

3. Disponibilidade do FSO

No capítulo 2 foram exibidos os diversos parâmetros que conformam o balanço de potência do FSO. Este capítulo do trabalho irá descrever a disponibilidade do enlace, oferecendo uma noção da capacidade de transmissão, e depende principalmente, das condições climáticas. Adicionalmente, serão colocados os resultados de testes feitos entre no Rio de Janeiro entre abril e agosto do 2002, onde se obteve os valores da disponibilidade do FSO, a partir da recomendação ITU-T G.826. Esta recomendação utiliza-se na elaboração de enlaces para sistemas em telecomunicações, sem se importar com o meio utilizado. O sistema de FSO pode ser submetido a esta Recomendação dando um passo importante para o seu reconhecimento como uma tecnologia que pode ser utilizada tanto pelas das operadoras, assim como ser normalizados pelos organismos reguladores nacionais e internacionais.

O objetivo principal no cálculo do enlace é ter uma idéia da disponibilidade, conhecendo os dados quantitativos das perdas, já mencionadas anteriormente.

Apesar de se empregar na implementação do FSO a Recomendação G.826, deve-se prestar atenção que não é só ela a que vai reger todos os parâmetros relacionados.

Na Figura 3.1 tem-se as relações entre a Visibilidade e o Enlace do FSO, tanto para a frequência de 785, 850 e 1550 nm. A região onde acontece uma descontinuidade é no valor da visibilidade = 6 km. Esta descontinuidade é obtida pela eq. 2.4, e pode ser melhor entendida na Figura 3.1

É a partir da Figura 3.1 que é possível construir o gráfico da Disponibilidade vs. Visibilidade. Para isso se toma como referência os dados da porcentagem de frequência da Visibilidade observados no Aeroporto do Santos Dumont e do Galeão, no Rio de Janeiro.

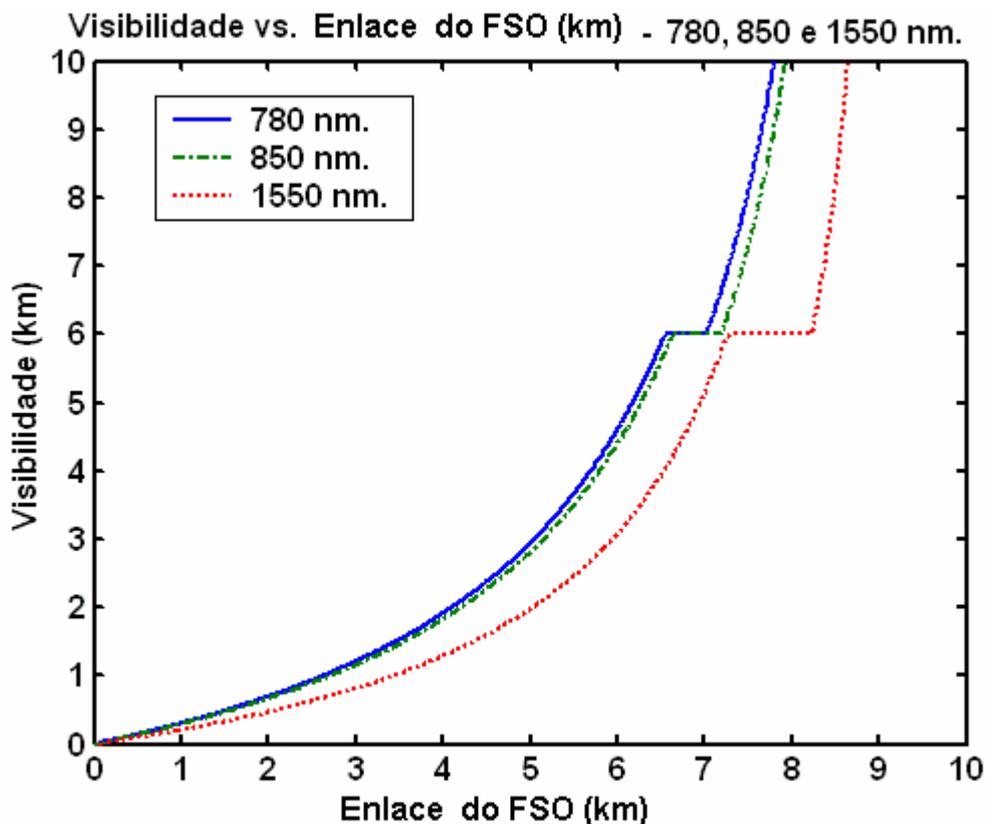


Figura 3.1 – Relação entre a Visibilidade e o Enlace do FSO, nas frequências de 785, 850 e 1550 nm.

Apresenta-se neste caso as Figuras 3.2 e 3.3 que fornecem gráficos relacionando a Disponibilidade e a Visibilidade nos dois aeroportos. São considerados os meses de Janeiro (JAN) e de Junho (JUN) para a análise da Disponibilidade do FSO, já que eles são críticos no verão e no inverno. Adicionalmente, é colocada a Disponibilidade anual (ANN). A diferença de Disponibilidade entre um e outro aeroporto deve-se principalmente à localização geográfica, já que o Galeão encontra-se numa região mais aberta ao espaço livre, e a Visibilidade é afetada pelas constantes variações climáticas, (principalmente pela nebulosidade) e o Santos Dumont é um aeroporto que se encontra mais próximo à cidade, rodeado principalmente por prédios. O Anexo D mostra uma tabela de valores da Visibilidade com a Disponibilidade dos Aeroportos Santos Dumont e Galeão

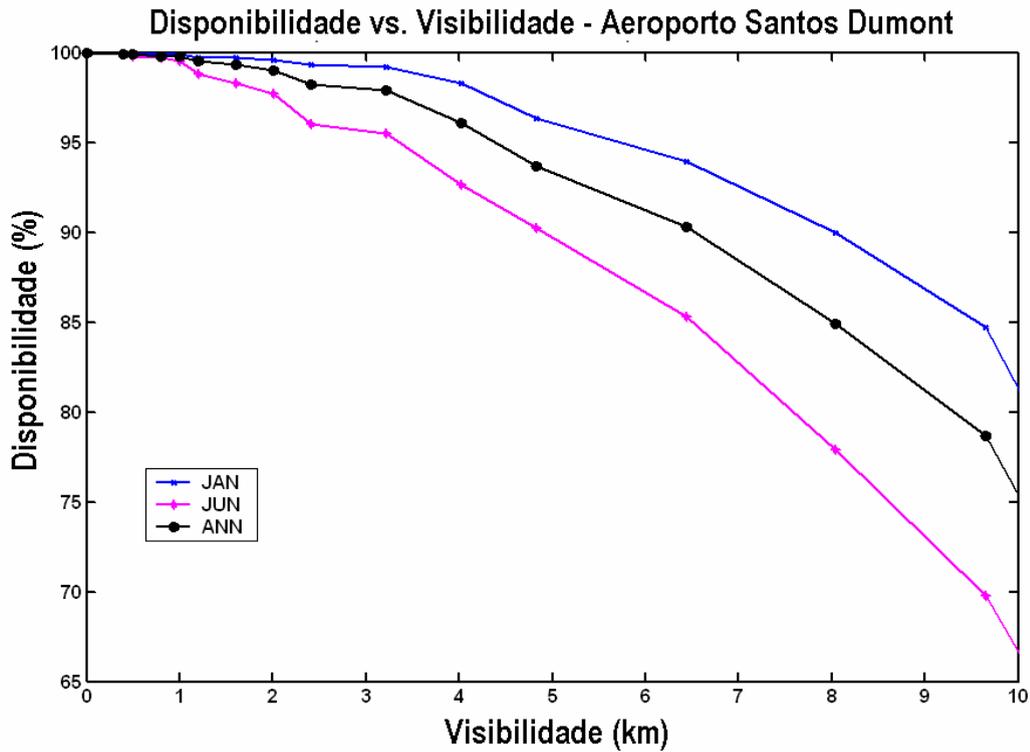


Figura 3.2 – Disponibilidade vs. Visibilidade observado no Aeroporto Santos Dumont.

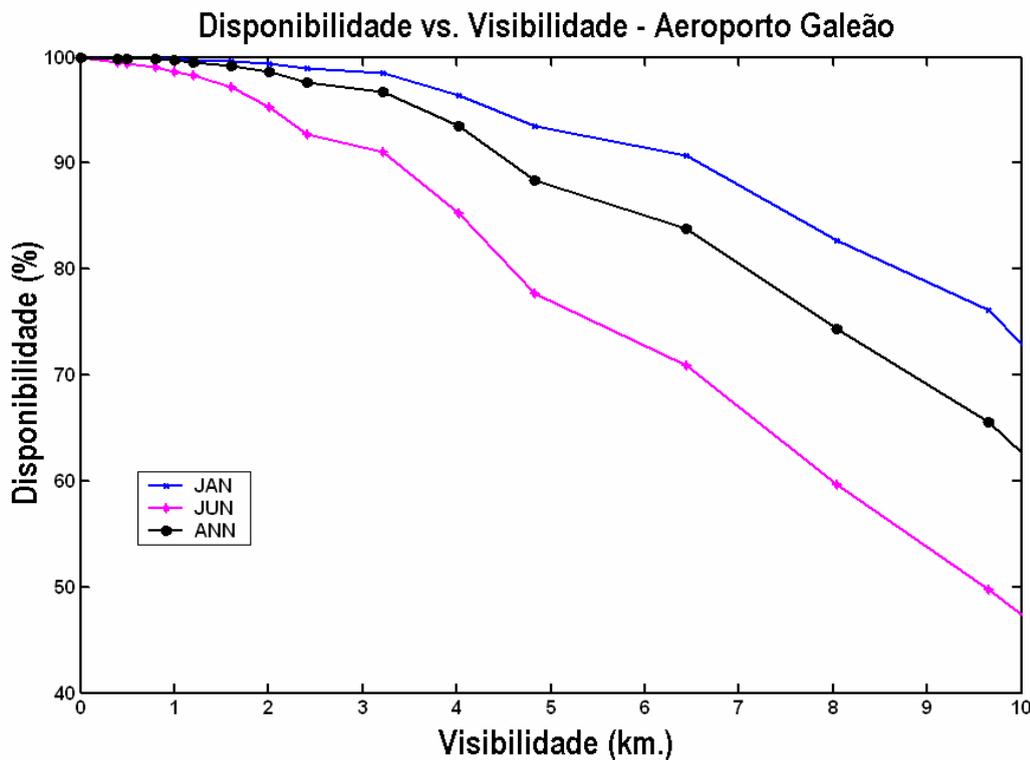


Figura 3.3 - Disponibilidade vs. Visibilidade observado no Aeroporto do Galeão

As informações obtidas nos aeroportos, e apresentadas nas Figuras 3.2 e 3.3, oferecem dados da Visibilidade que resultaram das médias da Visibilidade

registradas em tabelas de anos anteriores. Nestas figuras mostram-se as porcentagens da frequência da Visibilidade durante as horas em que foram medidas.

Fazendo um cruzamento de dados da Visibilidade do comprimento de onda de 850 nm da Figura 3.1 e da Visibilidade oferecida na Figura 3.3, é obtida a Figura 3.4, onde é mostrada a Disponibilidade vs. Enlace do FSO. Escolhe-se a Figura 3.3 já que o enlace de FSO encontrava-se muito próximo do Galeão.

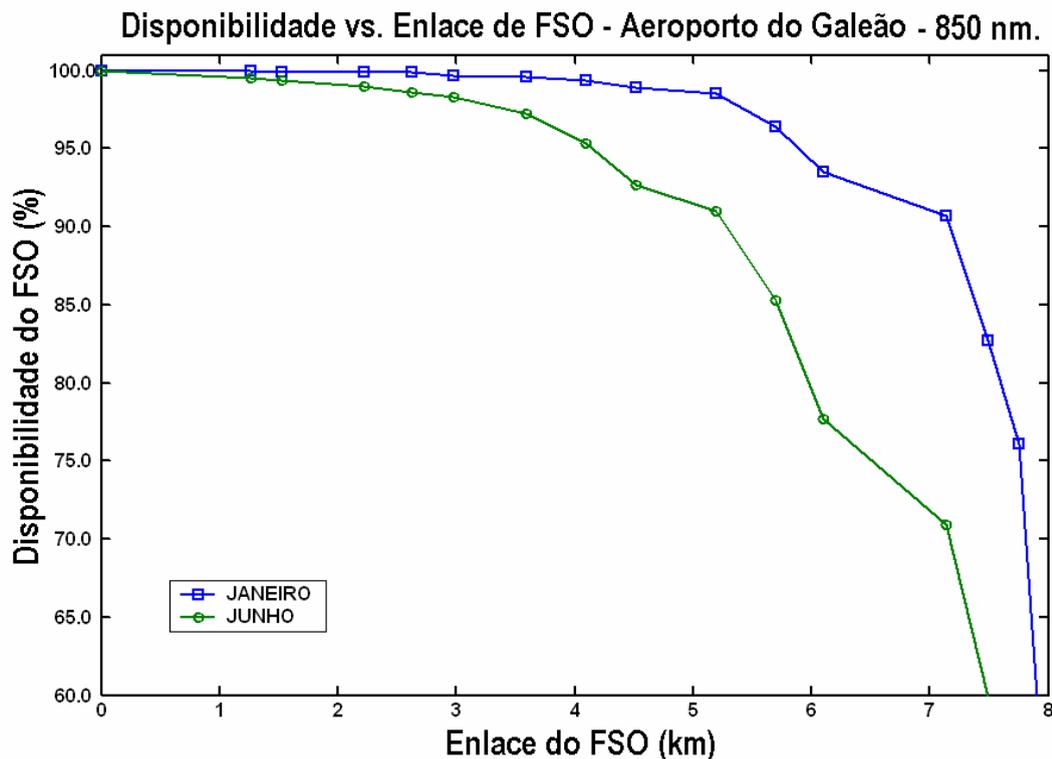


Figura 3.4 – Disponibilidade vs. Enlace do FSO (km). A figura mostra a provável disponibilidade de um enlace de FSO desde 0 até 8 km, perto do Aeroporto do Galeão. A área de 98 para 100 (alta disponibilidade) será apresentada adiante, na Figura 3.5.

Entretanto, apesar de terem sido respondidas algumas dúvidas relativas à Disponibilidade pelos dados obtidos pela Visibilidade, foi necessário realizar medidas com o sistema FSO, de tal forma permitir ter-se uma noção da capacidade de transmissão e da disponibilidade do enlace, em um período longo. A solução encontrada foi testar o enlace com os diversos parâmetros da Recomendação da ITU-T G.826. Deste modo, apresenta-se na página 37, a disponibilidade do enlace FSO no Rio de Janeiro desde o dia 01.04.02 até o 14.08.02 [36].

| Anomalias e Erros apresentados pela Recomendação ITU-T G.826 | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • ES = Período de 1 segundo com um ou mais bits errados • EFS = Período de 1 segundo sem nenhum bit errado. • SES = Segundo com 30% de bloco errado. • UAS = Período de Indisponibilidade, contabilizado em segundos. • EB = Período com blocos errados. • BBE = Bloco de <i>background</i> errado. | |
| Medidas realizadas por um BERT entre abril e agosto de 2002 | |
| 01/04/02 - 16:37:38 15/04/02 - 23:19:44 | |
| ES = 43 SES = 43 <i>Disponibilidade</i> : 99,977% TOTAL DE SEG. 1233726 seg. | EFS = 1233547 UAS = 136 |
| 16/04/02 - 11:42:41 29/04/02 - 14:18:01 | |
| ES = 36 SES = 33 EB = 2 <i>Disponibilidade</i> : 99,257% TOTAL DE SEG. 1132520 seg. | EFS = 1124061 UAS = 8414 BBE = 2 |
| 29/04/02 - 17:14:52 29/05/02 - 10:28:34 | |
| ES = 40 SES = 40 <i>Disponibilidade</i> : 100,00% TOTAL DE SEG. 2567622 seg. | EFS = 2214670 UAS = 0 |
| 29/05/02 - 16:35:59 28/07/02 - 16:35:59 | |
| ES = 262 SES = 201 EB = 70 <i>Disponibilidade</i> : 99,379% TOTAL DE SEG. 5270400 seg. | EFS = 5148101 UAS = 32710 BBE = 70 |
| 30/07/02 - 15:39:16.0 14/08/02 - 14:07:22.1 | |
| ES = 70 SES = 50 EB = 21 <i>Disponibilidade</i> : 98,705% TOTAL DE SEG. 1290486 seg. | EFS = 1273708 UAS = 16709 BBE = 21 |
| MEDIA DA DISPONIBILIDADE : 99,395% | |

Tabela 3.1 – Registro de Anomalias e Erros emitido por um BERT (Bit Error Rate Tester) na qual foram apresentadas os parâmetros da Recomendação ITU-T G.826 para um enlace de FSO na taxa de 155 Mbps

O sistema FSO deve cumprir condições de Disponibilidade que permitam às operadoras de telecomunicações oferecer seus serviços para tornar-se uma tecnologia com uma ampla penetração nas redes metropolitanas. Na maior parte do ano, os sistemas de FSO podem operar com 99,9% de disponibilidade para uma distância média de alcance de 1 km, e em casos onde o alcance seja curto (menos de 300 m) a Disponibilidade atinge o valor de 99,99% de disponibilidade. A Tabela 3.1 mostra as diversas porcentagens de Disponibilidade para 4 cidades do mundo, e os seus respectivos comprimentos de enlace de acordo com o valor da Disponibilidade [37]:

| Disponibilidade | Cidade e Clima | Enlace (m) |
|------------------------|---|-------------------|
| 99,5% | Hong Kong – condições atmosféricas excelentes | 5.400 |
| | Denver – condições boas | 2.400 |
| | Seattle – condições razoáveis | 1.200 |
| | Londres – condições más | 630 |
| 99,9% | Hong Kong – condições atmosféricas excelentes | 2.500 |
| | Denver – condições boas | 850 |
| | Seattle – condições razoáveis | 420 |
| | Londres – condições más | 335 |
| 99,99% | Hong Kong – condições atmosféricas excelentes | 980 |
| | Denver – condições boas | 290 |
| | Seattle – condições razoáveis | 255 |
| | Londres – condições más | 185 |

Tabela 3.2 – Disponibilidade anual para sistemas FSO, climas e comprimentos de enlaces. Estes dados foram baseados em enlace de FSO de 500 m, 40 dB de margem e 125/155 Mbps

Para o caso do Rio de Janeiro os testes foram realizados no pior período anual, além de que o FSO se encontrou numa região que esteve submetida a situações que interferiram negativamente na Disponibilidade, como a freqüente passagem de pássaros e as continuas queimadas nas redondezas. Salvo melhor juízo, para um teste anual poderia aumentar a media da Disponibilidade.

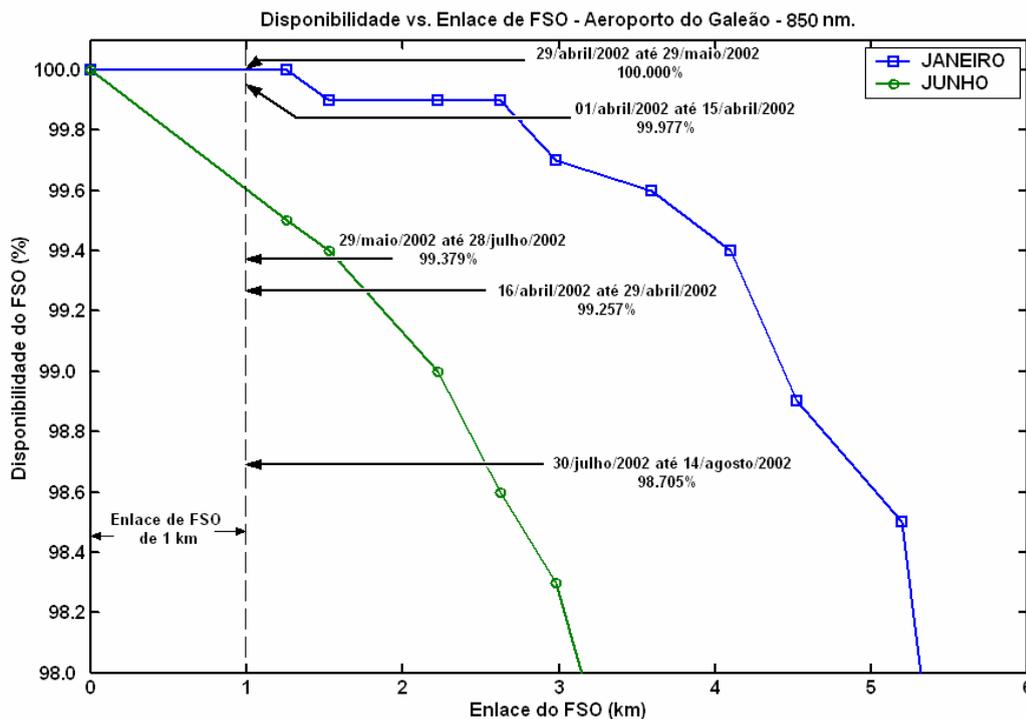


Figura 3.5 - Disponibilidade vs. Range. Além dos gráficos mostrando os índices de disponibilidade de um enlace de FSO desde 0 até 6 km, apresenta-se os valores de disponibilidade para o nosso enlace que foram medidos entre abril e agosto do 2002 perto do Aeroporto do Galeão.

A Figura 3.5 resulta da superposição dos dados analisados no período de abril até agosto do 2002 e de uma seção detalhada da Figura 3.4, que compreende a Disponibilidade desde 98.0% até 100.0%. Desta figura é possível deduzir que os dados da Disponibilidade para Janeiro e Junho foram obtidos através dos parâmetros da perda atmosférica, já que só foi necessária a utilização da visibilidade, do comprimento de onda e do alcance; enquanto que os dados medidos no enlace FSO foram submetidos a diversas perdas como a perda atmosférica, a perda geométrica, a perda por cintilação, por alinhamento do feixe e as perdas ópticas no receptor.

Uma observação que pode ser ressaltada na Figura 3.5 é a não correspondência dos índices de disponibilidade de um enlace de FSO (de 0 até 6 km - teórico) e os valores de disponibilidade do nosso enlace (experimental) medidos entre abril e agosto de 2002. Isto é devido a que os dados de visibilidade (que permitiram obter os índices de disponibilidade) foram coletados por lâmpadas de xenon, que operam no comprimento de onda de 300 até 1100nm, correspondente à faixa visível do olho humano. Os dados de disponibilidade

realizados pelo FSO experimental foram realizados no comprimento de onda de 850nm. As diferenças entre os valores teóricos e experimentais estão fortemente definidas na Figura 3.5.

O principal parâmetro a ser tomado em consideração no enlace do FSO é o Período de Indisponibilidade (UAS). Este parâmetro origina-se a partir de que acontecem 10 eventos de Segundo com 30% de bloco errado (SES) de forma consecutiva. A partir desse instante, estes 10 SES tornaram-se segundos indisponíveis e, conseqüentemente foi contabilizado o Período de Indisponibilidade. Este período termina após a ocorrência de 10 segundos sem eventos SES. A Figura 3.6 apresenta uma melhor visualização do Período de Disponibilidade e de Indisponibilidade [38]. É a partir desta metodologia de detecção que os valores apresentados na pagina 36 foram encontrados. Esses dados são valores reais do comportamento do FSO frente a eventos atmosféricos e por interferência externa (pássaros ou fumaça nas redondezas).

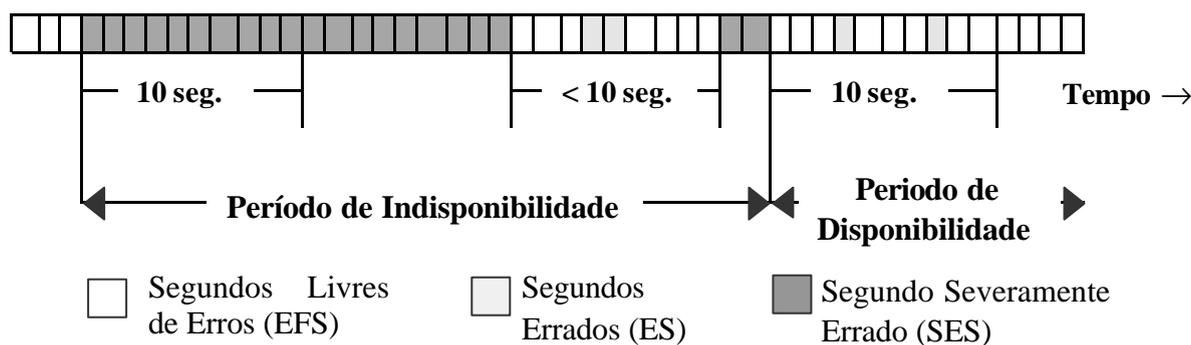


Figura 3.6 – Período de Disponibilidade e Indisponibilidade [38].

Atualmente, os sistemas de microondas ou de RF são os mais utilizados pela sua confiabilidade e pelos diversos aperfeiçoamentos feitos nos últimos anos. O uso maciço destes sistemas é devido às regulamentações feitas por parte da ITU-R. Além disso, diversos estudos permitiram classificar várias regiões geográficas que possuem taxas de Disponibilidade definidas principalmente pela chuva ou pela vegetação da região. Para que o FSO possa se tornar em uma alternativa de transmissão metropolitana, é necessário determinar as principais áreas críticas de instalação do FSO na cidade de Rio de Janeiro,

A carência de uma regulamentação padrão na implementação do sistema de FSO é devido à variedade de sistemas de desempenho utilizada pelos diversos fabricantes, criando em certos casos, metodologias de medidas inconsistentes ou

com especificações diferentes. Atualmente, estas especificações expostas pelos diversos fabricantes de FSO não fazem parte da Rec. ITU-T G.826 ou de qualquer outra Recomendação. Estas especificações estão indicados em [37]:

a) Potência transmitida - Neste caso a potência media ou a potência de pico pode ser tomada em consideração. Além disso, alguns fabricantes consideram outras duas características:

- a potência transmitida será aquela que sai do próprio feixe do laser ou;
- será considerada a potencia que sai da abertura do transmissor, tomando em conta as diversas perdas ópticas do transmissor.

b) Ângulo de divergência do feixe transmitido - Os feixes de laser propagam-se no espaço mediante pulsos gaussianos, deste modo a referência a ser tomada para calcular o ângulo de divergência, pelos diversos fabricantes, pode ser no ponto de intensidade $1/e$, ou pelo *Full Width at Half Maximum* (FWHM) do pulso gaussiano.

c) Sensibilidade do Receptor - A sensibilidade assumida pode ser a potência que chega na abertura do receptor ou a sensibilidade do próprio fotodetector.

d) Taxa de Erro - Sabe-se que a qualidade da informação é inversamente proporcional ao número de bits errados. Esta quantidade é denominada *Bit Error Ratio* (BER). Alguns fabricantes ainda consideram o BER de 1.0×10^{-6} , porém a maioria concorda com o valor de 1.0×10^{-9} . Em todo caso, o valor dependerá da aplicação.

A industria do FSO, sendo sensível a estas diferenças, está na procura de um padrão único e preciso, que permitirá oferecer a melhor performance aos seus consumidores. A comparação entre os diversos sistemas de FSO assim como a comunicação e o intercambio de informações entre os fabricantes será o primeiro passo para atingir este objetivo. Empresas como a AirFiber, LightPointe e Terabeam estão adotando esta postura.

3.1. Recomendação ITU-T G.826

Este item é focalizado à análise dos diversos parâmetros e eventos, em que a comunicação do FSO foi interrompida, por motivo das condições atmosféricas. A identificação destes parâmetros é realizado através de um BERT, aparelho que permite visualizar a lista dos erros, anomalias e defeitos que acontecem durante a transmissão de dados.

Usualmente, os critérios de desempenho utilizados estão condicionados a determinadas especificações que permitem o dimensionamento dos sistemas de comunicações e que indica se o enlace é nacional ou internacional. Nesta tarefa, há organismos como a ANSI, o IEEE, o ITU-T, etc, que elaboram as diversas Normas e Recomendações que definem os enlaces. No presente trabalho são consideradas as recomendações do ITU-T, por serem consagradas pelas operadoras de telecomunicações.

Estes enlaces, apesar de utilizarem a tecnologia óptica, encontram dificuldades na transmissão do sinal na atmosfera, da mesma forma que acontece com os enlaces nas frequências de microondas quando se propagam em um ambiente chuvoso. Desta forma, o principal objetivo é apresentar uma proposta de determinar e adaptar a Recomendação do ITU-T G.826 para testar a Disponibilidade de enlaces ópticos no espaço livre. Por outro lado, os enlaces no espaço livre que utilizam o espectro óptico em comprimentos de onda que podem variar entre 785nm até 1550nm, poderiam ser consideradas como enlaces de acesso dentro de um enlace nacional, já que o alcance do FSO é curto, comparado com os enlaces de microondas. A Figura 3.7 mostra como o sistema FSO pode ser alocado em um caminho hipotético de referência de 27,000 km (HRP – *Hypothetical Reference Path*) utilizado pela G.826 [38].



Figura 3.7 – Alocação do FSO em um Hypothetical Reference Path [38].

No caso de sistemas de comunicações, disponibilidade significa a capacidade para recomeçar com novas ligações e elas são corretamente roteadas para o seu respectivo destino. A disponibilidade de um enlace é usualmente expresso em 9's. Por exemplo, um enlace com disponibilidade de 5-9's fica indisponível durante 0,001%, ou seja, apenas 25,92s indisponível durante um mês. Na prática 4-9's é próximo ao ideal, com 4,5min indisponíveis durante um mês.

A disponibilidade dos enlaces FSO está muito relacionada às condições climáticas que diferem de um local para outro. Além disso, deve ser notado que a disponibilidade do enlace também depende da estação do ano. Por exemplo, uma medida anual da disponibilidade de um enlace de 99,95% pode ser o resultado de uma medida de 100% de disponibilidade durante 6 meses, e 99,9% para os outros 6 meses restantes do ano. Deve-se notar também que eventos extremos de longa duração podem ter um impacto severo na disponibilidade anual do sistema. Assim, um enlace com disponibilidade de 99,98% por 11 meses e de 99% durante 1 mês, possuirá numa disponibilidade anual de 99,9%. Por estas razões a Disponibilidade é geralmente mensal. Quando se projetam enlaces ópticos no espaço livre, em diferentes climas, o comprimento do enlace será função do clima do local e da disponibilidade requerida pelo usuário. Para superar as adversidades das condições climáticas, deve-se projetar o sistema de modo que em condições de clima ideal a potência óptica recebida esteja em excesso. Deste modo, para que um link de 2 km possa suportar uma neblina fraca (atenuação de 10 dB/km), é recomendável ter uma diferença de 20 dB em todo o enlace [13]. É recomendado, também, mais 2 dB de MARGEM para os enlaces de FSO, o que permite oferecer uma folga para uma atenuação que possa superar os 20 dB [31].

A Recomendação G.826 surge como uma alternativa para solucionar na elaboração e implementação de enlaces. Esta recomendação oferece os seguintes requerimentos:

- Adequado para altas taxas de bits, maior que 2 Mbits/s.
- Parâmetros de performance de erro nas medidas *in-service*.
- Independente do meio de transmissão.
- Independente do sistema de transmissão (esta Recomendação pode ser aplicada em sistemas PDH, SDH/SONET e baseada em células)

A Recomendação G.826 oferece uma maior quantidade de objetivos do que a Recomendação ITU-T G.821, conseguindo acoplar-se aos avanços dos novos sistemas de transmissão.

O parâmetro mais adequado para avaliação de desempenho de um enlace físico digital é a taxa de bits errados (BER). Dois tipos de medidas de BER podem ser feitos:

- a) Testes *out-of-service*: Ele implica em inserir um conhecido padrão de testes dentro de uma linha serial. O sistema não pode carregar tráfego

vivo durante o teste, daí que este tipo de teste é o mais adequado para pesquisa e desenvolvimento ou fabricação de ambiente de testes. O equipamento utilizado para os teste *out-of-service* é o BERT – *Bit-Error-Ratio Tester* – apresentado na Figura 3.8. [39, 40]

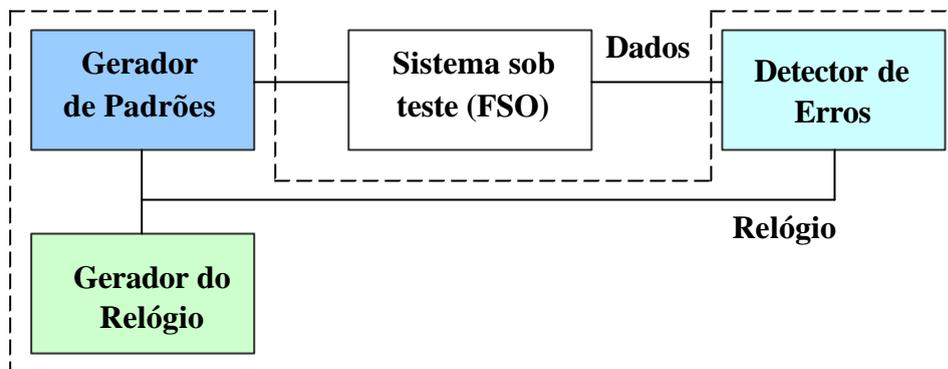


Figura 3.8 – Bit-Error-Ratio Tester

- b) Testes *in-service* é feito num sistema que se encontra em operação; o que nos oferecerá indicações de problemas.

No caso do enlace FSO, o teste realizado em status *out-of-service*.

A própria Recomendação G.826 informa sobre os métodos utilizados para medir a Taxa de Erros de Bits (BER), no modo *out-of-service* e *in-service*. Ele só pode ser medido se a seqüência e a estrutura dos bits for conhecida. Por este motivo, durante o calculo da medida do BER foi utilizado a seqüência pseudo-randomica de bits (*Pseudo-Random Bit Sequence - PRBS*). Na prática, o PRBS substitui a informação que é utilizada nos testes *in-service*, já que uma mensagem transmitida é normalmente desconhecida.

3.2. Resumo do Capítulo 3

A Figura 3.1. indica a relação existente entre a Visibilidade e o Range nos três comprimentos de onda (780, 850 e 1550 nm). É verificado que existe uma descontinuidade na visibilidade no valor de 6 km. Por outro lado, confirma-se, de forma teórica, que o comprimento de 1550 nm oferece um melhor desempenho na elaboração de um enlace FSO.

A partir dai, as figuras 3.2 e 3.3 são elaboradas (Disponibilidade vs. Visibilidade) tomando-se dados dos aeroportos Santos Dumont e Galeão, no Rio de Janeiro. O enlace prático do FSO esteve próximo do aeroporto do Galeão.

Assim, foi construído, a partir dos valores da Figuras 3.1 e 3.3, a figura 3.4 (Disponibilidade vs. Enlace de FSO).

Durante o período de abril a agosto do 2002, foram obtidos valores de Disponibilidade do FSO, através de um BERT, tendo uma taxa de transmissão de 155 Mbps, SDH, em um enlace de 1 km. O enlace esteve parametrizado de acordo com as anomalias, defeitos e erros da Recomendação G.826 da ITU-T. A figura 3.5 faz uma comparação entre os valores da disponibilidade teórica e os valores do enlace real.

É importante ressaltar que, no enlace real de FSO, as informações transmitidas e recebidas não foram dados que transitavam ou passavam por uma rede ativa. Os testes estiveram em situação *out-of-service*, cumprindo com as normas estabelecidas pela G.826, no apêndice II.