilitar que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social e económico e de realização humana e cultural, fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitats naturais. — Relatório Brundtland [1]

Tendo sido o século XX marcado pelo crescimento económico e pelo consumo de energia, inevitavelmente no século XXI, assistir-se à a uma diminuição dos recursos

naturais e à minimização das cargas ambientais. Os conceitos como a reciclagem e a produção, são exemplos de inovação e evolução no difícil caminho com rumo ao desenvolvimento sustentável. No momento em que as grandes economias mundiais são dominadas sobretudo pelas indústrias de serviços, a inovação tecnológica deu lugar às novas tecnologias da informação, as quais conduzem a preocupações fundamentadas na viabilidade, utilidade e o impacto que estas causam nas gerações futuras.

2.2. As TIC para o desenvolvimento sustentável

Normalmente temos tendência para associar as questões energéticas com a utilização de transportes, logística e indústria. No entanto, o consumo energético está também relacionado com as novas tecnologias de informação e comunicação (TIC) as quais estão a captar a atenção mundial. Qual o contributo das TIC no consumo global energético e como será a sua evolução nos próximos anos. São questões pertinentes que devem ser analisadas em detalhe.

As novas tecnologias tem captado a atenção da sociedade, sobretudo desde a década de 80. O computador, as telecomunicações e recentemente, a Internet são, tecnologias consideradas como impulsionadoras e estimuladoras da inovação. Promovem o progresso económico, fomentando a competitividade e a diversificação da economia.

Nenhum sector, contribuiu tanto como as TIC para mudar a forma de como comunicamos e interagimos. A mobilização das TIC para o combate às alterações climáticas traz um grande impacto para a sociedade de hoje.

Em 1997, trinta e quatro países estiveram envolvidos no protocolo de Quioto, o acordo juridicamente vinculativo negociado com o apoio da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (CCNUMC). Este acordo estabelece uma redução média de 8% em 2012 nas emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE) para os 15 países da UE relativamente aos níveis de 1990. [2]

As TIC poderão dar o contributo decisivo de modo a que seja possível cumprir os ambiciosos objectivos na matéria de reduções de emissões. Nomeadamente nos sectores da Indústria, dos Transportes, Edifícios e Energia tornando-os mais eficientes energeticamente. [3]

O Impacto ambiental das TIC

A quantidade de energia consumida pela maioria dos dispositivos de telecomunicações tem vindo a diminuir progressivamente ao longo do tempo. Basta lembrar os equipamentos de GSM na década anterior, em que o tamanho era proporcional ao custo e a autonomia em standby era muito reduzida, cerca de um dia.

Hoje, são equipamentos economicamente acessíveis a todas as bolsas e a sua autonomia é cerca de vinte dias. Ou seja, vinte vezes mais eficientes energeticamente que os seus primórdios.

Mesmo com a actual tecnologia na realização de uma simples chamada telefónica, os intervenientes estão ligados através de inúmeros equipamentos de telecomunicações que permitem a realização da chamada. O consumo da energia da realização da chamada não pode ser calculada simplesmente pela soma do consumo de energia gasta pelos dispositivos individualmente, pois esses dispositivos são partilhados simultaneamente por muitos outros utilizadores. O valor do consumo pode no entanto ser estimado, tendo em conta o numero de chamadas realizadas num dado período. Este raciocínio estende-se para as restantes tecnologias de informação e comunicação.

Nas TIC, o ritmo dos desenvolvimentos tecnológicos fazem crescer as expectativas e exigências do consumidor. O que tem despertado sérias atenções para os impactos ambientais no que respeita ao aumento de consumos energéticos nas TIC.

Em 2007, segundo o relatório smart 2020, refere que as TIC foram responsáveis por 2% das emissões globais de carbono, que corresponde a 830 MtCO₂e de emissões nesse ano [3]. Nesta fatia estão incluídos os computadores pessoais (PCs), as redes de telecomunicações e Data Centers. Mesmo com a evolução da tecnologia e a eficiência energética, prevê-se que esta “pegada” venha a ser ainda maior devido ao aumento do numero de utilizadores e da penetração de novos dispositivos electrónicos no mercado, crescendo 6% ao ano até 2020 [3]. Os gráficos da Figura 2.1 mostram a relação do consumo das TIC, em função da largura de banda.

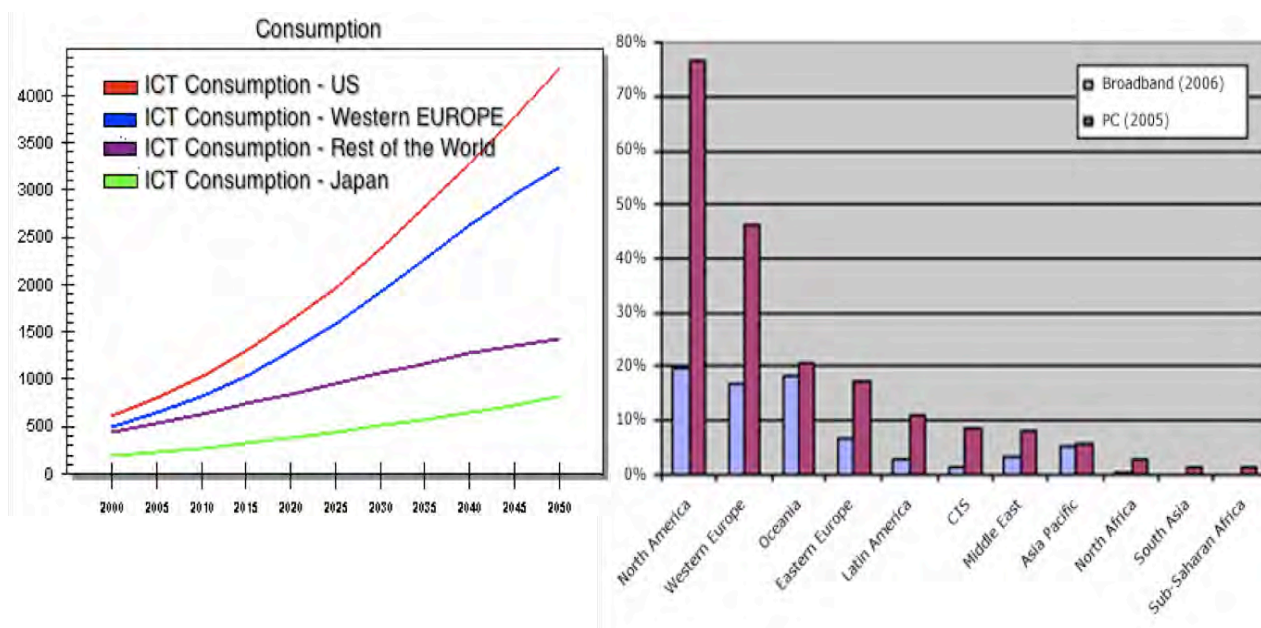


Figura 2.1 - Relação do consumo energético com o tráfego IP [4] [5].

Pela observação da Figura 2.1, o gráfico da direita mostra a utilização da rede de internet nos vários pontos do globo em 2006, estando a América do Norte, Oceânia e Europa Central no ranking dos três maiores utilizadores da rede internet. O aparecimento de novos serviços e tecnologias, tais como IPTV, internet móvel, traduziu-se no aumento do consumo energético e a utilização intensiva dos equipamentos, tais como, computadores pessoais. O gráfico da esquerda representa o consumo energético das TIC que advém da utilização da internet. Sendo os Estados Unidos e Europa Ocidental os maiores consumidores de energia.

Pode-se observar geograficamente na Figura 2.2 a disposição das infra-estruturas de rede internet actual (a) e as zonas de maior densidade populacional mundial (b).

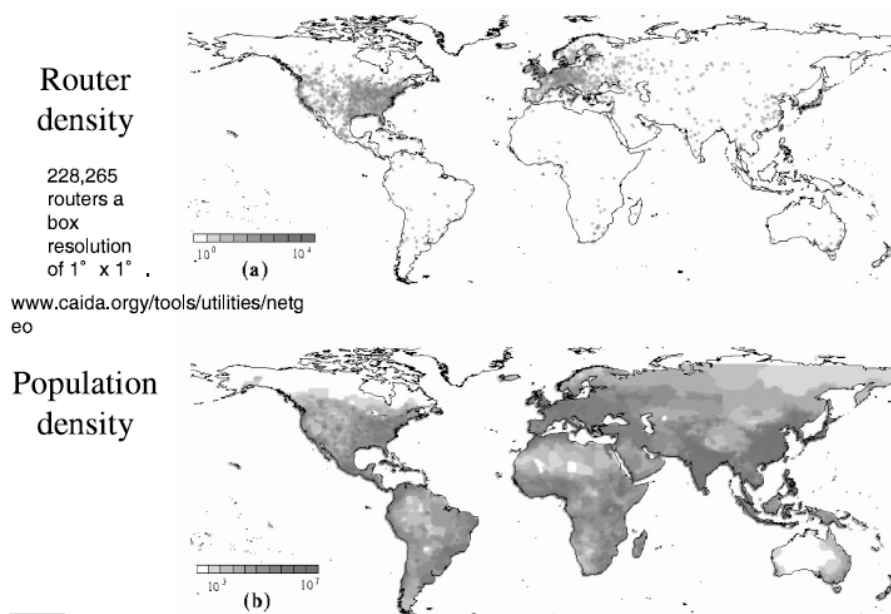


Figura 2.2 – (a) Densidade de infra-estruturas de telecomunicações (b) Densidade populacional [6]

Embora não se espere um crescimento das TIC em países desenvolvidos, o crescimento mais significativo é atribuído aos países em desenvolvimento. Hoje, apenas 10% pessoas possuem um PC na China, em 2020, que terá proporção de 7 em cada 10. Em 12 anos, 50% da população chinesa vai possuir um telefone móvel e metade das famílias terá uma ligação de banda larga.[3]

Em 2020, 40% da população mundial terá um PC, 50% possuem um telefone móvel e 5% das famílias terá uma ligação de banda larga. Considerando que as populações da China e Índia são actualmente 1,3 bilhões e 1,1 bilhões, respectivamente. E que o consumo da economia indiana deverá quadruplicar nos próximos quatro anos e na China mais de 80%, estas são as zonas de um enorme potencial crescimento das TIC. [3]. A Figura 2.3, refere-se às emissões nas várias zonas do globo provenientes das TICs

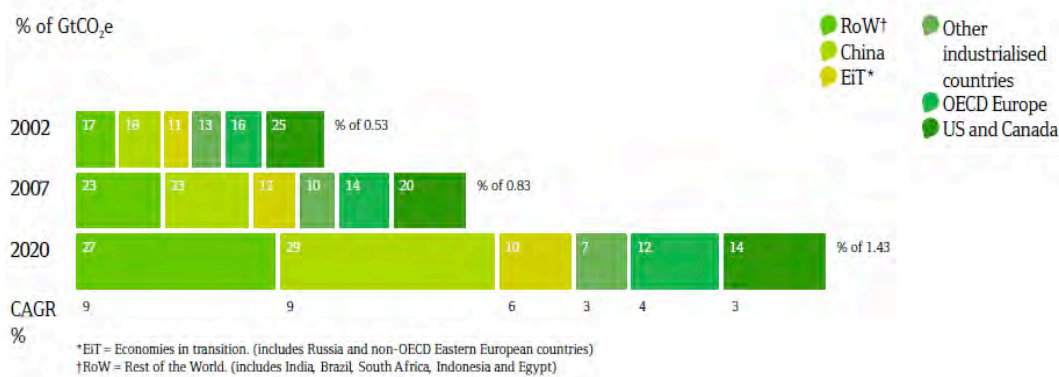


Figura 2.3 - Evolução Geográfica das TIC [3]

2.3. Tendências Tecnológicas

O aumento das comunicações móveis e a utilização da Internet ao longo dos últimos anos tem sido impulsionado pelo aumento das infra-estruturas de telecomunicações. A Figura 2.4 mostra uma previsão da evolução das várias tecnologias de telecomunicações desde 2005 até 2011.

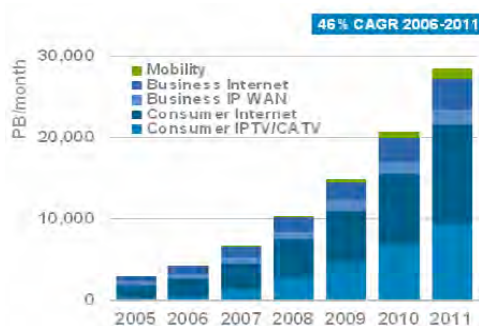


Figura 2.4 – Tráfego IP por subcategorias [7]

Nas comunicações fixas, a evolução das redes manter-se-á constante, embora o número de clientes de banda larga tende a duplicar até 2020. [3].

O uso de telefones móveis, carregadores, dispositivos de TV (IPTV) e routers de banda larga em casa tendem a aumentar ao longo dos próximos 12 anos, devido em grande parte ao crescimento na China e na Índia. A pegada global foi de 18 MtCO₂e em 2002 para os dispositivos de telecomunicações e é esperado um aumento quase três vezes de 51 MtCO₂e em 2020, impulsionado principalmente pelo aumento no uso dos modems de banda larga, routers e dispositivos de IPTV. (ver Figura 2.5)

Em 2002, havia 1,1 bilhão de clientes móveis. E deverá aumentar para 4,8 bilhões em 2020, será a maior fonte de emissão global das telecomunicações. O número de routers irá crescer de 67 milhões em 2002 para 898 milhões em 2020. [3]

A banda larga também tem sido cada vez mais utilizada para transmissão de IPTV. O equipamento terminal sofrerá um aumento significativo devido a dois factores diferentes: a crescente penetração de dispositivos de TV nas nossas casas e de dispositivos relativos a equipamentos de banda larga. O primeiro caso relaciona-se com as múltiplas aplicações disponíveis hoje para as nossas televisões (por ex. caixas descodificadoras); o segundo caso está ligado à tendência de conectividade crescente, que leva ao aumento do número de routers [3].

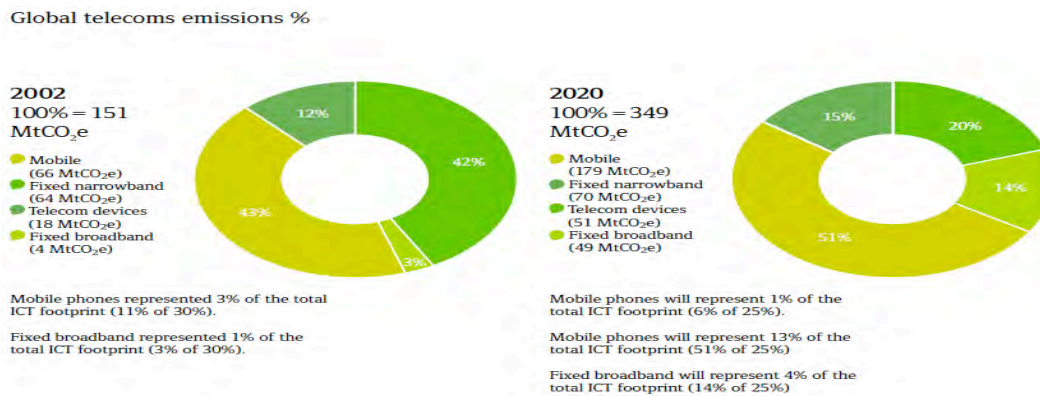


Figura 2.5 – Emissões por dispositivos de Telecomunicações [3]

2.4. Infra-estruturas de Telecomunicações

Como a demanda por dispositivos de telecomunicações cresce, inevitavelmente, assim acontecerá a necessidade de infra-estrutura que a suporta. Esse crescimento é devido não só ao aumento do número de clientes de banda larga e móveis em economias emergentes, mas também à partilha de vídeos, jogos e outras redes ponto-a-ponto.

O contributo das infra-estruturas de telecomunicações, incluindo o uso de energia em curso e do carbono incorporado na infra-estrutura, foi de 133 MtCO₂e em 2002. Isto é esperado mais do que duplicar, 299 MtCO₂e em 2020, uma taxa de crescimento de 5% ao ano (Figura 2.6).

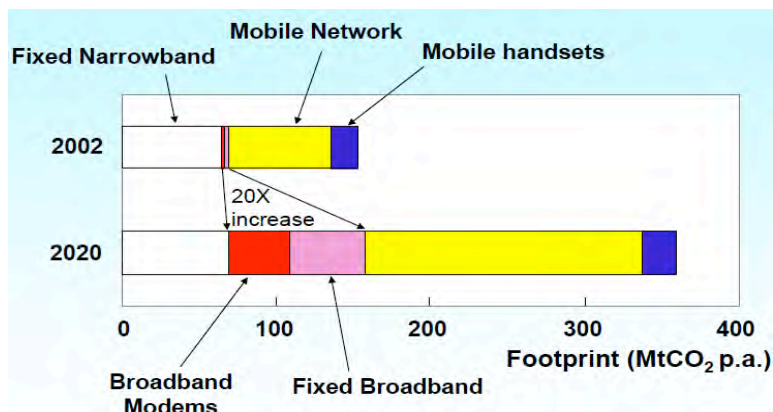


Figura 2.6 – Emissões das infra-estruturas de Telecomunicações[8]

Um dos maiores contributos para as emissões de carbono em 2020 será de redes móveis, impulsionada em grande parte pelo aumento de base stations e de centros de encaminhamento móvel.

Em termos globais em 2020, é esperado uma diminuição no consumo de energia das redes de telecomunicações por utilizador, devido à adopção das medidas de eficiência. Por exemplo, as tecnologias de infra-estrutura móvel actualmente disponíveis incluem pacotes de rede de optimização que podem reduzir o consumo energético em 44% e a utilização de energia solar nas base stations, que poderá reduzir as emissões de carbono em 80%.

2.5. O Potencial de redução das TIC — sector a sector

Embora muito tenha sido feito e algumas metas ambiciosas já tenham sido cumpridas por um número de empresas. A gravidade e urgência em cumprir estas metas, apela à utilização das tecnologias TIC para a redução do consumo energético na produção, distribuição e na prestação de serviços, dos vários sectores da industria. O potencial de redução possibilitado pelas TIC depende de dois factores: o ponto de partida de cada sector em termos de eficiência energética e o papel que as TIC podem desempenhar na redução de emissões.

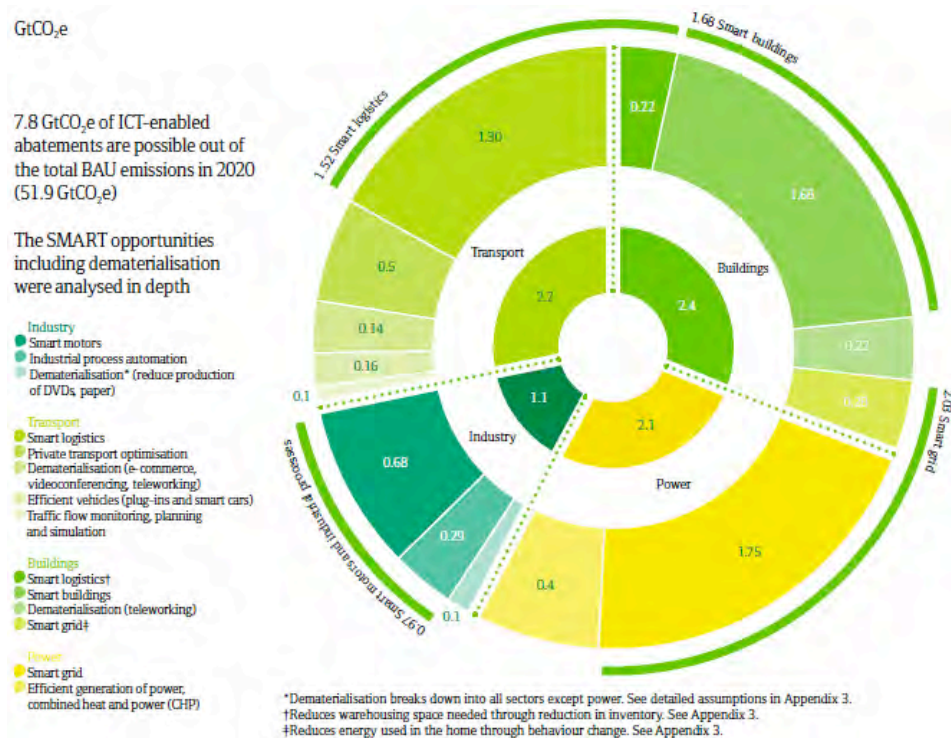


Figura 2.7 - Impacto das TIC nos vários sectores [3]

As iniciativas identificadas para obter a necessária redução de emissões possuem níveis diferentes de impacto e de envolvimento das TIC.

No diagrama da Figura 2.7 pode-se observar os sectores onde as TIC exercem um grande potencial na redução do consumo de energia tanto em edifícios, como nos transportes, na produção de energia eléctrica e na indústria.

A identificação das iniciativas de redução envolveu análise e discussão com especialistas da indústria. Nessa análise foram consideradas as áreas onde se consideram fazer as reduções mais significativas:

- Sistemas de motores eléctricos, ligados a todos os tipos de motores, bombas e outro equipamento industrial utilizado nos processos industriais. Os motores eléctricos são mais utilizados em indústrias europeias devido à sua elasticidade (facilidade de utilização e flexibilidade de carga).
- Produção de calor e frio, tendo em conta a co-geração, os sistemas de combustão total e de recuperação térmica.
- Iluminação, em termos de consumo de electricidade relacionado com a utilização de equipamento mais eficiente e sistemas baseados em ocupação.
- Eficiência de processos industriais, na monitorização, no tratamento de efluentes e na manutenção de equipamentos.

Na área dos motores eléctricos e iluminação, o envolvimento das TIC permite: no caso dos motores eléctricos, a monitorização, das condições de trabalho e afinação dos

mesmos, se necessário. Na iluminação, a gestão de sensores e actuadores pode fazer aumentar eficiência energética desta área.

Nas duas outras áreas de interesse, as TIC seriam utilizadas principalmente para ferramentas de simulação utilizadas na fase de concepção que precede qualquer alteração/optimização de processo industrial.

3. Redes de Comunicação óptica

3.1. Do Cobre à Fibra

O homem, desde cedo, soube aproveitar as fontes luminosas existentes para fins de comunicações a longas distâncias. Com recurso a materiais reflectores, o Sol serviu como base para os primeiros sistemas de comunicações ópticas conhecidos. As distâncias eram limitadas pela sensibilidade dos receptores ópticos utilizados, os olhos humanos.

Em 1910, os alemães Hondros e Debye realizaram a primeira análise teórica completa sobre a propagação electromagnética em cilindros dieléctricos. Em 1930, o alemão Lamb desenvolveu as primeiras experiências de transmissão de luz em fibras de vidro.

Com a invenção do laser em 1958, os esforços de pesquisa e desenvolvimento em comunicações ópticas tiveram um novo impulso.

Nascia, assim, uma fonte de luz coerente, de alta potencia, capaz de ser modulada a alta frequência. Além do mais, a baixa divergência do feixe laser permitiu que a transmissão óptica no espaço livre fosse viável. No entanto, os problemas de transmissão na atmosfera persistiram, restringindo a sua aplicação a curtas distâncias.

A proposta de utilizar guias de onda dieléctricos, ou fibras ópticas, para meio de transmissão óptico, evitando assim a degradação do sinal óptico pela atmosfera, foi feita por C. Kao e G.Hockham, em 1966. Previram que atenuações de 20 dB/km, pela remoção de impurezas do vidro, seriam alcançáveis tecnologicamente, o que tornaria a fibra óptica um meio de transmissão viável.

Em 1970, Maurer, D. Keck e P. Schultz, da Corning Glass Inc., ultrapassaram a barreira dos 20 dB/km. A revolução da fibra óptica tinha começado.

Nas seguintes duas décadas de investigação e desenvolvimento intenso, reduziram a atenuação a 0,16 dB/km (uma perda de potencia de sinal óptico de 4%/km) a 1550 nm, a qual está próxima do valor teórico de 0,14 dB/km [9].

Durante os anos 70, a ênfase em sistemas por fibra óptica foi dada pelas aplicações militares, principalmente nos EUA. No início dos anos 80, assiste-se ao desenvolvimento de sistemas de transmissão por fibra óptica aplicados na rede telefónica. Estes eram ligações digitais suportando canais de voz a 64 kb/s, multiplexados por divisão temporal ("TDM- Time Division Multiplexing"). Somente em 1983 se deu o segundo passo decisivo com a introdução, em larga escala, de fibra óptica mono modo, operando a 1300 nm, na rede telefónica norte-americana de longa distância. Em 1985, a operação a 1550 nm (a 3ª janela de transmissão) tornou-se uma opção prática e os sistemas comerciais começaram

a ser implementados, tirando partido da menor atenuação apresentada pela fibra óptica nesta janela de operação.

Em paralelo com estes desenvolvimentos, assistiu-se a um aumento do desempenho dos sistemas por fibra óptica, com taxas de transmissão dos sistemas ópticos a crescerem a ritmos elevadíssimos, passando de alguns Mb/s, nos finais dos anos 70, para alguns Gb/s, em 1988. Tal crescimento foi acompanhado pelo aumento das distâncias de transmissão, sem qualquer regeneração de sinal, que passaram de alguns km para centenas de km.

De entre muitos pontos importantes que devem ser tidos em conta, a fibra óptica apresenta características de transmissão que reúnem o “melhor de dois mundos”: largura de banda virtualmente ilimitada com perdas mínimas e a imunidade a interferências electromagnéticas. Combinando a capacidade da fibra óptica com as suas características de atenuação do sinal (tipicamente, inferiores a 0,3 dB/km). Assim, a largura de banda tornou-se mais acessível, uma consideração importante para o futuro dos serviços de banda larga, tal como a televisão de alta definição. Neste ponto de vista, a fibra óptica pode vir a substituir a maioria dos outros meios de transmissão, incluindo o cobre, cabo coaxial e algumas aplicações via rádio.

Relativamente a sistemas electrónicos suportados por cobre (pares de cobre e/ou cabo coaxial), a fibra óptica apresenta em termos simples as seguintes vantagens: largura de banda virtualmente ilimitada; imunidade a interferências electromagnéticas (não radia nem é afectada por energia electromagnética); perdas baixas; segurança da comunicação (a fibra óptica é inerentemente “segura”, a menos que haja contacto ou distorção física; mesmo em tal situação, é fácil detectar a intrusão dado que esta exige o desvio de uma porção considerável da potência óptica transmitida). [10]

Em relação a sistemas por microondas, a fibra óptica tem como principais vantagens: a largura de banda quase ilimitada; o facto de não ser condicionada pelas condições atmosféricas; apresenta imunidade às interferências rádio magnéticas (EMI) e de radiofrequência (RFI); além destas, não necessita de licenciamento nem coordenação de espectro de frequências pois é um sistema guiado [10]. Assim sendo, apresenta-se como uma excelente alternativa aos satélites em sistemas de transmissão a longa distância, em pontos caracterizados por grande tráfego.

3.2. O Futuro das redes de comunicações ópticas

O mundo das telecomunicações modernas está a atravessar um período de revolução, em que os utilizadores exigem cada vez mais e melhores conteúdos, a qualquer hora e em qualquer ponto do globo onde se encontrem.

Os serviços de voz, de transmissão de dados a alta velocidade e de televisão já fazem parte do cotidiano das pessoas e das empresas. Hoje em dia, a convergência das tecnologias de comunicação tem obrigado os operadores a fazer uma utilização mais eficiente das infra-estruturas disponíveis, procurando minimizar tanto o investimento operacional (OPEX – “Operational Expenditure”) como o equipamento (CAPEX – “Capital Expenditure”). Serviços como o triple-play começam a ter uma quota de mercado significativa, obrigando os fabricantes de equipamentos a adequar os seus produtos à nova realidade.

Porém, o aumento tanto do número de assinantes, como da largura de banda consumida por assinante, tem obrigado a que a capacidade de transporte das redes de comunicação óptica entre cidades ou países (ou redes de longa distância) cresça para números que já rondam os petabits. Na Figura 3.1 pode observar-se a evolução das redes FTTH nos países da Comunidade Europeiaia.

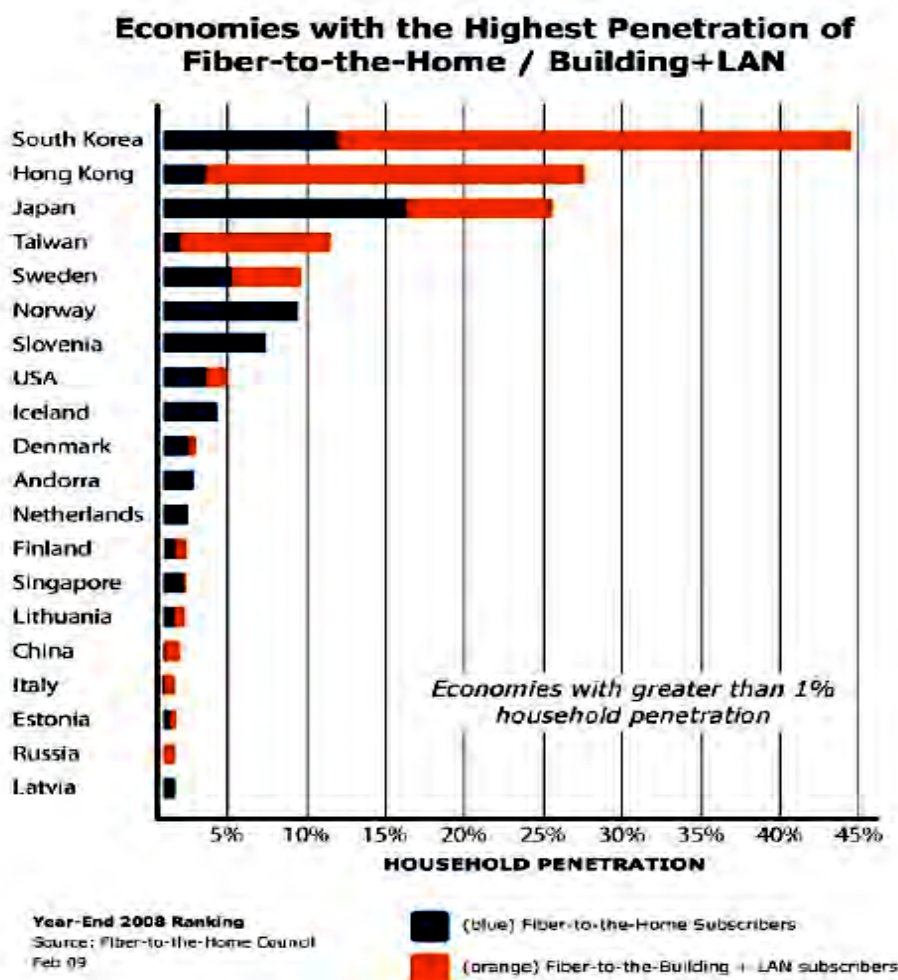


Figura 3.1- Previsão do crescimento das redes FTTH. [11]

A capacidade de transmissão actual destes sistemas é da ordem dos 10 mil milhões de bits por segundo (ou 10 Gbit/s) por cada canal óptico ou cor de luz, correspondente a 124.992 chamadas telefónicas simultâneas.

No futuro próximo, começar-se-á a aumentar progressivamente a capacidade dos canais de transmissão actuais para os 40 mil milhões de bits por segundo (ou 40 Gbit/s), multiplicando a capacidade actual por um factor de quatro ou 10, para as redes 100Gbit/s.

Actualmente, estas redes, para o cliente final, fornecem apenas débitos nominais relativamente baixos, dos 155 Mbit/s até aos 2.5 Gbit/s, que são tipicamente partilhados no tempo, TDM (multiplexagem temporal). No entanto, a generalização de serviços de banda larga, como o triple-play, poderá tornar necessário aumentar significativamente estes débitos. Nestas redes, os sinais de débito mais baixos são combinados entre si, formando sinais de débito mais elevados através de multiplexagem por divisão no tempo ou TDM. Esta tecnologia consiste em partilhar o tempo de transmissão por diferentes sinais. Cada sinal fica, assim, associado a um intervalo de tempo: um time-slot para redes fixas (ex.: redes telefónicas) ou um pacote para redes de pacotes (ex.: redes Ethernet).

A rede global está dividida em três grupos: acesso, metro e núcleo. Sendo as redes de acesso como o próprio nome indica, as que permitem o acesso aos clientes. As metro situam-se entre as redes de acesso e as redes núcleo tendo como função agregar e combinar os sinais provindos das redes de acesso com pontos de inserção/extracção muito próximos. As redes do núcleo, estão no topo da cadeia, tal como as metro, tem a função interligarem as cadeias da camada mais baixa, as redes metro.

As redes ópticas metro e core têm normalmente arquitecturas mistas (meshed) em que parte pode ser reduzida a estruturas em anel, de forma a assegurar, pelo menos, dois caminhos (um de protecção e um de trabalho) entre cada dois nós da rede. Assim, é possível assegurar protecção em caso de falha de uma ligação entre dois nós.

No caso de redes metropolitanas, os anéis podem atingir perímetros de 300 km, chegando, em alguns casos, aos 500 km. Neste caso, necessitam de amplificação óptica e de regeneração de sinais a nível eléctrico.

Esta última funcionalidade contribui significativamente para o custo total das redes metropolitanas, uma vez que obriga à desmultiplexagem prévia de todos os canais e à sua posterior regeneração individual.

Por sua vez, as redes de longa distância são utilizadas para agregar e transportar o tráfego das redes metropolitanas. Como tal, estas redes podem facilmente atingir distâncias superiores a 1000 km, utilizando WDM para combinar várias dezenas ou até centenas de sinais a 10 Gbit/s. Este tipo de redes, nas quais se inclui o caso particular das

redes submarinas, emprega diversas técnicas de amplificação óptica, compensação de dispersão e regeneração. Ao contrário das redes metropolitanas, onde o principal objectivo é a flexibilidade, as redes de longa distância visam maximizar a sua capacidade de transmissão e alcance geográfico. Estas redes suportam somente ligações fixas ou semi-fixas, dispensando complexas matrizes de comutação.

A Figura 3.2 apresenta a evolução das gerações de diferentes sistemas por fibra óptica, ao longo dos anos, em função da taxa de transmissão.

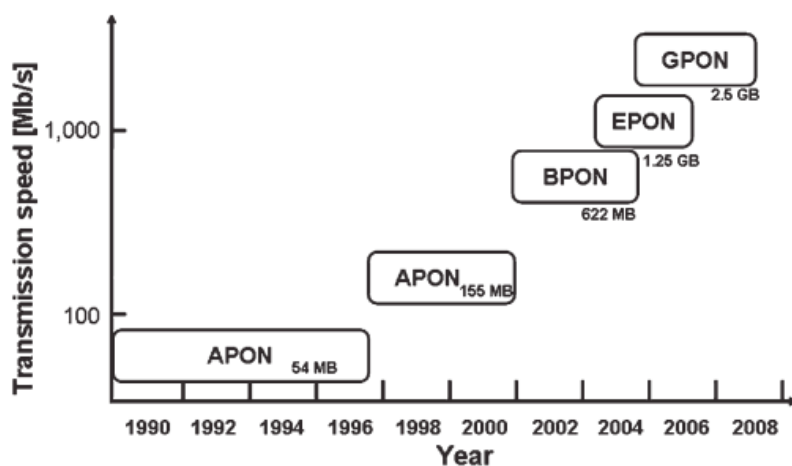


Figura 3.2 - A evolução das gerações de sistemas por fibra óptica. [12]

3.2.1. Requisitos das Redes Futuras

O rápido crescimento das redes ópticas levou à necessidade de desenvolver técnicas para aumentar ainda mais a sua capacidade, bem como melhorar a sua flexibilidade otimizando os recursos disponíveis.

Assim, tem-se assistido, nos últimos anos, a um crescente interesse em tecnologias de processamento óptico como forma de aumentar a capacidade e a flexibilidade das redes ópticas. Recentemente, devido à proliferação de serviços de banda larga, este aumento de capacidade tornou-se urgente, de forma a suportar a capacidade crescente disponibilizada pelas redes de acesso.

3.2.2. Tecnologias Emergentes Para as Redes de Acesso Futuras

No rápido desenvolvimento das tecnologias de telecomunicações, a aposta será no desenvolvimento de tecnologias ainda em estado conceptual com débitos superiores a 40 Gbit/s.

No futuro pensa-se que seja possível capacidades de 160 Gbit/s em redes de anéis de longa distância e de 40 Gbits/s em redes de anéis metropolitanas. Estas velocidades

representam um acréscimo de 400% face aos equipamentos actualmente comercializados.

O preço dos dispositivos ópticos é determinado normalmente, pelos custos de embalagem (packaging) e pelas ligações do dispositivo ao exterior. Para estabelecer a viabilidade comercial das redes ópticas, é necessário que os vários subsistemas que compõem estas redes possam ser implementados com dispositivos facilmente integráveis num só circuito, com o intuito de reduzir os custos de implementação.

Os nós ópticos são constituídos por um grande número dessas tecnologias sofisticadas que conferem às redes ópticas funcionalidades importantes. Por exemplo, a possibilidade de agregação e regeneração transparentes de vários comprimentos de onda, encaminhamento de pacotes, uma diversidade de protocolos de novos serviços e aplicações disponibilizadas ao utilizador final.

No entanto, há outras tecnologias necessárias em redes totalmente ópticas, tais como dispositivos de desmultiplexagem/multiplexagem (Demux/Mux) óptica, OADMs (Optical Add-Drop Multiplexers) e dispositivos de comutação óptica de pacotes e regeneração óptica.

4. Redes ópticas Sustentáveis

4.1. Sustentabilidade em redes ópticas

As redes de telecomunicações e os serviços por elas disponibilizados constituem a espinha dorsal da sociedade de informação emergente. De facto, a grande maioria das recentes inovações tecnológicas têm-se tornado como parte integrante do crescimento sustentado na economia mundial. O crescimento da Internet tem sido possível graças ao baixo custo, à alta capacidade de transmissão, e ao aparecimento de novas tecnologias que proporcionam uma melhoria no desempenho do transporte de dados das redes de núcleo até às redes de acesso. Sendo as redes de acesso a infra-estrutura necessária para que os utilizadores, ou grupos de utilizadores, tenham acesso aos serviços de telecomunicações, com uma qualidade de serviço adequada a um custo razoável.

4.2. A rede global

As grandes redes ópticas podem ser classificadas em três categorias, redes núcleo, metro e acesso, como se pode ver na Figura 4.1. Não existem limites geográficos definidos para a identificação dessas três redes, contudo podem ser distinguidas com base no seu funcionamento e pela sua largura de banda.

A rede núcleo ou core, servem de elo de ligação às redes metro, e trabalham com larguras de banda que variam nas centenas de Gigabit por segundo até a alguns Terabit por segundo.

A rede metro ou metropolitanas, trabalham numa escala mais restrita, como o próprio nome indica, está associada a às grandes cidades. A largura de banda varia desde as centenas de Megabits por segundo até às dezenas de Gigabit por segundo.

A rede de acesso, como o próprio nome indica, proporciona o acesso do utilizador à rede. A Largura de banda varia entre as dezenas de Kbit por segundo até às dezenas de Megabit por segundo.

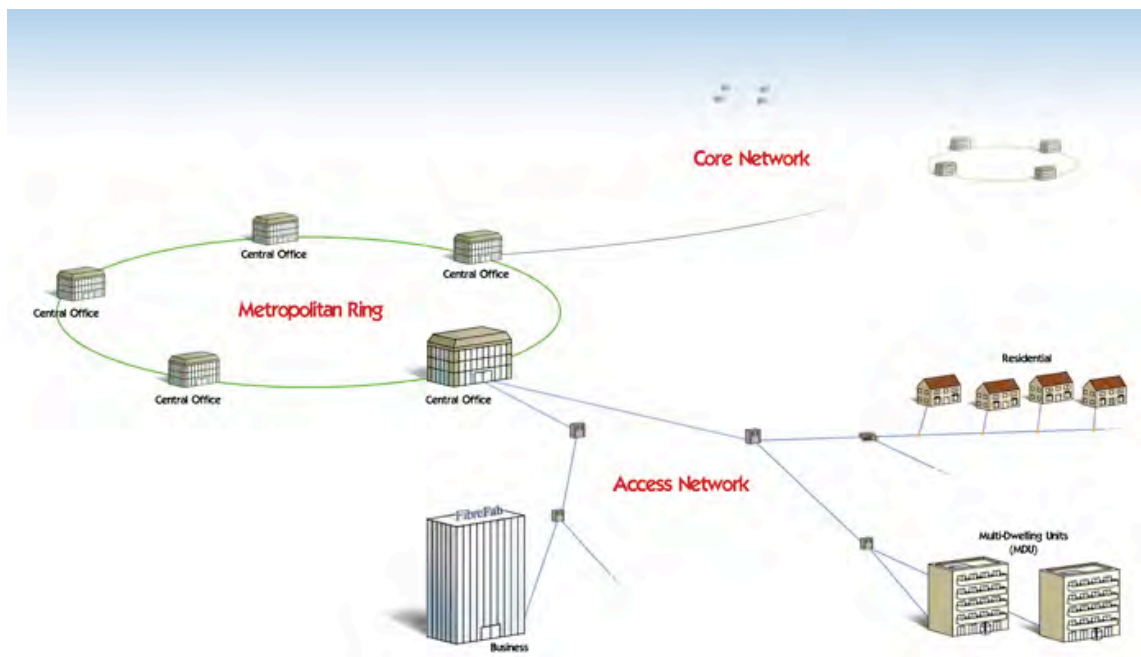


Figura 4.1 - Rede Global IP [13]

4.2.1. Rede de Acesso

O conceito de banda larga está normalmente associado ao funcionamento simultâneo de serviços de voz, vídeo e dados. Que justificam a necessidade da alta capacidade de largura de banda.

A rede de acesso é a responsável pela ligação da rede do fornecedor de serviços até à rede doméstica do cliente. Também conhecida como Last Mile, a ligação mais comum é o ADSL. Devido aos crescentes requisitos de largura de banda associados a novos serviços que surjam como o IPTV, os operadores poderão utilizar alternativas baseadas em redes de fibra óptica passiva (PON – Passive Optical Network) até cada edifício (FTTB – Fiber To The Building) ou mesmo até casa do cliente (FTTH – Fiber To The Home), permitindo débitos muito mais elevados.

4.2.1.1. Reutilização do cobre

Inicialmente os pares de cobre eram usados para prestar um serviço de telefonia fixa tendo sido interpretado como um obstáculo significativo no que concerne à sua capacidade. Com o melhoramento das tecnologias de cobre (xDSL) foram reutilizados para prestar um serviço de banda larga, continuando a haver um compromisso entre distância e capacidade, o que levou muitos provedores a trocar o cobre por tecnologias por fibra óptica.

A tecnologia ADSL utiliza técnicas de processamento de sinal digital que permitem tirar mais usabilidade das linhas analógicas. A tecnologia ADSL utiliza 3 canais de informação separados:

- Um canal downstream de alta velocidade
- Um canal upstream de média velocidade
- Um canal para serviços telefónicos básicos

Um circuito ADSL liga a um modem em cada ponta de uma linha de telefone comum e cria três canais lógicos, um para download de alta velocidade, um duplex de média velocidade para Upload, e uma POTS (Plain Old Telephony Services ou linha de voz comum) utilizada pelas companhias telefónicas. O canal de POTS é dividido no modem digital por filtros, garantindo canal de voz não seja interrompido, mesmo se houver falhas com o ADSL. Com as melhorias desta tecnologia, novas variantes surgiram.

Os sistemas HDSL (High bit rate Digital Subscriber Line) foram desenvolvidos para transmissão simétrica E1 (2048 Kb/s) ou T1 (1544 Kb/s). O HDSL foi largamente utilizado nos E.U.A., em aplicações comerciais. Transmite 1.5 Mbps em cada sentido, isto com vista a substituir o sistema T1. No entanto, na Europa e devido ao aumento da procura de serviços a 2 Mbps, o HDSL passou a ser visto como o substituto dos sistemas E1.

O RADSL, Rate Adaptive Digital Subscriber Line, é uma variação de ADSL em que o equipamento tem a capacidade de fazer o ajustamento da velocidade a que a linha pode transmitir. A sua capacidade de débito máxima ronda os 7 Mbps.

O SDSL é uma forma simétrica de xDSL que transmite a cerca de metade da velocidade do HDSL mas usando apenas um par de cobre em vez dos usuais dois. Este sistema permite incluir a opção de transmitir a telefonia analógica no mesmo par de cobre.

O DSL (ISDN Digital Subscriber line ou RDIS) é uma tecnologia que se baseia nas mesmas técnicas de codificação de RDIS, o que faz com que os clientes RDIS possam, sem equipamentos adicionais, ter acesso a este tipo de serviços.

A transmissão VDSL (Very high Data Rate Digital Subscriber Line) pode ser utilizada no fim de uma ligação de fibra óptica, para fazer a ligação final do último quilómetro em par de cobre. Nos sistemas FTTC (Fiber to the Curbe), o comprimento da ligação VDSL pode ter até 500 m, e velocidades de transmissão entre 25 e 51 Mbps. Nos sistemas FTTCab (Fiber to the Cabinet), o comprimento pode ser superior a um quilómetro e velocidades de transmissão de 25 Mbps.

Pelo facto das distâncias cobertas por este tipo de tecnologia serem menores relativamente ao ADSL, o seu uso está associado a sistemas de rede óptica passiva (PON), implementando a ligação de ultimo troço desde um armário de rua (PON-FTTC) até à casa do cliente.

O VDSL apresenta ser o próximo degrau da escala evolutiva desta tecnologia. Dado que é necessária uma política de compromisso entre distância e taxas de débito, o par metálico VDSL deverá ser alimentado por fibra óptica numa ONU (Optical Network Unit) relativamente próximo do utilizador para poder depois transportar o sinal até casa.

4.2.1.2. Acessos à rede

A introdução de fibra óptica na rede de acesso local (FITL– Fiber in the loop) é dispendiosa sendo os seus custos, face aos custos da introdução de novas redes de cobre, ou reutilização das redes de cobre existentes, apenas justificados num cenário onde o mercado de serviços de banda larga atinja uma expressão significativa.

A fase de implementação de uma rede FTTH é muito complexa e dispendiosa. É necessário ter em conta a mão-de-obra durante a implementação da fibra, pois os custos de mão de obra superam os custos efectivos da fibra. Para além disso, a rede de distribuição terá que ter um ciclo de vida de pelo menos 30 anos para justificar os investimentos. Com esta longevidade e o custo que a implementação representa, sendo necessário uma grande responsabilidade durante concepção da arquitectura de rede. Pois uma vez implantada será muito dispendiosa a sua alteração.

Assim, a tendência é desenvolver soluções, de uma forma económica e gradual, permitindo a implementação da fibra óptica até às proximidades do utilizador, para que a implementação da arquitectura seja maioritariamente óptica, nas redes de acesso.

A rede é do tipo FTTx, em que o “x” pode ser da central para o escritório ou residência, através de alguns pontos intermédios, tais como o armário ou a cave do edifício. Havendo um grande número de arquitecturas de acesso distintas que podem surgir, tendo como factor importante a rede já existente, da área considerada, da classe de utilizadores e dos tipos de serviço a serem entregues. Na Figura 4.2 pode ser visualizada os 4 tipos de tecnologias acesso FTTX em função da distância da fibra óptica do Central Office até ao ponto da ramificação da árvore de utilizadores.

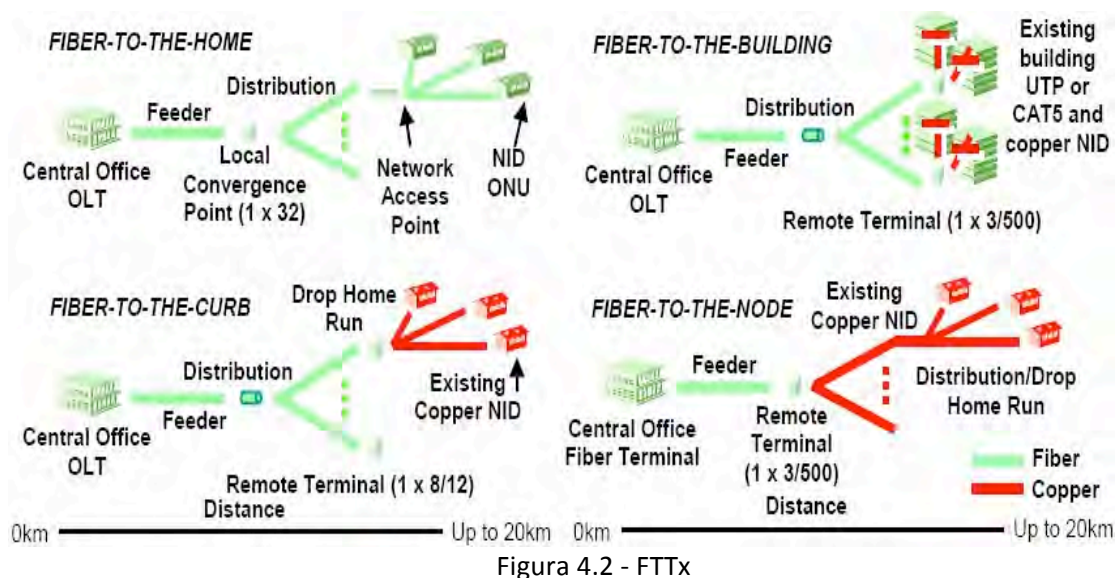


Figura 4.2 - FTTx

Não sendo possível, a curto prazo, disponibilizar fibra até à casa de cada utilizador (FTTH – Fiber To The Home). Essas limitações originaram o aparecimento de outras variantes da tecnologia FTTH, que irão permitir a penetração gradual da fibra nas rede de acesso. São elas as FTTC (Fiber To The Curb), as FTTO (Fiber To The Office) e FTTB (Fiber To The Building).

Fiber-To-The-Curb (FTTC)

A ligação deste pontos a casa dos clientes pode ser concretizada utilizando a infraestrutura de cobre já instalada (os pares de cobre e o cabo coaxial) utilizando as tecnologias xDSL.

Assim, para grandes aglomerados residenciais relativamente distantes do ponto de acesso ao serviço, a solução FTTC poderá tornar-se vantajosa em relação à solução de cobre. Um exemplo de configuração de redes de acesso para um operador com uma rede já existente, é apresentado na Figura 4.2.

Fiber-To-The-Building/Office (FTTB/FTTO)

Esta é uma situação intermédia entre a arquitectura FTTC e a arquitectura FTTH. A grande vantagem desta arquitectura em relação à FTTC é, para além da maior largura de banda potencialmente disponível a cada utilizador (pelo facto de a ONU ser partilhada por um menor número de utilizadores), requerer ONU's menos sofisticadas e robustas e ter custos de manutenção menores. Deste modo, é possível fornecer alguns serviços interactivos de banda larga, isto porque as distâncias entre a ONU e o ponto de acesso ao serviço são bastante reduzidas em relação à solução FTTC. Esta arquitectura é adequada para zonas com grande densidade de blocos habitacionais e/ou de escritórios. Se o cobre

utilizado for de má qualidade, os cabos têm que ser substituídos e, assim, a configuração FTTB será mais eficiente.

Na arquitectura FTTB/FTTO é instalada fibra óptica até ao edifício, que poderá ser um bloco habitacional (FTTB) ou um bloco de escritórios (FTTO), sendo a ONU partilhada por todos os clientes do edifício. Da mesma forma da arquitectura FTTC, o último troço da rede, entre a ONU e o cliente, pode ser implementado usando pares de cobre, cabo coaxial.

Fiber-To-The-Home (FTTH)

Apesar da introdução de fibra óptica até ao utilizador final ser o ideal em termos de disponibilidade de velocidades de acesso, os estudos económicos apontam para uma estratégia de evolução gradual. Esta estratégia passa pelo recurso a tecnologias de aproveitamento das infra-estruturas eléctricas existentes, tal como até aqui referido.

A arquitectura FTTH é caracterizada por a ligação entre o cliente e a Central Local ser integralmente em fibra óptica. Não havendo partilha de recursos electro-ópticos instalados do lado do cliente, sendo o custo associado à implementação de dispositivos bastante elevado. Além desta solução permitir menores custos de operação, administração e manutenção de rede, acresce-se a responsabilidade ao utilizador da alimentação e manutenção da ONU. Estes factores fazem com que esta arquitectura seja uma solução pouco atraente do ponto de vista económico sobretudo para os utilizadores residenciais.

4.2.2. Topologias nas redes de acesso

As arquitecturas a serem implementadas, podem ser classificadas em três categorias [14]:

- Arquitecturas em Anel Ethernet Gigabit
- Arquitecturas em Estrela Ethernet Gigabit
- Arquitecturas em Árvore usando tecnologias PON.

Tem vindo a ser favorecidas as arquitecturas baseadas em Ethernet Gigabit na medida em que possibilitam um baixo custo por utilizador, e uma rápida capacidade de resposta do mercado. Além disso, os dispositivos de transmissão e comutação tornaram-se cada vez mais comuns e indispensáveis no mercado de redes corporativas, o que levou à redução de preços e à oferta de tecnologias robustas e amadurecidas.

As primeiras arquitecturas FTTH Ethernet Gigabit na Europa tiveram como base um “switch” de acesso ligado a uma estrutura em Anel Ethernet Gigabit. Esta estrutura proporciona uma excelente resiliência na fibra e pode ser construída de uma forma

rentável, por outro lado, tem como desvantagem, a partilha da largura de banda a cada acesso ao anel(1Gbps). O que representa um enorme desafio na escalabilidade do sistema, devido à grande demanda na capacidade que se prevê no futuro.

Na Figura 4.3 pode ser visualizada uma arquitectura em estrela. As arquitecturas em estrela possibilitam o uso fibras dedicadas (tipicamente single-mode, single-fiber com transmissão Ethernet 100BX ou 1000BX) de todos os ONTs para os pontos de presença (POP) ou central Office (CO). Os ONTs podem estar colocados directamente em residências, apartamentos ou então num ponto base ligado a um “switch” que permite partilhar o acesso às habitações através de uma tecnologia convencional (utp, ou wireless).

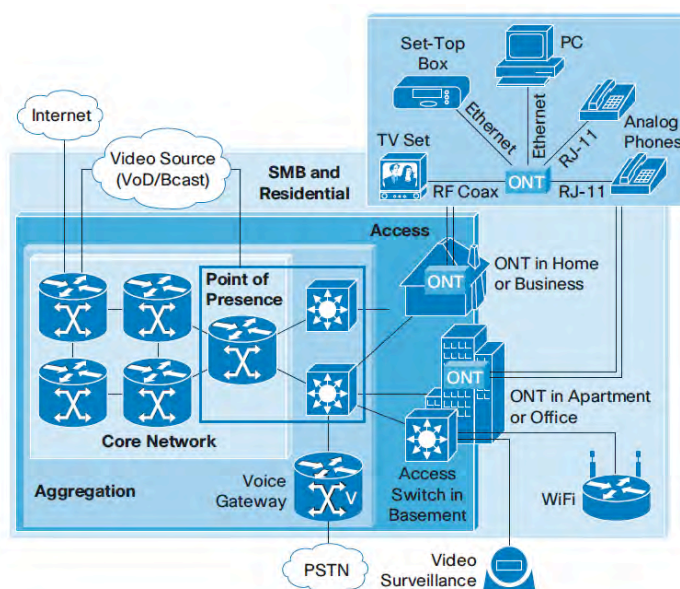


Figura 4.3 - FTTH - Topologia em Estrela [14].

As arquitecturas baseadas em PON para implementações FTTH são caracterizadas pelo uso de divisores ópticos passivos (“splitter”s) para levar a fibra cada habitação. Cada “splitter” óptico pode suportar entre 64 até 128 ramificações.

A arquitectura FTTH PON suporta tipicamente o protocolo Ethernet. Em alguns casos, a utilização de um comprimento de onda de downstream adicional permite que sejam transmitidos serviços de TV analógica e digital aos utilizadores sem recurso a caixas IPTV.

A Figura 4.4 ilustra uma rede típica PON que suporta uma variedade de terminações de rede óptica (ONT) e unidades de rede óptica (ONU). As ONTs são normalmente dedicadas a um utilizador.

As ONUs estão localizadas nas caves dos prédios ou em armários de telecomunicações que são partilhados por um limite de utilizadores. Os serviços de voz, dados e vídeo são distribuídos a partir das ONUs ou ONTs utilizando outras tecnologias de rede comuns.

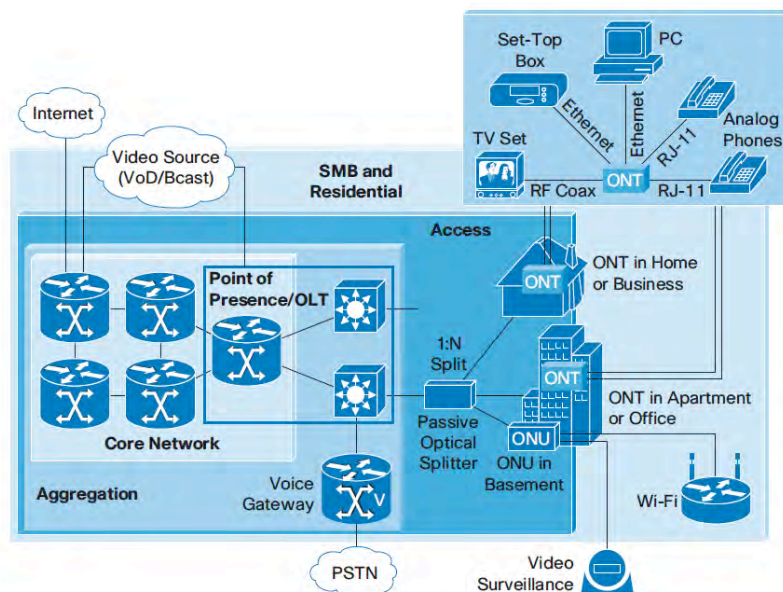


Figura 4.4 - Arquitetura Rede Óptica Passiva (PON) [14].

4.2.3. Vantagens das redes PON

Actualmente, existem três padrões diferentes para PONs que estão resumidas na Tabela 4.1. Os valores de largura de banda estão agregados a uma velocidade de ligação máxima nas direcções upstream e downstream. Esta velocidade de ligação pode ser partilhada por 16, 32, 64 ou 128 clientes, dependendo do cenário de implantação.

Tabela 4.1 - Bases PON [14]

	BPON	EPON	GPON
Standard	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Bandwith	Downstream up to 622 Mbps Upstream 155 Mbps	Up to symmetric 1.25Gbps	Downstream up to 2.5 Gbps Upstream up to 1.25 Gbps
Downstream wavelength	1490 and 1550 nm	1550 nm	1490 e 1550 nm
Upstream wavelength	1310 nm	1310 nm	1310 nm
Transmission	ATM	Ethernet	Ethernet, ATM, TDM

A tecnologia BPON é uma tecnologia utilizada ainda pelos operadores de telecomunicações nos Estados Unidos, mas que pode ser rapidamente precedida por outras tecnologias. A EPON foi concebida para um baixo custo utilizando tecnologia Gigabit Ethernet, enquanto que a GPON foi concebida para maiores taxas de downstream, com a possibilidade de utilizar ATM e TDM. Contudo esta característica, raramente é tida em conta nas implementações, sendo utilizada como uma plataforma de transporte Ethernet.

Contudo, existem três grandes vantagens na utilização das redes PON para que estas arquitecturas sejam implementadas em alternativa às arquitecturas ponto-a-ponto Gigabit.

A economia da fibra que se pode obter no troço entre o “splitter” óptico e o Central Office (CO) ou pontos de presença (POP) é um aspecto considerável nas implementações FTTH PON. Se a infra-estrutura do operador de telecomunicações possuir ductos entre os pontos de presença (POP) e os postos de telecomunicações, a vantagem pode advir da utilização dessa infra-estrutura para instalar o cabo de fibra óptica sem ter de realizar obras para instalar a fibra. Normalmente, a existência de infra-estruturas de telecomunicações é sobrestimada, levando à necessidade de abrir trinças para além das que eram inicialmente previstas [14]. Nos casos em que a cablagem é aéreo, o custo é bem menor, não havendo necessidade de obras na instalação da fibra.

Contudo é necessário minimizar dois aspectos numa rede: os custos de instalação (CAPEX) e os custos de operacionalização (OPEX). Para que sejam sustentáveis, o peso maior deve advir dos custos de operacionalização (OPEX), pois está associado a custos de manutenção e dispêndios energéticos.

Por essa razão, como foi referido, a generalidade das redes ópticas implementadas são do tipo PON, pois sendo passivas minimizam os custos operacionais, são autónomas. No entanto, nas suas topologias mais comuns, árvore e ponto a ponto, as características diferem e elas próprias também definem as características operacionais das redes.

Em ligações ponto a ponto, dado que há uma fibra que liga efectivamente o utilizador à unidade central, as perdas ópticas são mínimas, no entanto, o número de dispositivos E/O utilizados é igual a $2*N$ (em que N é o número de utilizadores). Este factor pode representar uma facilidade em termos de gestão, no entanto, em termos de stock, custos energéticos e operacionalização pode ser muito complexo.

Por cada E/O terá que haver redundância, sendo uma parte da energia fornecida apenas para arrefecimento ou controlo, E_{diss} , bem como um conjunto de circuitos de “driving”, que eles próprios têm um consumo de base, E_{ediss} . Assim o custo energético dissipado para o caso ponto a ponto é de $2*N*(E_{diss} + E_{ediss})$.

No caso de redes passivas em estrela, apenas uma única fibra alimenta através de um “splitter” ou desmultiplexador de comprimento de onda um conjunto de N receptores. Pela mesma analogia tem-se uma dissipação de $(N+1)*(E_{diss} + E_{ediss})$. Há que contabilizar o facto de o “splitter” e/o multiplexador introduzir um conjunto de perdas que exigem do emissor da unidade maior potência enviada para cumprir os mesmos requisitos de potência. Esta solução, pode ser uma solução energeticamente mais eficiente. No

entanto, a vantagem, pode advir também dos custos de manutenção, pois o numero de dispositivos é menor, bem como, o número de fibras.

A análise feita anteriormente, é inconclusiva pela generalidade, sendo necessário ter uma noção mais clara das questões envolvidas. É interessante ter como base uma rede modelo, de modo a analisar os detalhes de sustentabilidade e conceber um sistema que permita implementar um processo que ajude estas redes a serem mais sustentáveis.

No capítulo seguinte será apresentada uma rede modelo, como caso de estudo, onde serão analisados alguns parâmetros que permitem minimizar os custos de operacionalização (OPEX), permitindo a sustentabilidade da rede. A rede modelo foi elaborada no âmbito do projecto SARDANA (Scalable Advanced Ring Based Passive Dense Access Network Architecture) que se integra nas redes de acesso e é capaz de suportar um acesso acima de 100Mb/s a 1024 utilizadores distribuídos a mais de 100Km.

4.3. Caso de estudo

A topologia que se segue (Figura 4.5) foi elaborada no âmbito do projecto SARDANA (Scalable Advanced Ring Based Passive Dense Access Network Architecture) consiste numa rede de convergência Metro – Acesso capaz de suportar pelo menos 100Mb/s a 1024 utilizadores distribuídos a mais de 100Km. Na figura seguinte é apresentada a estrutura principal do anel de fibra dupla.

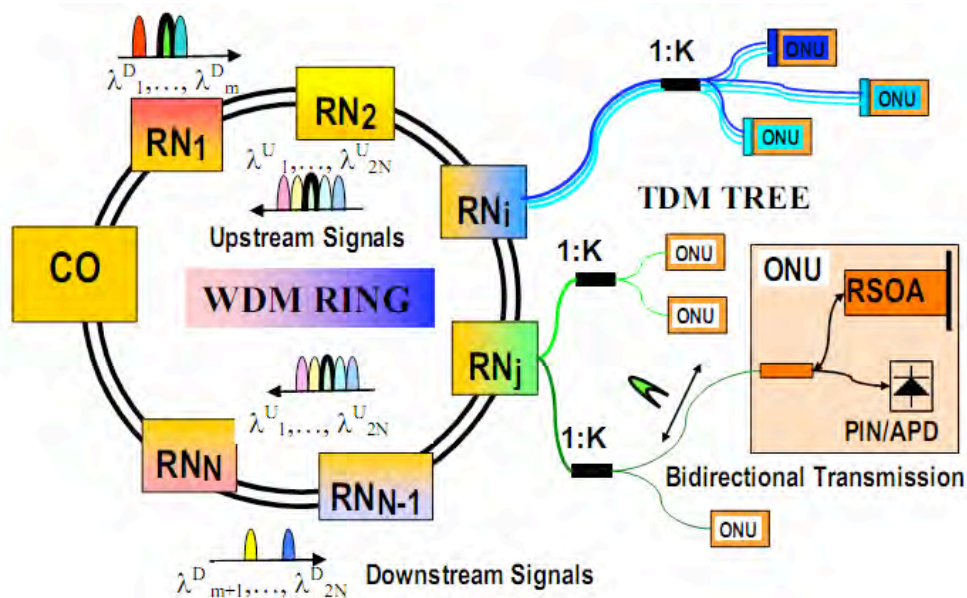


Figura 4.5 - Arquitectura de Rede SARDANA [12]

A topologia é baseada num anel óptico principal passivo e árvores secundárias estão que estão ligadas a um nó totalmente passivo, denominado por Nó Remoto (RN- Remote Node). Com o intuito de alcançar uma maior eficiência, o transporte é feito em sinais

WDM no anel principal distribuídos por cada árvore secundária, servindo os utilizadores numa topologia TDM através do Nó remoto. O anel principal é composto por dupla fibra, servindo uma das fibras para transporte de Downstream e a outra para transporte de Upstream. Esta topologia pode ser visualizada na Figura 4.5.

Operando em base TDM nas árvores proporciona vantagens especiais à rede: tais como a migração das actuais infra-estruturas implantadas sobre E-PON e G-PON para esta topologia, suportando diferentes serviços e operadores em diferentes comprimentos de onda. Com estas características a rede é mais flexível e proporciona aos clientes diferentes requisitos de transmissão.

A robustez é alcançada pelo anel passivo, através de técnicas de monitorização e estratégias de compensação inteligentes de controlo e gestão de imperfeições da rede óptica passiva. Devido ao anel, a rede é capaz de proporcionar o balanceamento do tráfego através do caminho mais curto e resiliência em caso de haver um corte na fibra, sendo os sinais redireccionados para o caminho alternativo.

A escalabilidade da rede também é garantida inserindo um nó suplementar ao anel. A rede pode ser dimensionada para abranger um grande número de clientes.

O Downstream e Upstream são comprimentos de onda multiplexados, para cada Nó existem dois sinais de Downstream e dois sinais de Upstream que ligam ao anel principal (um por árvore). O número de Nós é o parâmetro chave em termos de desempenho da rede, pois determina o número de comprimentos de onda da rede e capacidade de rede total. O número ideal e mais eficiente de Nós no anel é independente do número de utilizadores por Nó e o número de utilizadores é limitado pelo PB e pelas perdas de ligação entre o respectivo CO e ONU.

Ao projectar a rede deve haver um compromisso entre a optimização nas perdas de sinal e optimização das performances de rede.

Acesso a uma fibra única bidireccional para o utilizador permite simplificar o desenho e a manutenção de cabos, reduzindo o risco de trocas nas instalações dos clientes. A rede permite a convergência entre as rede metro e as redes de acesso simplificando o projecto de instalação e reduz o equipamento nos Nós.

4.3.1. Central Office (CO)

Com o objectivo de manter uma arquitectura totalmente passiva e simples, os componentes de transmissão e controlo são colocados dentro do CO. A complexidade é colocada no CO, uma vez que o custo é partilhado por todos os utilizadores da rede passiva. O CO utiliza uma pilha de lasers sintonizáveis para servir diferentes segmentos de rede em base TDM. Cada um dos lasers pode sintonizar o comprimento de onda

adequado, através das técnicas de WDM e GBA (Geographic Bandwidth Allocation) é possível concentrar os recursos nas secções mais exigentes. O CO pode alcançar o equilíbrio de tráfego e de resiliência por meio de comutação óptica, seleccionando o melhor caminho para os sinais de Downstream (DS), proporcionando sempre um caminho para chegar a todos os nós remotos, mesmo que haja cortes na fibra. A comutação óptica pode ser controlada monitorizando os sinais de Upstream que chegam ao CO através de fotodíodos presentes em diferentes sítios do anel.

4.3.2. Nó Remoto

O nó remoto (RN) é um componente importante na rede SARDANA. Possui três funções principais: ADD/Drop; amplificação e filtragem de cada canal WDM correspondente a cada uma das árvores.

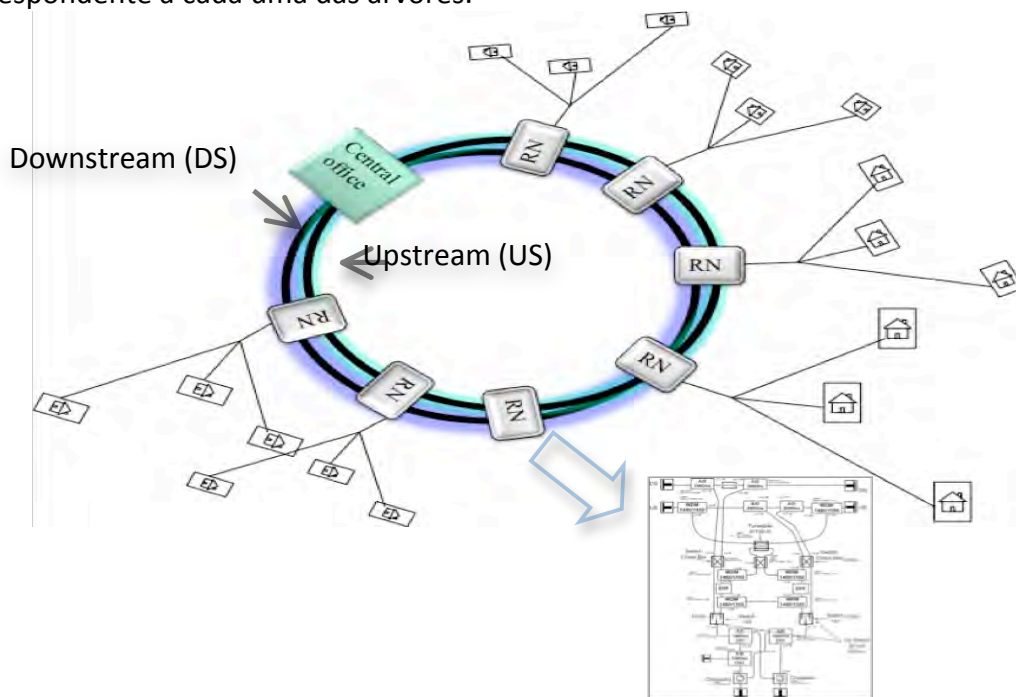


Figura 4.6 – Disposição dos RN no anel de fibra óptica [15]

A arquitectura de cada Nó Remoto (RN) do anel pode ser visualizada na Figura 4.6, DS e US são as ligações de downstream e upstream a cada anel respectivamente. E as ligações às árvores representadas pelos conectores abaixo, junto aos circuladores ópticos. O RN é constituído por dois módulos de amplificação, um para Downstream (DS) e outro para Upstream (US). Cada módulo de amplificação é conseguido através fibra dopada com Érbio (EDF) (ver Figura 4.9).

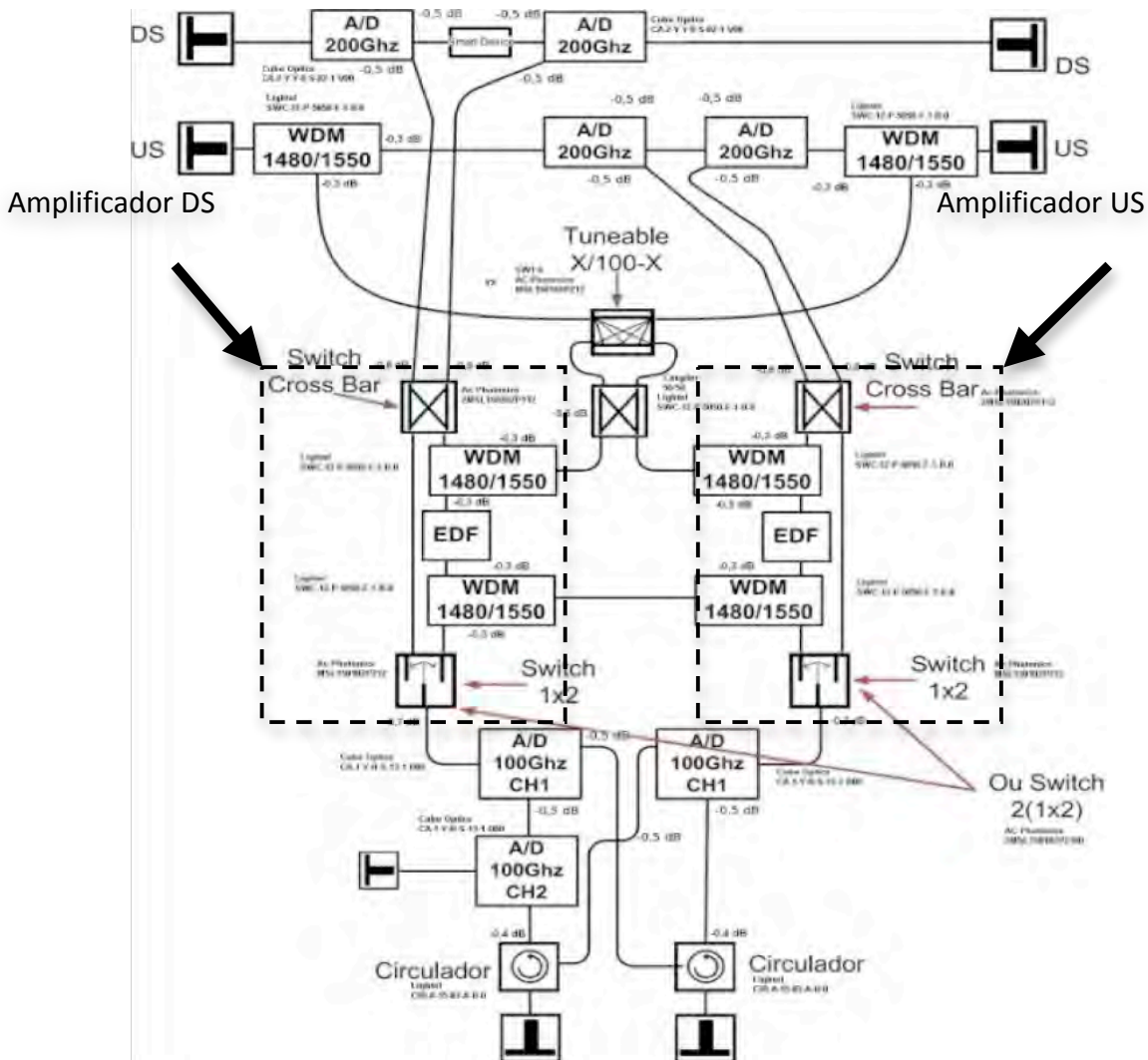


Figura 4.7 - Arquitectura do nó remoto [12]

A Figura 4.8 mostra um diagrama parcial dos níveis de energia dos átomos de Érbio (Er^{3+}). Estes níveis são meta-estáveis e apresentam um tempo médio de vida elevado, tipicamente da ordem de alguns milissegundos. Os electrões nestes níveis, relaxam radiativamente para o estado $^4I_{15/2}$, emitindo fotões na região espectral entre 1520-1580 nm. [16]

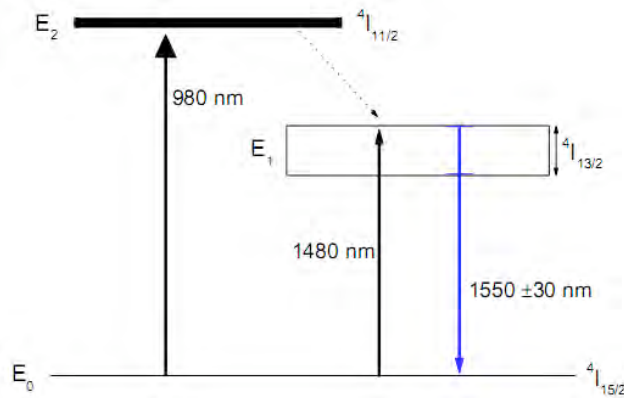


Figura 4.8 – Níveis de energia das fibras dopadas com Érbio [16]

Estes sistemas requerem potências elevadas de bombeamento para se conseguir a inversão de população. A dopagem com Érbio do núcleo da fibra óptica permite um elevado confinamento e uma elevada sobreposição do sinal de bombeamento com a zona activa. Este facto associado a uma elevada densidade de potência do sinal de bombeamento, favorecem a inversão de população e o ganho óptico.

Os iões de Er^{3+} do núcleo da fibra são submetidos a uma radiação contínua (sinal de bombeamento) que induz transições inter-atómicas do nível E_0 para o nível E_2 , ao mesmo tempo em que ocorrem transições de E_2 para E_1 (decaimento não radiativo). Se as transições do nível E_2 para E_1 forem suficientemente rápidas, a população do nível E_1 aumenta em relação à do nível E_0 .

A emissão espontânea de fotões, ocorre enquanto a população N_1 for menor do que a população N_0 , devido à transição do nível E_1 para o E_0 . Quando o bombeamento é suficiente para manter a população do nível N_1 superior à população do nível N_0 , predomina a emissão estimulada.

O ganho é dado pela fórmula seguinte:

$$G = \Gamma_s \exp \left[\int_0^L (\sigma_s^e N_2 - \sigma_s^a N_1) dz \right] \quad [17]$$

em que L é o comprimento da fibra, N_1 e N_2 são as densidades de população no nível, E_0 e E_1 respectivamente. Γ_s é o factor de confinamento que representa a sobreposição entre os átomos de Érbio e o modo de propagação na fibra do campo eléctrico do sinal óptico. Este factor tem valores típicos entre 0.35 e 0.64. Os parâmetros σ^e e σ^a são respectivamente as secções cruzadas da emissão estimulada e da absorção.

O módulo de amplificação de sinal construído com base em EDF, pode ser visualizado na Figura 4.9

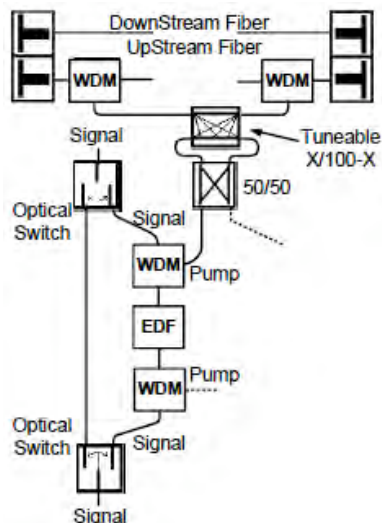


Figura 4.9- Amplificação de sinal [12]

A amplificação do sinal só será necessária para os nós mais afastados do CO, pois serão esses que vão receber uma menor potencia óptica devido às perdas ópticas ao longo da fibra. Os RNs que se encontram perto do CO não será necessário a amplificação, pois o sinal que chega a têm potência suficiente para alcançar a ONU, não sendo necessário o fornecimento de ganho. Hipoteticamente, no anel óptico os nós mais afastados do CO poderiam ser apenas dotados com amplificação e os nós mais perto do CO sem andar de amplificação, para uma redução de componentes e custos do sistema. Contudo isso não é possível pois caso haja um corte na fibra no RN mais perto do CO, este passa automaticamente a ser o que está mais longe, pois só se encontra ligado ao CO por uma das extremidades.

Como solução ao problema a topologia apresentada na Figura 4.9 permite dois modos de funcionamento. Um dos modos permite a amplificação do sinal. O outro permite o bypass ao sinal óptico.

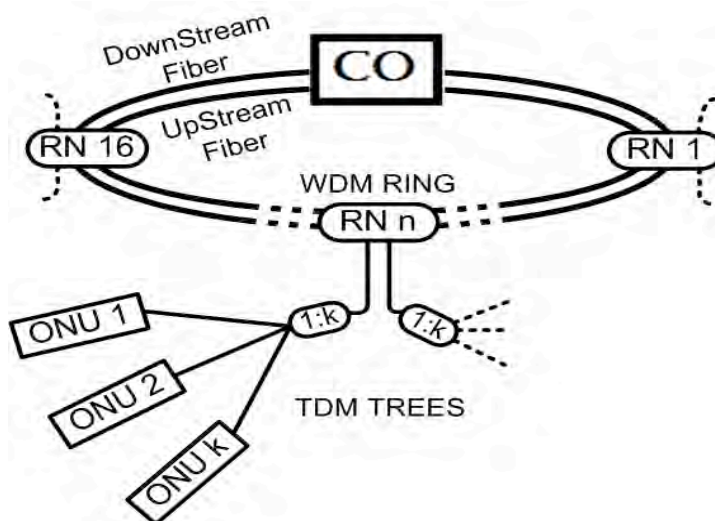


Figura 4.10 – Disposição dos RNs no anel de fibra óptica [18]

Na situação em que o RN que está mais perto do CO, poderá ser o que ficará mais afastado caso ocorra uma falha numa das fibras do anel. Nesses casos, o RN necessitará de amplificação para poder continuar o seu funcionamento normal. Deste modo, o RN teria que possuir dois modos distintos de funcionamento, um deles proporciona a amplificação de sinal e outro não, sendo uma ligação bypass directa, sem passar pela EDF.

À medida que são dispostos os RNs no anel (Figura 4.10). O decaimento de potência aumenta à medida que os nós estão mais afastados do CO, havendo uma menor potencia óptica para os RN intermédios do anel. Sendo necessário fazer o balanceamento do sinal no anel, através de cada RN. Este processo só é possível se cada nó permitir a passagem de potencia óptica para o nó seguinte, ou seja, a rede teria que se auto-ajustar, de modo a que a potencia óptica pudesse chegar aos RNs mais distantes do CO.

Por outras palavras, a rede teria que permitir outro requisito importante, a reconfigurabilidade, para que os RNs pudessem alternar de um modo para o outro sempre que se justifica-se, fazendo assim o aproveitando de toda a energia óptica emitida pelo CO.

Outro caso pertinente, seria a necessidade de introdução de mais RNs no anel, tendo a possibilidade de fazer a reconfiguração do anel remotamente nó a nó, através de comandos enviados pelo Central Office (CO).

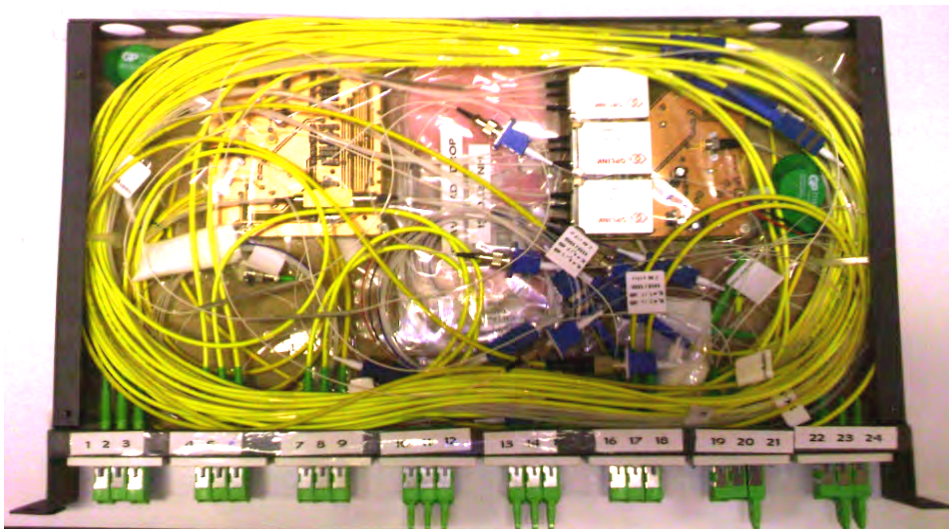


Figura 4.11 - Nó Remoto (RN) implementado e testado

4.4. A Reconfigurabilidade Como parte da solução

A arquitectura da rede pode ter um profundo impacto na eficiência e no desempenho na transmissão. As tecnologias emergentes para a transmissão, comutação, e processamento de sinal em fibra óptica permitem trazer novas aplicações às redes

futuras. Permitindo minimizar os custos de operacionalização (OPEX), aumentando a eficiência da rede.

As tecnologias emergentes, tais como as “MEMS” e comutação por rajadas ópticas “optical burst “switch”ing” (OBS) são as tecnologias que oferecem um grande potencial para a reconfigurabilidade da rede.

4.5. Sistema de Harvesting e Actuadores

O termo “energy harvesting” é utilizado para referenciar pequenos sistemas autónomos, em que a energia dissipada, ou não consumida pelo sistema, pode ser convertida para o domínio eléctrico e armazenada para alimentar outro sistema de baixo consumo, como é o caso dos comutadores ópticos num nó presente numa arquitectura óptica.

Esta tecnologia oferece três vantagens significativas em relação as soluções a bateria: 1) fonte virtualmente inesgotável, 2) nenhum ou pouco efeito adverso ao ambiente e 3) como são autónomos energeticamente podem funcionar em sítios de difícil acesso ao homem.

Há alguns anos, o armazenamento de micro-energias, *parasitic power sources*, era apenas uma curiosidade científica ou de investigação nas universidades, mas a necessidade de desenvolver tecnologia de baixo consumo, a chamada Ultra Low Power (ULP) Technology, foi um grande impulsionador para torná-la disponível em aplicações comerciais.

Quando se fala em sistemas energeticamente auto-sustentáveis ou de sistemas harvesting, estão por de trás grandes desafios de concepção. É necessário um trabalho minucioso, na escolha e na caracterização de eficiência dos seus componentes constituintes. Com o objectivo focado na redução do consumo energia necessária para os activar.

Um dos componentes mais importantes na reconfigurabilidade da rede é o sistema de controlo e comutação. Este sistema é, no nosso caso, composto por: um conversor de energia Opto-Electrónico, um sistema de harvesting, que armazena a energia e uma unidade de controlo. A figura seguinte mostra o diagrama de blocos constituintes do dispositivo.

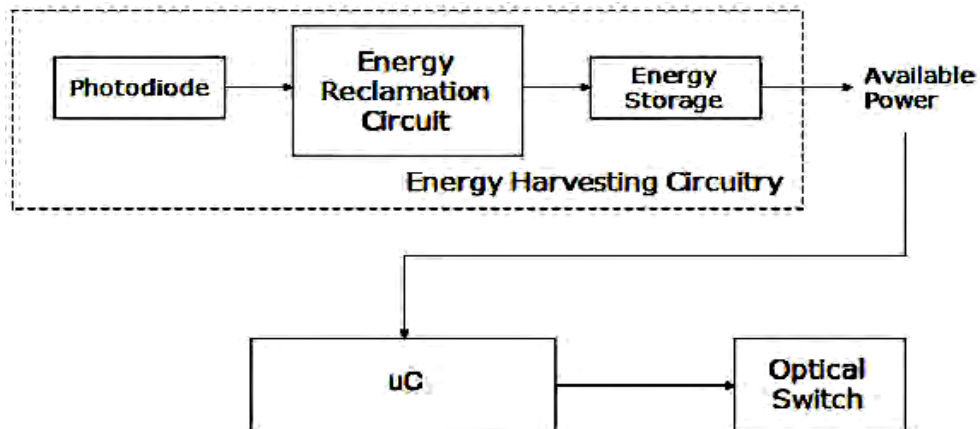


Figura 4.12 - Diagrama de Blocos do Sistema Harvesting

Tendo em conta o diagrama de blocos da Figura 4.12, o bloco representado pelo fotodíodo, representa a fonte de energia do circuito. O sinal óptico proveniente do Central Office CO, é recebido pelo fotodíodo, sendo convertido num sinal eléctrico. Esse sinal eléctrico é depois rectificado, pelo bloco de conversão de energia, através de um conversor DC-DC e armazenado num acumulador de energia (SuperCap ou bateria). Representado pelo bloco Energy Storage da Figura 4.12. A energia armazenada é disponibilizada para activar um actuador óptico, representado pelo bloco Optical “switch”. A caracterização de cada bloco constituinte do sistema harvesting encontra-se detalhada no Anexo A e B.

O bloco representado pelo microcontrolador (μC), corresponde à parte lógica do sistema que faz o actuar o comutador óptico. Após a recepção da informação, o microcontrolador actua sobre os componentes externos, neste caso “switch”es ópticos, e entra de novo no estado inactivo até receber novas ordens. Na figura seguinte pode visualizar-se o dispositivo harvesting integrado na arquitectura do capítulo 4.3.2.

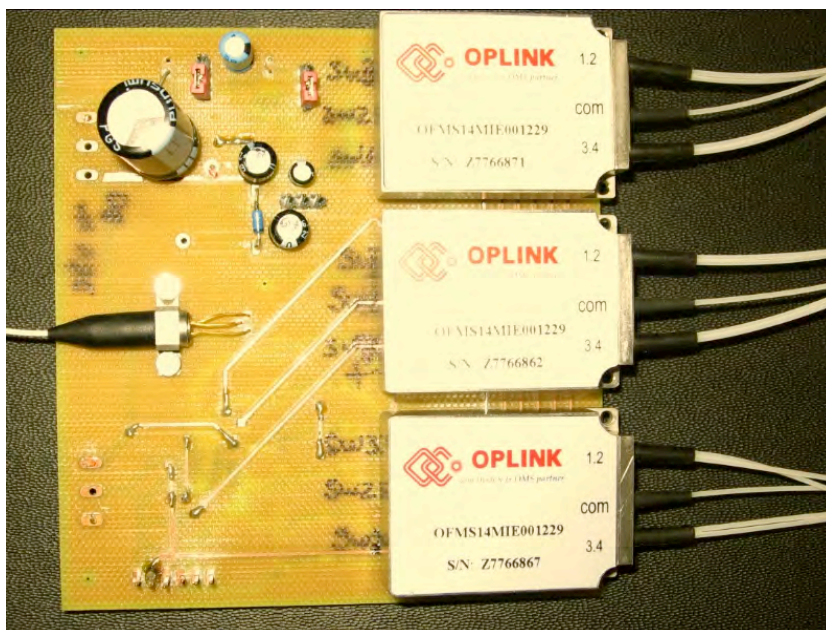


Figura 4.13 - Modulo Harvesting desenvolvido no Instituto de Telecomunicações com três “switch”s 1:4

Este sistema permite fazer a reconfiguração do RN, no caso de uma falha de uma das fibras do anel, permite que o RN alterne para o modo de amplificação, funcionando de modo ininterrupto. Sendo necessária uma potência, tipicamente, óptica mínima de 7 dBm para haver amplificação nos EDFs, haverá, dependendo do valor de divisão de potência e do consumo pela fibra, alguns dBm de potência residual em cada RN. Cada anel pode ter até 16 nós, na configuração apresentada que vão estar espaçados de uma distância física que, dependendo da configuração da rede, pode variar, necessitando um ajuste fino do acoplador de bomba em cada RN para um melhor aproveitamento da bomba.

A energia residual necessária à etapa de amplificação é aproveitada para acumular energia no sistema harvesting, que será utilizada na reconfiguração da rede remotamente, bem como permitindo a reconfiguração dos RN's aquando da introdução de novos nós e/ou troços de fibra na rede. Deste modo, com isto podemos reduzir os custos de operação (obvia-se a necessidade de fazer deslocar um operador ao sítio para fazer a reconfiguração da rede, ou implementar a protecção) e aumentar a fiabilidade da rede (através da protecção automática), sem custo energético extra, pois a energia que está a ser utilizada iria ser “desperdiçada”.

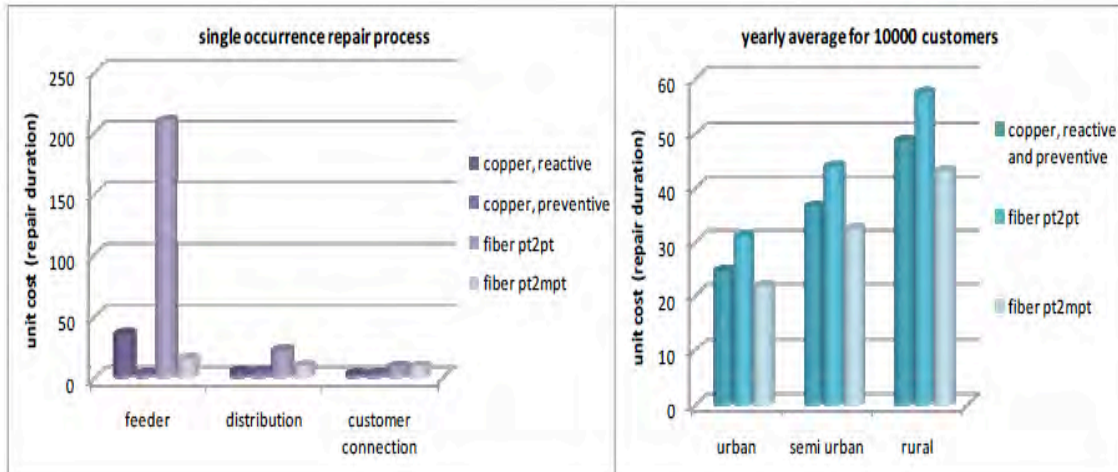


Figura 4.14 - Custos de reparação e manutenção para o cobre e fibra óptica nos diferentes cenários [19]

A Figura 4.14 mostra uma estimativa dos custos de reparação de cobre e fibra óptica.

A metodologia apresentada enquadra-se num conjunto de eventuais melhorias que estão a ser promovidas no sentido de otimizar os custos de operacionalização bem como de manutenção e aproveitamento de recursos energéticos em redes de telecomunicações, como foi referido anteriormente.

5. Caracterização eléctrica de componentes

Para a concepção deste dispositivo foram tidas em conta alguns critérios para os blocos constituintes, de forma a minimizar o consumo do sistema. Tais como, a eficiência opto-eléctrica do fotodíodo, características dos componentes eléctricos e que de alguma forma torna-se possível a acumulação de energia de modo a que o sistema pudesse funcionar em casos críticos.

Como a energia disponível é muito escassa, não sendo suficiente para alimentar o sistema continuamente, houve necessidade de recorrer a algumas técnicas que permitisse o armazenamento de energia para que o sistema pudesse utiliza-la na altura necessária.

O sistema de controlo pode ser observado numa máquina de estados composto por três estados, comunicações, actuar e permanecer inactivo. A Figura A.5.1 representa o ciclo de estados do sistema utilizado como actuador no anel de fibra óptica. Num ciclo completo, da máquina de estados existe um consumo efectivo de energia que está associado a quantidade de energia consumida em cada estado durante o ciclo. Por sua vez, em cada estado é necessário determinar métodos e técnicas que visem reduzir o consumo global do sistema. Este métodos e técnicas, passam não só pela escolha de componentes físicos altamente eficientes, mas também a utilização de técnicas de modelagem de dados que permitem o baixo consumo durante a comunicação com os dispositivos.



Figura A.5.1 - Máquina de estados do sistema de controlo

Características eléctricas do Microcontrolador e desmodulador

Algumas características relevantes para o desenvolvimento do sistema auto-alimentado, foram tidas em conta de forma a utilizar a menor quantidade de energia possível. Para o caso dos circuitos integrados (IC-*Integrated Circuit*) utilizados no sistema foram seleccionados tendo em conta algumas características eléctricas nomeadamente, o consumo no estado activo e no estado inactivo.

As tabelas abaixo indicam os consumos eléctricos dos circuitos integrados utilizados e a função que desempenham no sistema.

O microcontrolador (μC) contém a máquina de estados, sendo como um pequeno “cérebro” nas decisões lógicas que ocorrem no dispositivo auto-sustentável. A tensão eléctrica necessária ao funcionamento deste circuito integrado situa-se entre 1.8V e 5.5V. Entre muitos modos de gestão de energia que este integrado permite, apenas estão listados os que são mais relevantes para o nosso dispositivo auto-sustentável, o modo activo em que o microcontrolador efectivamente “realiza trabalho”, e o modo inactivo em que permanece “desligado”. Embora a energia disponível seja para ser consumida no modo activo, parte dessa energia também vai ser consumida no modo inactivo. Para o modo activo, tendo em conta que a tensão eléctrica de alimentação é de 3V e a frequência de relógio interna de 1MHz, o consumo em termos de corrente será de $215\mu\text{A}$, ou seja, um consumo de $645\mu\text{W}$. No modo inactivo, ou seja quando permanece “desligado”, este pequeno circuito integrado consome cerca de 100nA , ou seja, um consumo de cerca de 300nW .

Power characteristics of microcontroller PIC16F887

Supply voltage Range	1.8V-5.5V
Power Active Mode	$215\mu\text{A}@3\text{V}, 1\text{MHz}$
Power-down Mode	$100\text{nA}@3\text{V}$

Tabela A.5.1 - Características eléctricas do MCU

Outro circuito integrado importante ao funcionamento do dispositivo auto-sustentável é o *desmodulador* de comunicações. Este pequeno circuito é responsável pela descodificação dos comandos provenientes do Central Office (CO). Tal como no caso do microcontrolador este circuito possui três modos relevantes na gestão de energia, o modo activo, standby e inactivo. Sendo apenas usados para o projecto do dispositivo auto-sustentável os dois primeiros, pois o integrado não permite passar do modo inactivo para o modo activo na recepção de um comando provindo do Central Office (CO). Como é necessário que o dispositivo esteja “à escuta” de mensagens no estado inactivo esta será uma agravante em termos de consumo energético “fantasma” do estado inactivo do dispositivo.

No modo activo, ou seja, na descodificação de comandos proveniente do CO, este integrado consome aproximadamente $10\mu\text{A}$ alimentado à tensão eléctrica de 3Volt, um consumo cerca de $30\mu\text{W}$. Sendo o consumo no modo “StandBy” cerca de $6\mu\text{W}$.

Power characteristics of Analog Front End MCP2030

Input Sensitivity	3 mVpp
Maximum Input Voltage	10 Vpp
Carrier Frequency	125 KHz
Input modulation frequency	10 KHz
Modulation Depth	8% - 60 %

Tabela A.5.2 - Características ecléticas do desmodulador de comunicações

Características do “switch” Óptico

Outro componente do dispositivo auto-sustentável é um comutador óptico mecânico. A funcionamento deste componente pode-se assemelhar a um “relé” que faz encaminhar os sinais ópticos de uma fibra para outra. A gama de tensões eléctricas ao seu correcto funcionamento situa-se entre os 2.5V e os 5V. Sendo necessário aplicar uma corrente de 45mA durante cerca de 4ms para haver comutação do “relé”.

Power characteristics of Optical Dual “switch” Latched

Supply voltage Range	2.5V-5V
“switch”ing Current	45 mA
“switch”ing Time	4 ms

Tabela A.5.3 - Características eléctricas do comutador óptico

A utilização deste componente na rede introduz perdas ópticas por inserção na fibra. Estas perdas estão contabilizadas na ordem dos 0.1dB tipicamente.

Caracterização do Fotodiodo e Conversor Opto-Eléctrico

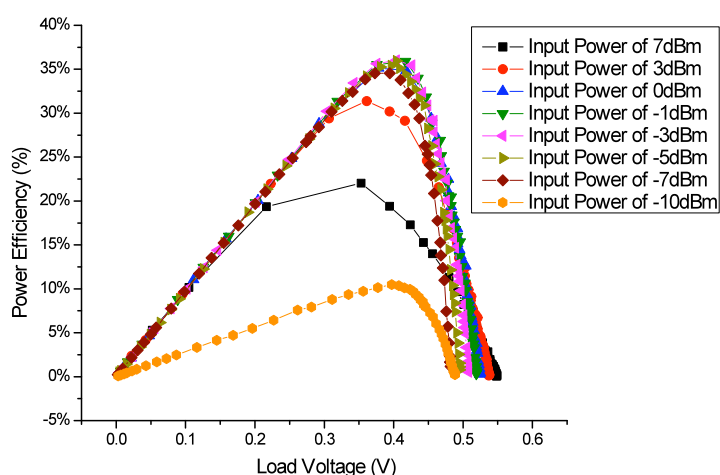


Figura A.5.2 - Eficiência em função da Potência óptica

O gráfico da Figura A.5.2 representa a eficiência opto-eléctrica em função da potencia óptica aplicada à entrada do fotodíodo. Pela observação do gráfico 13 pode ver-se que a eficiência é maior para potências ópticas entre -7 e 0 dBm.

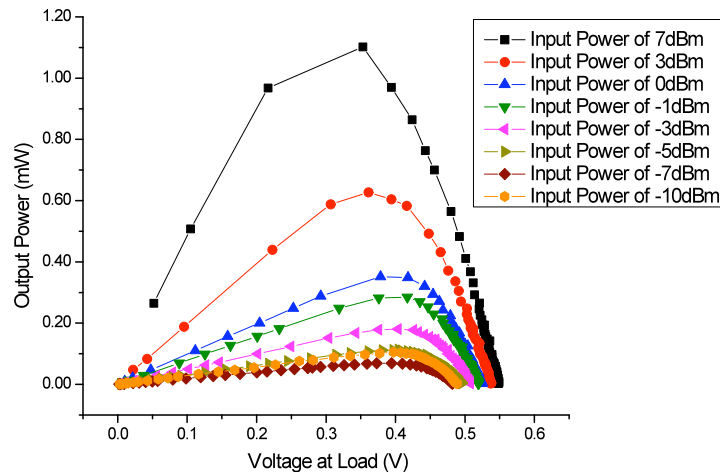


Figura A.5.3 - Potencia eléctrica em função da Potência óptica

Observando agora o gráfico da Figura A.5.3, verifica-se que a potência eléctrica é maior para entradas de potência óptica maiores. A potência óptica a fornecer ao modulo harvest será de 0dBm, uma vez que a esta potencia óptica, consegue-se obter uma maior potência eléctrica com menos perdas. Os testes em laboratório mostraram que era possível comunicar com o módulo harvest a potências mais baixas, cerca de -25 dBm, contudo, a potência óptica mínima para o total funcionamento do modulo harvesting está bastante acima desta. Teoricamente, considerando a potência óptica (0 dBm), na qual se teria uma potência eléctrica de cerca de 380 μ Watt, seria mais que suficiente, pois o sistema em modo inactivo consome apenas 6 μ Watt, o que permitiria armazenar energia. Na prática, isso não acontece porque se observar-mos novamente os gráficos, constatamos que para uma potência óptica de 0 dBm corresponde a uma tensão de cerca de 0.4V. Este valor está bastante abaixo da gama de tensões fornecidas pelos fabricantes do microcontrolador e do desmodulador (Tabela A.5.1 e Tabela A.5.2). A solução para este problema passou pela utilização de um circuito DC/DC Step-up que eleva a tensão de 0.4V para 3.6V. Contudo, a eficiência destes circuitos é menor quanto mais baixa for a tensão de entrada (cerca de 40% para uma tensão de entrada de 0.4V). A caracterização do circuito DC/DC é analisada com mais detalhe posteriormente. Além disso, existe uma pequena variação na eficiência de fotodíodo para fotodíodo que os fabricantes não conseguem garantir, pois os fotodíodos embora tenham o mesmo principio de funcionamento de células fotovoltaicas, não foram projectados para estes fins. O que

seria necessário propor/atingir objectivos ainda mais altos, para garantir que o sistema funcione para o pior dos casos.

Na tentativa de ultrapassar o obstáculo, utilizaram-se quatro fotodíodos iguais ligados em série, invés de um único fotodíodo. Somando a queda de tensão em cada um dos díodos, teríamos um valor aceitável para colocar a DC/DC a trabalhar com mais eficiência pois a tensão de entrada já não eram os 0.4V mas sim um valor mais aceitável, 1.6V. Esta tentativa também fracassou, pois as perdas eléctricas que haviam inicialmente na DC/DC na conversão da tensão passaram para o domínio óptico, através de perdas de inserção dos couplers ópticos entre o laser e os fotodíodos.

Caracterização do Conversor Opto-Eléctrico

Durante a caracterização dos fotodíodos, optou-se também por caracterizaram os conversores Ópto-Eléctricos. Pela Figura A.5.4 pode ser observada a eficiência opto-eléctrica em função da potência óptica aplicada. Embora não seja muito diferente da eficiência obtida nos fotodíodos, a potência óptica aplicada no conversor opto-eléctrico é bastante superior, 150mW (cerca de +20dBm).

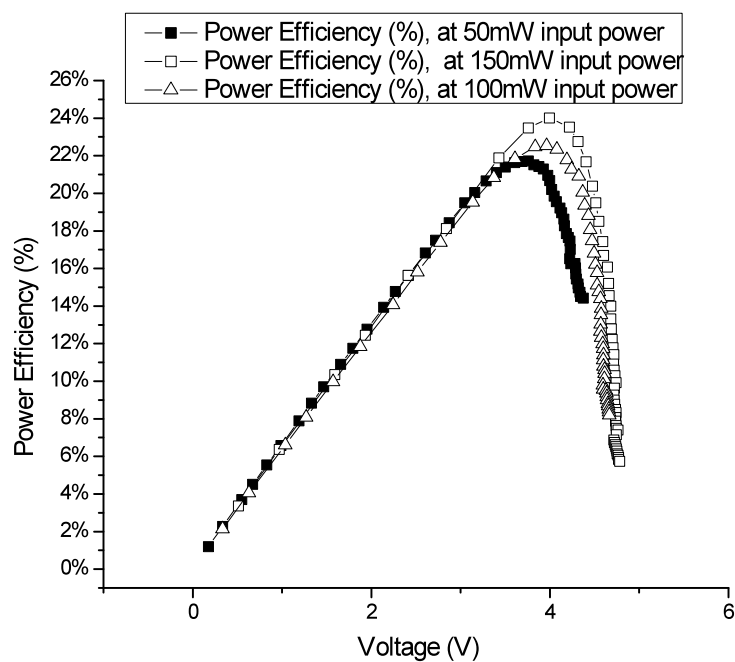


Figura A.5.4 - Eficiência em função da Potência óptica

Observando agora o gráfico da Figura A.5.5, verifica-se que a potência eléctrica é mais alta quanto mais alta for a potência óptica de entrada. A potência óptica para a aplicação do conversor opto-eléctrico seria 150mW. À qual corresponde uma potência eléctrica de 36mW e uma tensão de aproximadamente 4V aos terminais do conversor opto-eléctrico.

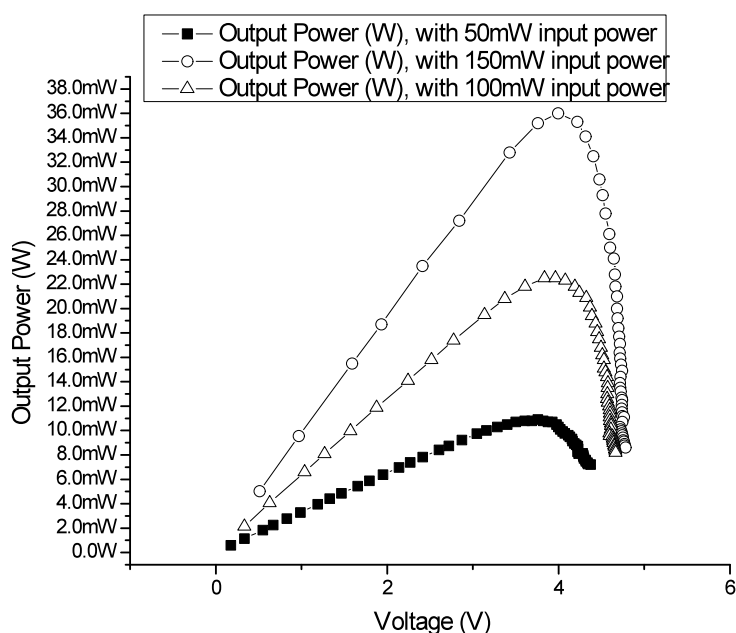


Figura A.5.5 - Potência eléctrica em função da Potência óptica

Neste caso, os valores coincidem com as especificações do microcontrolador e desmodulador, não havendo necessidade de recorrer a um conversor DC/DC. No entanto, o custo (cerca de vinte vezes mais que um fotodíodo) e a necessidade de potências elevadas para o seu funcionamento, comprometem a utilização deste dispositivo no modulo harvesting.

Caracterização Conversor DC/DC

O conversor DC/DC desenvolvido para o projecto do modulo harvest pode ser visualizado na Figura A.5.6.

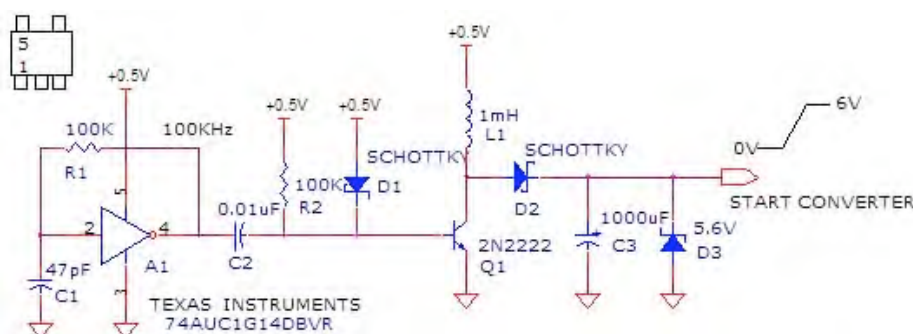


Figura A.5.6 - Circuito do Conversor DC/DC Step-Up Simple Boost

Este circuito foi considerado no projecto, por ser um circuito bastante simples em termos de funcionamento e de electrónica. Além disso, permite a operar com tensões abaixo dos 0.5V. Não possui o sistema de feedback para ajustar a frequência de oscilação em função da tensão de entrada e saída o que, permite a redução no consumo de energia

no seu funcionamento, pois tem menos electrónica. O inversor SN74AUC1G14DBVR permite operar com tensões de alimentação cerca de 0.45V.

No funcionamento do circuito o oscilador constituído pelos componentes A1, R1 e C1, geram uma onda sinusoidal com uma amplitude de 0.5V e frequência de aproximadamente 125 KHz. Esta frequência após o filtro C2, vai fazer variar a tensão na base transístor Q1. Assumindo que Q1 é um interruptor ideal. Quando o interruptor se encontra aberto durante muito tempo e a tensão nos terminais no díodo D2 é negativa, a tensão no condensador é igual à tensão de entrada (0.5V). Quando o interruptor é fechado a corrente flui através da bobine L1 e o díodo D2 impede que o condensador C3 descarregue. Como a tensão de entrada é em DC, a corrente na bobine aumenta linearmente com o tempo a uma taxa proporcional à relação da tensão de entrada / indutância. Ver Figura A.5.7.

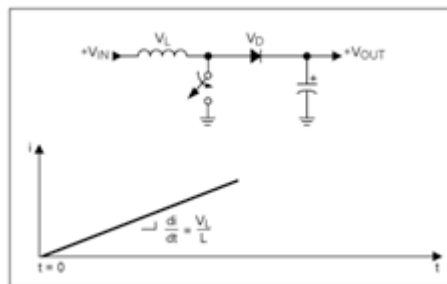


Figura A.5.7 - Fase de carga L1 quando Q1 está a conduzir [20].

A frequência de ressonância da bobine L1 deve ser igual à frequência de oscilação de forma a atingir a eficiência máxima.

Quando Q1 não conduz, ou seja, o interruptor está aberto, a corrente em L1 continua a fluir através de D2 para C3. Sempre que a tensão aumenta, o declive da corrente, di/dt , no indutor inverte. A tensão de saída aumenta até atingir um equilíbrio ou quando: $V_L = L \times di/dt$.

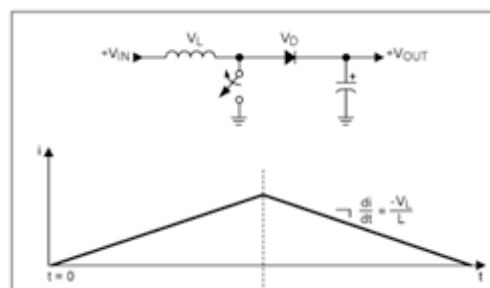


Figura A.5.8 - Fase de descarga de L1 quando Q1 não conduz [20].

Por outras palavras, quanto maior é a tensão na bobine, menor é a corrente na bobine.

Em constante funcionamento a tensão média na bobine durante um ciclo de funcionamento é zero. O que implica que a corrente que flui na bobine está em estado estacionário. Como a tensão média nos terminais da bobine é zero, pode-se então calcular o tempo de impulso, ou seja, o Duty Cycle da seguinte forma:

Sabendo que em num ciclo,

$$V_{IN} \times t_{ON} = t_{OFF} \times V_L$$

E a tensão de saída é dada por:

$$V_{OUT} = V_{IN} + V_L$$

Resolvendo o sistema de duas equações vem que:

$$V_{OUT} = V_{IN} \times (1 + t_{ON}/t_{OFF})$$

O duty cycle é dado por:

$$t_{ON}/(t_{ON} + t_{OFF}) = D$$

$$V_{OUT} = V_{IN}/(1-D)$$

Eficiência conversor DC-DC

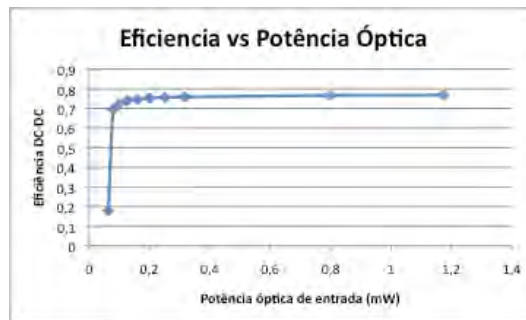


Figura A.5.9 - Eficiência em função da potência óptica aplicada

Pela Figura A.5.9, observa-se que o conversor DC/DC tem mais eficiência para potências ópticas mais altas. Contudo o consumo deste dispositivo para uma potência de + 0dBm, é cerca de 300µW. Tendo em conta que a potencia eléctrica obtida pelo fotodiodo, na presença de uma fonte óptica de 0 dBm, é de 380µW. Sobram apenas 80 µW para armazenamento.

6. Conclusão

Neste trabalho foram apresentados temas relacionados com sistemas sustentáveis, redes de comunicação óptica e redes ópticas sustentáveis. Tendo como componente principal a utilização de mecanismos para a reduzir o consumo energético numa rede por fibra óptica. Foi feita a título exemplo prático a abordagem a uma arquitectura de rede de acesso, mostrando como é possível implementar uma rede completamente óptica, com recurso a redes ópticas passivas. Tendo em conta a reconfigurabilidade da rede como uma melhoria de gestão da arquitectura de rede, na redução de custos de implementação e manutenção.

As FTTH PON são sem dúvida as redes “à prova do futuro”. De acordo com as previsões futuras no que respeita ao aumento da demanda do tráfego de novos serviços e do exponencial aumento de utilizadores. As redes PON apresentam sem dúvida uma solução muito mais vantajosa em termos energéticos e capacidade de rede, comparativamente as redes Gigabit ponto-a-ponto. Tendo um menor número equipamentos activos (lasers, routers, amplificadores...), oferecendo assim uma elevada capacidade largura de banda, pois o seu meio é totalmente óptico, desde a rede núcleo até ao terminal de acesso do cliente, sem que a capacidade de rede seja limitada pelas condicionantes da electrónica.

Por outro lado, a reconfigurabilidade da rede confere às redes ópticas passivas (PON) mais um ponto a favor, na fiabilidade, na gestão e manutenção da fibra. A investigação e o estudo das redes (PON) concentram-se agora na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias semelhantes às apresentadas no capítulo 4, que possam reconfigurar a rede, dotando-as de “inteligência” no caso de uma falha num dos anéis, ou no balanceamento de potência nos anéis.

Contudo, é possível o aproveitamento de toda a energia utilizada na transmissão, introduzindo a reconfigurabilidade, que permite melhoria na qualidade do serviço, flexibilidade no sistema, e menores custos operacionais (OPEX), pois são necessários menos equipamentos activos. A redução dos custos de instalação (CAPEX) também é conseguida, pela simplicidade de projecto e através da possibilidade de reconfiguração remota.

6.1. Sugestões de Trabalho Futuro

A reconfiguração da rede é conseguida através da utilização de um dispositivo baseado em actuadores ópticos mecânicos, também ele sustentável, para aplicação nos nós remotos. Embora este dispositivo, melhore o funcionamento da rede, necessita ainda de melhoria em termos de eficiência energética, de forma a poder reduzir ainda mais os custos de operacionalização.

No futuro, a largura de banda continuará a aumentar havendo necessidade de acessos cada vez mais rápidos. A rede SARDANA reúne as características fundamentais, que proporcionam o acompanhamento dessa escalada. Sendo ainda necessário:

Melhorar o alcance, a taxa transmissão de dados e o aumento do numero de utilizadores, com um menor CAPEX e OPEX.

Melhorar a eficiência do sistema pesquisando novas tecnologias a implementar nos RNs.

Estudo comparativo em relação aos custos de implementação e operacionalização CAPEX e OPEX face a outras tecnologias existentes no mercado.

APÊNDICE A

Tramas de Comunicação

As comunicações permitem ao módulo receber os comandos enviados pelo Central Office (CO). Para realizar as comunicações entre o CO e os RN foi utilizado apenas um comprimento de onda dedicado na Banda C 1550 nm. Tendo sido definido um número de 16 Nós Remotos máximo por anel.

Tendo em conta as limitações dos meios e dos consumos energéticos do dispositivo do RN, houve necessidade de fazer uma pesquisa com o objectivo de encontrar um mecanismo de comunicação que pudesse operar no domínio óptico. Para além de, simples, robusto, barato, de baixo consumo, endereçável e por fim que permitisse detectar sinais ópticos a longas distancias.

De entre alguns dispositivos de pesquisados, tais como transponders de infravermelhos, RF e filtros utilizando um conversor analógico para digital. O integrado RF (MCP2030), foi o mecanismo de comunicação encontrado, como sendo o “ouvido” do dispositivo do Nó Remoto.

Embora este dispositivo tenha sido concebido para aplicações de radiofrequência, a compatibilidade das características eléctricas, permitiu adaptar este componente ao domínio óptico, operando dentro das especificações impostas pelo fabricante.

O funcionamento deste integrado pode ser explicado de uma forma simples. Quando é pretendido enviar informação é emitida previamente uma sequência de sinais, antes do envio dos dados. Essa sequência de sinais é única para cada dispositivo e permite seleccionar apenas um dispositivo a comunicar.

Na Figura seguinte observa-se uma trama enviada pelo CO ao RN. A sequencia de sinais que permite endereçar o RN pode ser visualizada na figura seguinte através da sequencia formada por $T_{stab}+T_{gap}+T_{oet}+T_{oel}$.

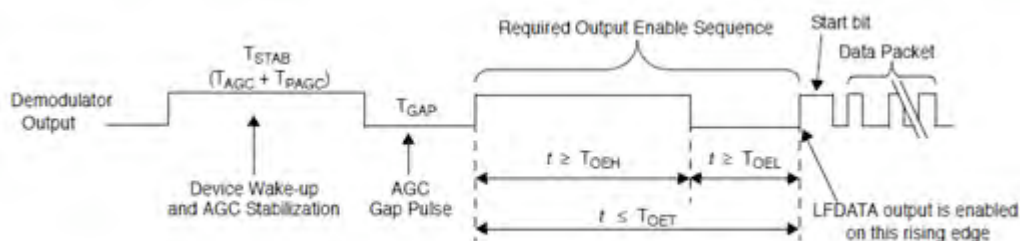


Figura B.0.1 - Formato da trama de comunicação[21]

O processo do CO na selecção do RN ao qual pretende enviar a informação de sinalização, é descrita com mais detalhe na Figura B.2.

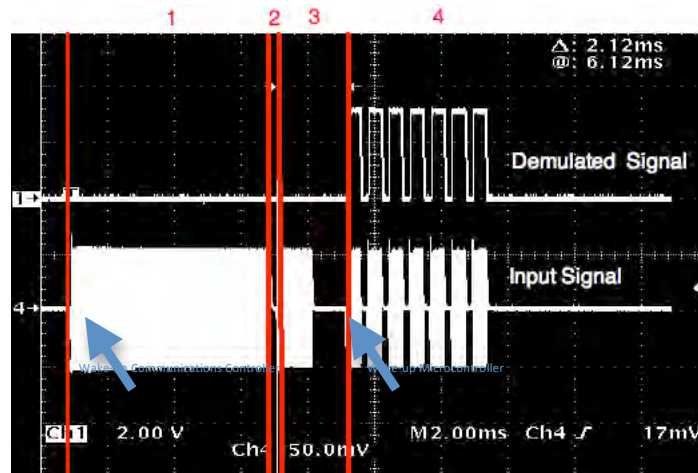


Figura B.0.2 - Formato da Trama enviada pelo CO

1. A duração de Tstab é fixa (3.5ms) e igual para todos os RNs, este primeiro tempo permite colocar todos os RN's à escuta no anel de fibra óptica.
2. Tgap também tem uma duração fixa (0.5ms) e sinaliza o fim de Tstab.
3. Toeh+Toel, permite seleccionar o RN ao qual se pretende enviar a informação de sinalização, através da combinação destes tempos. O RN seleccionado é activado, ficando os restantes inactivos.
4. Informação de sinalização propriamente dita. Os dados são modulados em amplitude a uma frequência de 10KHz.

Os sinais à entrada do desmodulador, possuem como características eléctricas 3mVpp e uma frequência portadora de 125KHz.

Na figura B.4 o consumo energético detalhado do dispositivo implementado no RN, tendo em conta o tempo de cada uma das fases da comunicação.

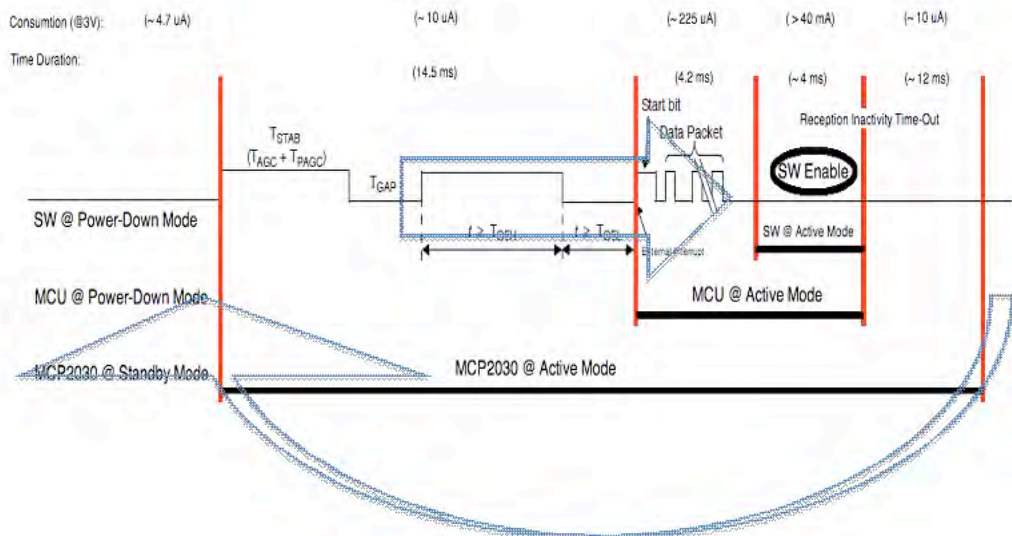


Figura B.0.3 - Consumos Energéticos do dispositivo implementado no Nó Remoto

Tendo em linha de vista apenas os componentes, microcontrolador, decodificador e o comutador óptico alimentados com uma tensão eléctrica de 3V. Quando a máquina de estados do dispositivo está em estado inactivo, nenhum dos três componentes está no modo activo, apenas o desmodulador se encontra no modo standby, pela razão que foi referida anteriormente. Pelas Tabela A.5.1, Tabela A.5.2 e pela Tabela A.5.3, o dispositivo no estado inactivo tem consumo de corrente de cerca de $4.7\mu\text{A}$ o que representa um consumo em potência de $14.1\mu\text{W}$.

Quando o dispositivo recebe um sinal de endereçamento do CO, apenas o desmodulador passa para o modo activo, o que faz aumentar o consumo de corrente do sistema para $10\mu\text{A}$ ($30\mu\text{W}$). Este consumo tem a mesma duração do sinal de endereçamento cerca de 14.5 ms.

O RN é seleccionado, e o desmodulador vai activar o microcontrolador para receber a informação (representado pelo estado “comunicar”), consequentemente o consumo em corrente aumenta para $225\mu\text{A}$ ($675\mu\text{W}$) durante o tempo de dados (4.2ms).

De seguida o “switch” óptico é accionado, estando todos os componentes em modo activo. O consumo atinge o máximo, cerca de 45mA (135mW) durante 4 ms.

O desmodulador possui um temporizador interno que o faz transitar para o modo standby, quando existe ausência de comunicação por um período superior a 16ms. Portanto o consumo do sistema após a comutação do “switch” é $10\mu\text{A}$ ($30\mu\text{W}$). Durante 12ms de tempo só o desmodulador permanece no estado activo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] wikipedia, "Desenvolvimento Sustentável."
- [2] "Protocolo de Quioto," 1998.
- [3] S. 2020, "Enabling the low carbon economy in the information age," *The Climate Group. London*, 2008.
- [4] Terra-2000.org, "Scenarios ", 2003.
- [5] ITU, "ICT Regulation Toolkit," 2006.
- [6] A. OGASAWARA, "Energy Issues Confronting the Information and Communications Sector —Need to Reduce the Power Consumed by the Communications Infrastructure—," *Science & Technology Trends*, 2006.
- [7] E. Z. Gerhard Fettweis, "ICT Energy Consumption – Trends and Challenges," in *IEEE - International Conference on Communications* Dresden, Germany, 2008.
- [8] J. B. Rodney S. Tucker, Robert Ayre, Kerry Hinton, Wayne V. Sorin, "Energy Consumption in IP Networks," in *ECOC: CUBIN*, 2008.
- [9] G. Keiser, *Optical fiber communications* vol. 3. Universidade de Michigan: McGraw-Hill, 2000.
- [10] R. J. Hoss, *Fiber optic communications design handbook*. Universidade de Michigan: Prentice Hall, 1990.
- [11] FTTH_Council, "fiber-to- the-home-council," 2009.
- [12] A. M. C. Baptista, "Reconfigurable Remote Nodes for hybrid Passive Optical Networks," Universidade de Aveiro, 2008.
- [13] FibreFab, "Fibre to the Home." vol. 2009, 2009.
- [14] Cisco, "White Paper - Fiber to the Home Architectures," 2008.
- [15] A. Teixeira, "SARDANA A Next Generation PON with extended reach and debits ," in *NGON*, 2008.
- [16] P. André, "Componentes optoelectrónicos para redes fotónicas de alto débito," Universidade de Aveiro, 2002.
- [17] G. P. Agrawal, *Fiber Optic Communication Systems*, 2nd ed.: John Wiley & Sons, 2004.
- [18] N. P. Albano Baptista, Paulo André, David Forin, Giorgio Beleffi, Jose Lázaro, Josep Prat, and António Teixeira, "Reconfigurable Remote Node for Hybrid WDM Dual-Fiber-Ring with TDM Single-Fiber-Trees Passive Optical Network," in *ICTON*, 2008.
- [19] K. C. Sofie Verbrugge, Bart Lannoo, Jan Van Ooteghem, Raf Meersman, Didier Colle, Piet Demeester, "FTTH Deployment and its Impact on Network Maintenance and Repair Costs," in *ICTON*, 2008.
- [20] MAXIM-IC, "DC-DC Converter Tutorial," in *APPLICATION NOTE 2031*, APP2031, Ed.: MAXIM-IC, 2001.
- [21] Microchip, "MCP2030 - Three-Channel Analog Front-End Device," 2005.