

### 3

## Descrição das Técnicas Implementadas nas Configurações Experimentais

Neste capítulo, uma descrição mais concentrada nas técnicas utilizadas na presente dissertação é apresentada. A explicação teórica da técnica de multiplexação por divisão em comprimento de onda, de multiplexação em polarização (PolMUX) e da modulação ASK no formato NRZ.

### 3.1.

#### Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda (WDM)

O crescimento da demanda de tráfego de dados nas redes de telecomunicações do mundo estimulou a pesquisa em diversas técnicas com intuito de incrementar a capacidade de transmissão de dados dos enlaces, aumentar a distância máxima do enlace e elevar a eficiência espectral do sistema.

O emprego da técnica de multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM - *Wavelength Division Multiplexing*) consiste em compartilhar, de forma simultânea, uma única fibra óptica entre vários canais com portadoras ópticas munidas com o comprimento de onda diferentes ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_N$ ) separados adequadamente a fim de evitar a interferência intercanal.

Conceitualmente, a técnica de WDM é a mesma usada na técnica FDM em sistemas de micro-ondas e sistemas de satélite [1]. A Figura 2a e 2b, ilustram um enlace de comunicação óptica sem e com o uso da técnica de WDM, respectivamente.

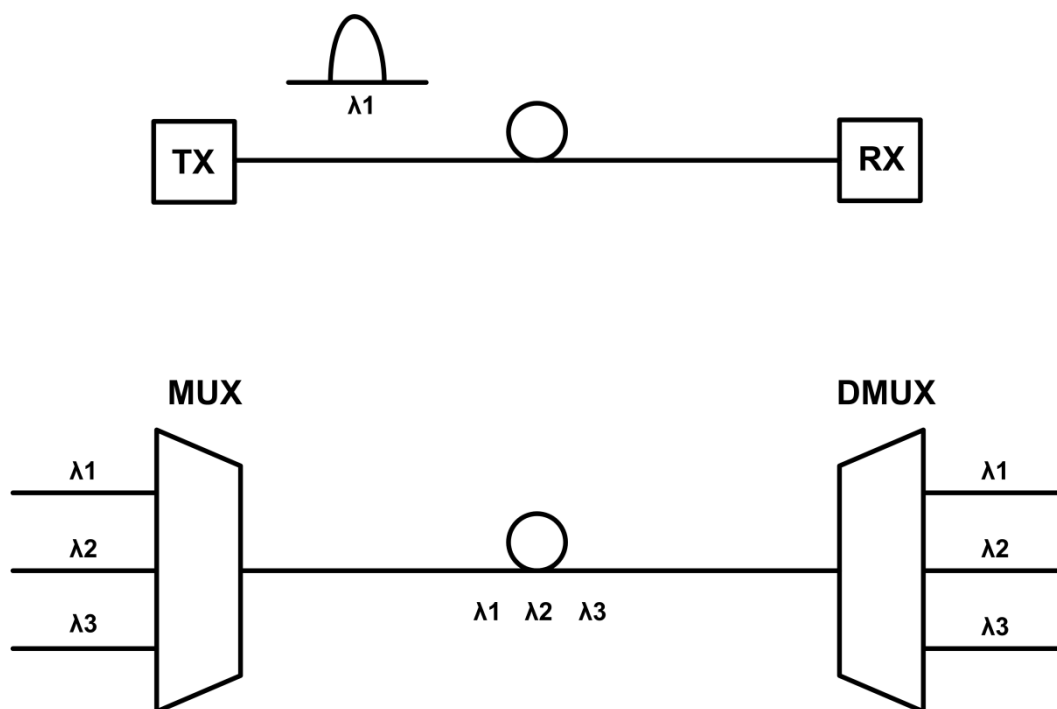


Figura 2 - (a) Esquema de um sistema de comunicação com canal único ponto a ponto (b) Implementação de um sistema WDM

A Figura 2(a) ilustra um enlace de comunicação óptica utilizando a fibra óptica como meio de propagação de um único canal com comprimento de onda  $\lambda_1$ . O bloco TX representa um transmissor genérico, já o bloco RX representa um receptor genérico. Neste caso, o meio de propagação do sinal contém uma banda na ordem de THz, mas a capacidade de transmissão de dados é limitada pelo gargalo eletrônico.

A Figura 2(b) ilustra uma configuração de um sistema óptico de transmissão de dados com o uso da técnica de multiplexação em comprimento de onda. Os componentes essenciais são o multiplexador (MUX), dispositivo que combina os sinais das fontes ópticas em uma mesma fibra óptica, e o demultiplexador (DEMUX), que é o dispositivo com a função de separar os feixes ópticos conforme o comprimento de onda de cada portadora direcionando cada canal para seu receptor correspondente. Os sistemas WDM possuem como principais vantagens o aumento na capacidade de transmissão de dados do sistema por um fator  $N$ , onde  $N$  representa o número de comprimentos de onda multiplexados, a transparência em relação às características de cada canal

multiplexado, isto é, transportam qualquer tipo de dado proveniente de interfaces digital/óptica em seus canais e a facilidade do crescimento da capacidade do sinal sem a necessidade de nenhuma alteração ou adição de fibra óptica no enlace de comunicação, bastando apenas o incremento de mais um sinal óptico diferente dos comprimentos de onda em utilização no sistema.

O potencial de um sistema WDM pode ser demonstrado tomando como base o grande potencial da largura de banda disponível em uma fibra óptica de sílica normal. Na Figura 3, o traçado da atenuação por quilômetro que um sinal óptico sofre ao ser propagar em uma fibra de sílica em função do comprimento de onda é ilustrado. Na curva, as janelas de 1310 nm e 1550 nm de operação de comunicações ópticas estão delineadas para destacar essa porção do espectro que é largamente utilizado em sistemas WDM devido à baixa atenuação que o sinal óptico sofre nas duas bandas em destaque e ao desenvolvimento da tecnologia dos dispositivos que compõem o enlace de comunicação nestas faixas do espectro. A faixa de passagem de uma fibra óptica moderna se estende por várias dezenas de THz. Esta capacidade é muito maior do que a velocidade atingível por qualquer sinal elétrico com a tecnologia eletrônica disponível hoje. Portanto, é impossível fazer uso de toda esta capacidade, simplesmente modulando a intensidade de uma fonte óptica com um sinal elétrico, como fazem os sistemas ópticos convencionais de transmissão. Esta impossibilidade vem sendo chamada de gargalo eletrônico e justifica, além de outras vantagens, o emprego da técnica de WDM nos sistemas de comunicação ópticas para alcançar maiores capacidades de transmissão de dados no enlace.

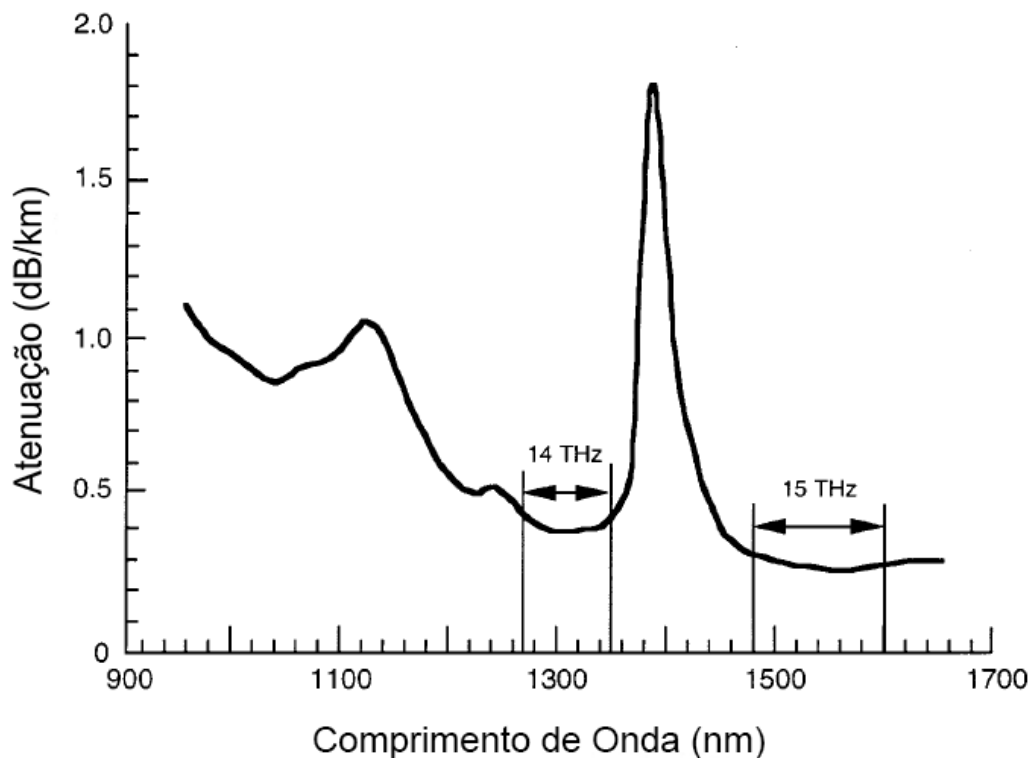


Figura 3 - Atenuação de uma fibra monomodo simples em função do comprimento de onda

Um sistema WDM pode ser classificado de acordo com o espaçamento entre as portadoras ópticas dos canais adjacentes. A ITU-T, que é uma subdivisão da União Internacional de Telecomunicações (ITU), possui uma série de recomendações no campo das comunicações ópticas e, entre elas, define o modo de operação de sistemas WDM em três modos diferentes: o modo de operação WWDM (Wide WDM), CWDM (Coarse WDM) e DWDM (Dense WDM) e ainda existe um novo ainda mais avançado conhecido no mundo científico como UDWDM (Ultra Dense WDM) que ainda não foi definido pela ITU-T.

Dispositivos usados em sistemas WWDM possuem um espaçamento entre canais adjacentes maior ou igual a 50nm. No caso dos dispositivos usados em sistemas CWDM, o espaçamento entre canais adjacentes deve ser menor que 50nm, mas maior do que 1000 GHz (que significa 8nm em 1550nm e 5,7nm em 1310nm) e nos sistemas DWDM, o espaçamento entre canais adjacentes deve ser menor que 1000 GHz. Sistemas chamados de UDWDM são aqueles que possuem espaçamento entre canais adjacentes menor que 10 GHz.

### 3.2. Multiplexação em Polarização (PoMUX)

A multiplexação em polarização é um método para até a duplicação da eficiência espectral de um sistema de comunicação óptica, onde é possível o compartilhamento de dois canais independentemente modulados com o mesmo comprimento de onda, mas munidos de estados de polarização ortogonais para a transmissão em uma única fibra óptica [15]. No receptor os dois canais podem ser separados e direcionados para seus respectivos receptores. Na Figura 4, pode ser observado um esquema básico de multiplexação em polarização.

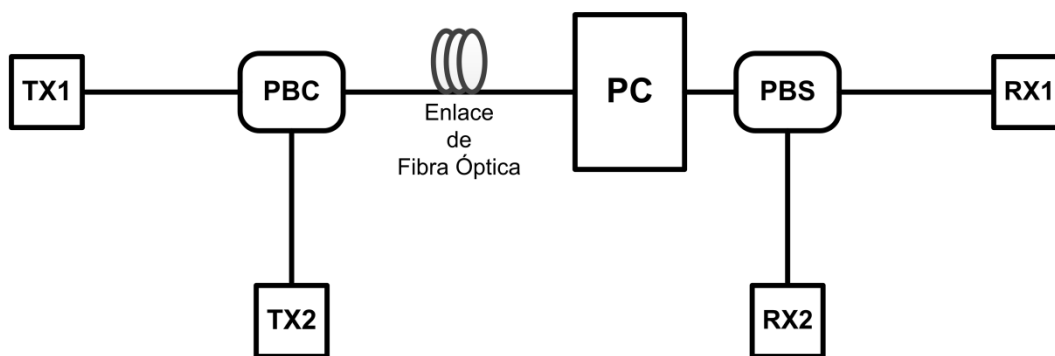


Figura 4 - Esquema básico de multiplexação em polarização

O esquema de multiplexação ilustrado acima corresponde ao uso deste método para dois transmissores. Como poder ser observado, a multiplexação requer um combinador de feixes de polarização (PBC – *Polarization Beam Combiner*) com a função de combinar os dois canais em polarizações ortogonais. O estado de polarização (SOP – *State of Polarization*) é controlado com precisão e velocidade por um controlador de polarização (PC – *Polarization Controller*). No receptor, no fim do enlace, no setor de demultiplexação, deve ser usado um separador de feixes de polarização (PBS – *Polarization Beam Splitter*) com a função de separar os canais de acordo com as suas respectivas polarizações. O procedimento de demultiplexação é otimizado utilizando o PC do sistema de Polmux.

Na presente dissertação foi utilizado nas configurações experimentais providas de multiplexação em polarização o controlador automático de polarização POS-002, da General Phonics. Neste caso, a separação dos canais

com polarização ortogonais é realizado por meio da maximização do sinal de opinião com nível constante de tensão no intervalo de 0,6V a 5 V fornecido pelo sistema. O sinal de realimentação pode corresponder a qualquer parâmetro que pode ser otimizado por um PC como, por exemplo, nível de oscilador local para sistemas com detecção coerente, nível de sinal no receptor etc. Na Figura 5 é ilustrado o diagrama em blocos do controlador automático de polarização com sinal de realimentação usado na técnica de multiplexação em polarização utilizada nesta dissertação.

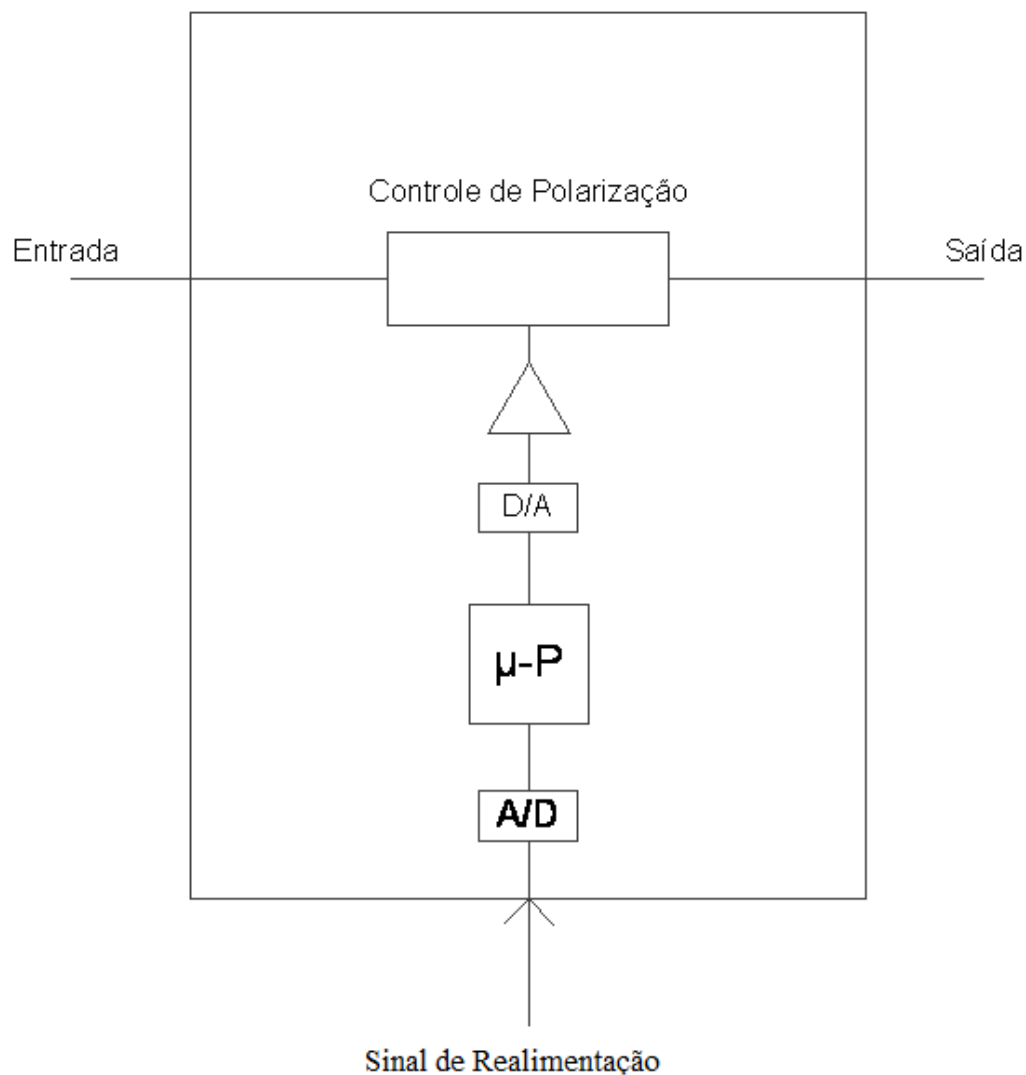


Figura 5 - Diagrama em blocos do Controlador Automático de Polarização

### **3.3. O Modulador**

Todo sistema de comunicação óptica através de fibra óptica demanda um modulador. A principal razão desta necessidade está relacionada com o fato de o sinal modulante, onde a informação está contida, não possui as características apropriadas para a propagação em fibras ópticas. Considerando o sinal modulante digital, ou seja, uma sucessão de níveis lógicos “0” ou “1”, o sinal da portadora, representada por uma fonte de luz na faixa de THz, pode ser modulada com a alteração de um ou mais parâmetros, entre eles: amplitude, frequência ou fase. O modulador, dispositivo que realiza a modulação, tem como função modificar o sinal da portadora de forma que o módulo de detecção do sistema de comunicações ópticas consiga extrair novamente toda informação contida na portadora. Atualmente, existe um empenho direcionado ao desenvolvimento de moduladores para prover maiores taxas de transmissão de bits, eficiência espectral e menores custos de fabricação.

#### **3.3.1 Modulador Mach-Zehnder**

A utilização do modulador externo Mach-Zehnder é vasta, sendo empregado em diversos sistemas ópticos por apresentar grande desempenho, com possibilidade de alcançar velocidades de transmissão de dados na ordem de 100 Gb/s, dependendo do material e da configuração empregados em sua fabricação. Na figura 6, é ilustrado um diagrama funcional do Mach-Zehnder para um melhor entendimento do dispositivo.

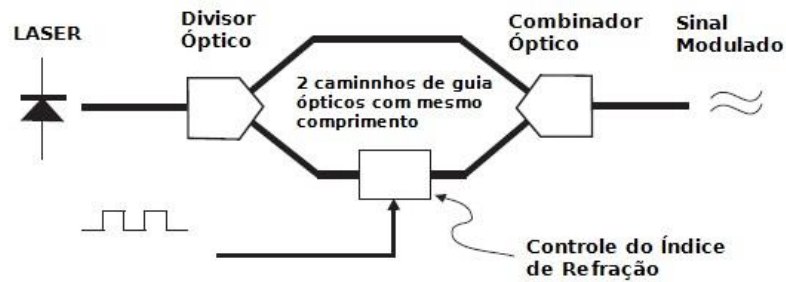


Figura 6 - Diagrama Funcional do modulador Mach-Zehnder

O princípio de funcionamento é o fenômeno de interferência, no qual ocorre, na saída do modulador, a interação de duas ondas eletromagnéticas de forma destrutiva até a forma construtiva dependendo do atraso relativo de fase. Através da Figura 6, logo acima, é possível observar toda a estrutura funcional do modulador Mach-Zehnder, contendo basicamente um divisor óptico para a separação do sinal óptico em dois caminhos diferentes de, idealmente, mesmo tamanho e, posteriormente, um combinador óptico para a implementação da interação das duas ondas eletromagnéticas. Analisando o componente, desconsiderando as perdas para simplificação do problema, pode-se conjecturar que a interação dos sinais no combinador óptico seria completamente construtiva e teríamos exatamente o mesmo sinal na saída comparado com a entrada do dispositivo. O dispositivo óptico modulador para manipular o resultado da interferência na saída é o material que o constitui, mais comumente o niobato de lítio. Por meio da aplicação da tensão em cada um dos 2 braços que o sinal óptico percorre, o dispositivo tem a característica de mudar o índice da refração do meio, e assim, atrasar ou adiantar uma onda eletromagnética em relação à outra. Com isso, torna-se viável o controle do resultado da interferência na saída do dispositivo. A Figura 7 ilustra de forma menos genérica o modulador Mach-Zehnder.



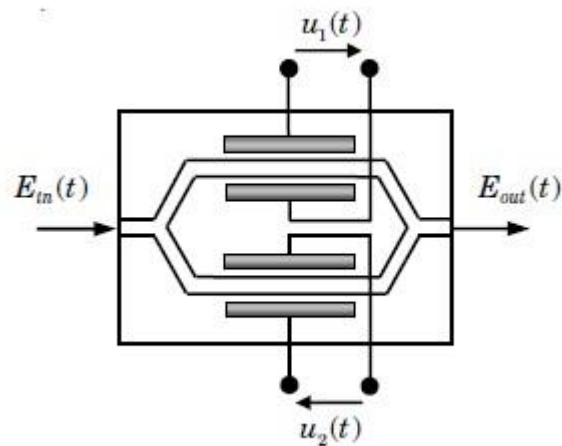


Figura 7 - Estrutura de um modulador Mach-Zehnder

Como explicado, o fenômeno de interferência na saída do MZM varia de destrutiva a construtiva de acordo com diferença relativa de fase dos caminhos determinada para tensões aplicadas em  $u_1(t)$  e  $u_2(t)$ . O dispositivo MZM é flexível e pode ser usado em diversas aplicações. No caso desta dissertação, ele foi utilizado como um modulador de amplitude. Sem considerar perda de inserção, a função de transferência do campo  $E_{in}(t)$  é dada por:

$$E_{out}(t) = E_{in}(t) * \cos\left(\frac{u(t)}{2V\pi}\right) * \pi$$

Onde, para o funcionamento como modulador de intensidade de sinal, deve ter:

$$u_1(t) = -u_2(t) = u(t)/2$$

$$V\pi_1 = V\pi_2 = V\pi$$

Onde  $V\pi$  é a tensão necessária para comutar de  $\pi$  a fase

### 3.3.2. Modulação NRZ-ASK e VSB NRZ-ASK

Em sistemas de comunicação óptica, sinais em banda base são moduladores com portadoras ópticas de altíssima frequência. Diversos tipos de modulação podem ser utilizados. A modulação NRZ-ASK ou, mais particularmente, modulação *On-Off Keying* (OOK) é a mais simples e comum utilizada em sistemas de comunicação óptica. Na referida técnica de modulação, o sinal em banda base é multiplicado por uma portadora óptica, que fornece na saída do modulador um sinal com 0 *watts* para representar um bit '0' e fornece *A watts* para representar um bit '1' [20]. Na Figura 8, é representado um exemplo de um formato de modulação ASK.

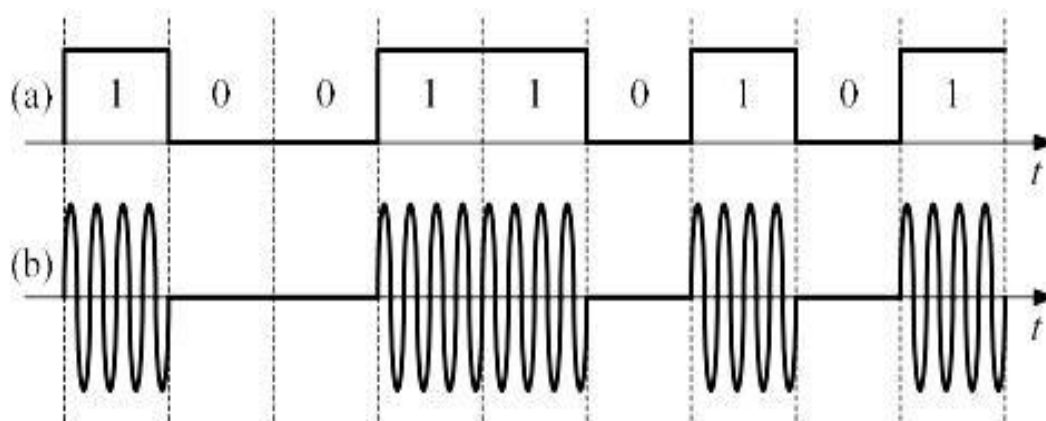


Figura 8 - Modulação no formato NRZ, (a) sinal modulante (b) sinal com modulação ASK

A modulação ASK foi realizada nesta dissertação com o dispositivo apresentado na seção anterior, o modulador Mach-Zehnder (MZM).

Devido à flexibilidade da alteração do espaçamento entre canais, a frequência central dos filtros de cada canal que pode ser configurado no MUX/DEMUX usado nas configurações experimentais, uma variação da modulação ASK também foi utilizada. A modulação NRZ-ASK-VSB foi utilizada com o objetivo eliminar redundância espectral presente na modulação puramente ASK. Deslocando os filtros do demultiplexador em relação à portadora dos canais foi o método utilizado para a realização da modulação NRZ-ASK-VSB.