

1. Introdução

O objetivo principal é apresentar um estudo sobre os diversos parâmetros e fundamentos que definem o funcionamento dos Sistemas de Comunicação Óptica no Espaço Livre – Free Space Optics (FSO). É importante, nesta dissertação, determinar e avaliar a viabilidade da implementação de enlaces reais, assim como garantir a necessidade, a capacidade e a qualidade solicitada pelo cliente. Por outro lado, o enlace também deve oferecer uma boa comunicação frente às diversas condições atmosféricas adversas.

A propagação de um feixe de luz na atmosfera sempre foi tratada com interesse pela comunidade científica. No caso do laser, o impacto que esta tecnologia teria na transferência de dados em altas taxas[1-3] e a sua atual aplicação comercial para diversos tipos de clientes [4-6] sempre foi motivo de interesse. Um objetivo imediato seria então o de usar esta tecnologia na implementação de uma rede metropolitana

1.1. Histórico do FSO e as suas aplicações

A história da comunicação óptica remonta inicialmente à época da Antiga Grécia que na qual enviavam sinais luminosos originados pela luz do sol através de discos polidos. No final da década de 1880, Alexander Graham Bell projetou o “fotofono”, aparelho que transmitia o som usando a luz solar modulada.

Entretanto, a história moderna da comunicação de sistemas ópticos pode ser considerada a partir da invenção e o desenvolvimento do primeiro laser de rubi em 1960. A comunicação usando um feixe de laser modulado foi uma das primeiras aplicações para o laser. Os primeiros experimentos foram realizados pela NASA na tentativa de utilizar o laser como um meio de comunicação dentro de uma cápsula espacial[7]. A terminologia de COMUNICAÇÃO DO LASER NO ESPAÇO LIVRE ficou definida quando foi proposta a idéia de conectar um feixe de laser entre a Terra e vários satélites orbitais, ou desde aviões até a Terra. Porém, as primeiras tentativas não obtiveram muito sucesso devido à pouca

confiabilidade e à pouca potência oferecida pelos laser da época. Posteriormente, novos testes realizados com laser de bombeio (*pump laser*), permitiram realizar a comunicação terra-ar. [8].

O desenvolvimento do laser permitiu utilizar uma nova parte do espectro eletromagnético para as telecomunicações. As aplicações compreendem desde a transmissões de imagens via satélite, o que permite poupar o espaço físico e potência utilizada em relação à de um sistema de microondas de um satélite convencional e atual (compreendendo as antenas e os diversos guias de ondas), e uma alta taxa de transmissão de até 50 Mbps [9]; ou as conexões infravermelhas em ambientes fechados ou internos *indoor*, de curto alcance, o que possibilita a interconexão entre periféricos, tornando a comunicação segura como no caso das comunicações em redes WLAN[10].

1.2. Vantagens e desvantagens

Os sistemas de telecomunicações de hoje utilizam dois tipos de tecnologias:

- Meios confinados, como fibras ópticas ou cabos coaxiais;
- Sistemas aplicados no espaço livre – como, por exemplo Microondas e/ou RF.

FSO encaixa-se dentro da segunda categoria, porem possui algumas características da primeira. Componentes utilizados por fibras ópticas são empregados nos transmissores e receptores de FSO. A diferença é que as fibras são meios confinados e o FSO propaga-se livremente.

Os sistemas de comunicação FSO são muito menores e de menos peso do que os sistemas de RF. Podem então ser portáteis. A potência necessária é pequena e o ângulo de abertura do feixe é estreito, tornando a comunicação entre dois pontos muito segura. Para que o sinal possa ser interceptado, um receptor deverá ser colocado no caminho do feixe transmitido.

Os sistemas de FSO entram com maior força ao cenário das telecomunicações devido principalmente à recente expansão da Internet. Com as comunicações em FSO, a transmissão de dados e as aplicações para vídeo e imagens tornam-se economicamente viáveis, e sem a necessidade de cavar fossas ou caneletas tal qual para fibras ópticas. As comunidades de moradores associação de bairros, estão, cada vez mais, repudiando obras nas suas vizinhanças. Os sistemas de FSO oferecem uma solução atrativa ao problema da “última milha”, sem necessidade

de buracos e obras, obrigatórias para um enlace de cabo de fibra óptica.

Outras vantagens do sistema FSO são:

- Instalação rápida e barata do sistema.
- Não são necessárias licenças para uso do espectro eletromagnético.
- Largura de banda razoavelmente competitiva com a da fibra óptica, e certamente muito maior que do radio microondas.
- FSO não provoca interferência eletromagnética em outros aparelhos.

A desvantagem encontrada neste tipo de sistema é relacionada com a propagação óptica através da atmosfera. Os comprimentos de onda são comparáveis em tamanho, com as partículas e moléculas presente no meio ambiente, fazendo com que a energia do laser seja absorvida ou espalhada. Os comprimentos de onda mais utilizados são de 785, 850 e 1550 nm. Isto fundamenta-se no fato que os componentes que são utilizados nas fibras ópticas também são aproveitados pelo FSO. No caso do comprimento de 1550 nm, FSO poderia ser aplicado para transmitir com a tecnologia DWDM [11].

Os três parâmetros mais significantes que afetam um enlace de laser são:

- Absorção.
- Espalhamento.
- Cintilação.

Estes três parâmetros medem a atenuação da energia transmitida, afetando a disponibilidade do enlace[12].

Sistemas FSO podem ser usados em conjunto com as redes de fibras ópticas e sistemas celulares. Qualquer tipo de operadora pode usar esta tecnologia como acesso a áreas densamente povoadas, onde a instalação da fibra seria problemática ou excessivamente cara. As operadoras de serviço sem fio buscam obter soluções escalonáveis que permitam aumentar a capacidade de transferência de dados, mantendo a conectividade entre as Estações Radio-Base (ERBs) e a Base Station Controller (BSC).

Os sistemas ópticos sem fio apresentam um baixo custo e rapidez na instalação, representando uma solução prática para os casos acima. Podem ser instalados nas mesmas estruturas dos *sites* das redes celulares, não provocando interferência com os sistemas de microondas. Adicionalmente, o período de testes reduz-se de meses para apenas alguns dias.

Uma idéia da aplicação do Sistema FSO encontra-se na instalação de uma rede

em malha sobre os prédios de uma cidade, como ilustrado na Figura 1.1. Isto permite um rápido aproveitamento deste sistema (de horas até dias, contando com as etapas de instalação, testes e total funcionamento da rede) em relação à implementação de uma rede de fibra óptica, (que, de acordo com o tamanho da rede, pode demorar vários meses).

A diferença entre os sistemas com fibras ópticas e os sistemas com FSO consistem na capacidade de previsão da atenuação do sistema, já que numa rede de fibra óptica tem-se de 0.2 a 0.5 dB/km para fibras monomodo e de 2 a 3 dB/km para as fibras multimodo; e no FSO a atenuação é definida pelas condições de propagação. Como a temperatura, umidade, visibilidade, velocidade de vento, cintilação, etc., variam de um ponto e outro da cidade, determinados enlaces podem ser atenuados com maior ou menor intensidade. Desta forma, uma disponibilidade de 100% de tempo não é garantida. Deve-se levar em conta a localização do enlace na cidade - um enlace que esteja frente ao mar tem maior chance de sofrer uma maior atenuação com a brisa da manhã, ou as rajadas de ventos, criando diferentes índices de refração atmosférica, além de que o mar oferece uma maior concentração de salinidade, criando divergência no laser. A estabilidade de um prédio - originada pelo continua vibração do trânsito de automóveis, tanto ao redor como no próprio prédio - é outro fator que produz uma perda da diretividade do feixe de laser[13,14].

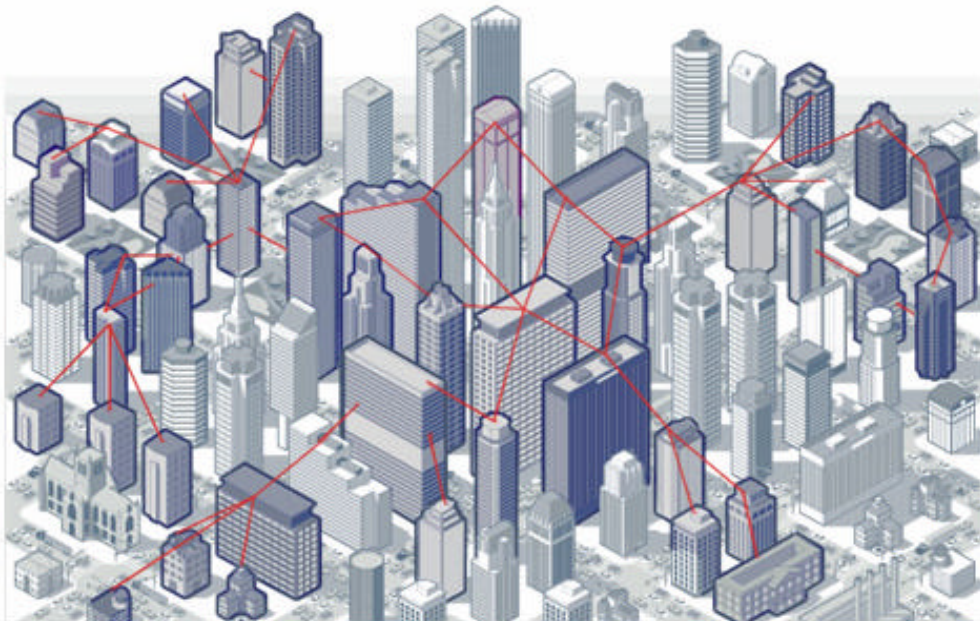


Figura 1.1 - Exemplo de uma rede metropolitana de FSO

Outros fatores podem ser mencionados: Alta concentração de neblina ou

poluentes, ou a contínua passagem de aves e/ou insetos, interferindo com a transmissão. A proximidade do enlace a áreas que tenham uma grande quantidade de árvores ou de água, cria bolhas de ar quente que podem interferir na focalização do laser. Este fenômeno é chamado de cintilação, o qual também acontece nas zonas urbanas, sobretudo onde existem edificações com teto de metal, ou com materiais capazes de reter o calor, que é depois liberado. Um exemplo da cintilação é observado nas estradas num dia quente, ou à noite quando é observado as luzes das casas à distancia, emitindo um continuo “pisca-pisca”

A literatura relacionada à transmissão de um feixe de laser e o efeito que um ambiente turbulento oferece a este tipo de sistema de comunicação é muito ampla [15-18]. A maioria dos sistemas utiliza o sistema de modulação em intensidade *on-off keying* (transmissão por pulsos ON = 1, OFF = 0), no qual o sinal se propaga num canal que é submetido a variações atmosféricas, levando a erros no receptor, provocando um aumento das taxas de bits errados (BER). Na Figura 1.2 mostra-se um esquema simples, indicando as partes que compõem um enlace FSO. Devido à natureza física do canal, a obtenção dos dígitos binários por parte do usuário estará submetida a uma incerteza que é relacionada aos diversos parâmetros inerentes à atmosfera, e que serão explicados no Capítulo 2.

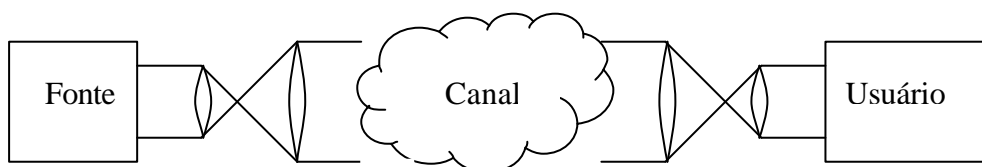


Figura 1.2 - Esquema simplificado de um enlace FSO

1.3. Conteúdo da dissertação

O trabalho foi dividido nos seguintes capítulos:

Capítulo 2 – São apresentados os parâmetros que permitiram a elaboração de um balanço de potência de um FSO. Para isso, os diversos itens que conformam o enlace de FSO – transmissor, receptor, perda atmosférica, perda geométrica e perda por cintilação – são explicados. Finalmente, o balanço de potência do FSO é mostrado. Este balanço exhibe, além das perdas acima indicadas, outras perdas fixas (perdas ópticas no receptor, perdas por alinhamento). Logo, os valores reais

são inseridos no balanço de potência do FSO sendo apresentado em forma gráfica.

Capítulo 3 – Outro item a ser abordado neste trabalho é o relacionado com a disponibilidade do enlace. Este item será comparado tanto na sua forma teórica, obtida através de valores computados nos aeroportos com a forma experimental; testes realizados num período de abril até agosto do 2002, e obtido por intermédio de um instrumento específico para a obtenção da disponibilidade: um BERT. O enlace de FSO também dependerá de vários outros parâmetros que são diferentes entre os fabricantes, e que são inerentes às características dos transmissores e receptores, as quais serão explicadas as mais importantes. Apresenta-se um gráfico indicando o FSO inserido dentro de um tramo nacional de um HRP – *Hypothetical Reference Path*, mencionado na Recomendação ITU-T G.826. É feito um comentário explicando como o enlace poderia ser testado.

Capítulo 4 – Este capítulo mostra os resultados obtidos no enlace FSO, e são utilizados os parâmetros indicados pela Recomendação ITU-T G.826. Para isso o enlace FSO que transmite dados em SDH e que é afetado pelas condições atmosféricas será colocado como item a ser estudado. A partir deste estudo, são estabelecidas três situações de recepção de dados. Finaliza-se com um esquema do enlace do sistema FSO e comentários onde o FSO poderia ser aplicado.

Capítulo 5 – São apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros. Destacamos nesta parte do trabalho a implementação do sistema FSO dentro de uma rede de telecomunicações de uma operadora, e a sua ligação com os serviços da última milha. A visibilidade desempenha um papel importante na conectividade do enlace. Apresenta-se, como item de sugestão, um mapa com as áreas críticas e de transição onde poderia ser implementado o sistema de FSO na cidade do Rio de Janeiro.