

4. Resultados

4.1. Resultados Experimentais

Durante quatro meses e meio de 2002 diversos dados foram obtidos de um enlace de 1000 m Os resultados obtidos estão mostrados na Figura 3.5. Observa-se, então, que os valores práticos de disponibilidade variaram desde 100,00% até 98,705%, obtendo uma media de 99,395% para todo o período.

O enlace de FSO apresentou vários erros no período de abril a agosto. Um período de Indisponibilidade é mostrado na Figura 4.1, onde também são colocados dados sobre a Temperatura, Pressão e Velocidade do Vento, de um dia domingo 16 de junho do 2002, no Rio de Janeiro. As linhas vermelhas representam os erros que aconteceram, e que foram emitidos pelo BERT. Nesse dia foi detectado um longo período de Indisponibilidade, sendo possível dividi-lo em três etapas:

- a) A primeira etapa começou às 06:15:16.0 e a duração foi de 50 segundos.
- b) Seguiu-se um alarme denominado LOS (*Loss of Signal*).
- c) A última etapa aconteceu às 06:54:59.9 e a duração dela foi de 51 segundos.

O enlace de FSO transmitia e recebia dados por SDH, numa taxa de 155 Mbps. Os eventos que se apresentaram foram:

- TSE – Test Sequence Error.
- B1 – Section bit-interleaved parity code (BIP-8) byte.
- B3 – STS path bit-interleaved parity code (path BIT-8) byte.
- B2SUM - Conjunto de bytes que oferecem uma linha de monitoração de erros
- OOF – Out of Frame.
- LSS – Loss of sequence synchronization.
- LOF-STM – Loss of Frame STM.
- LOS – Loss of Signal.

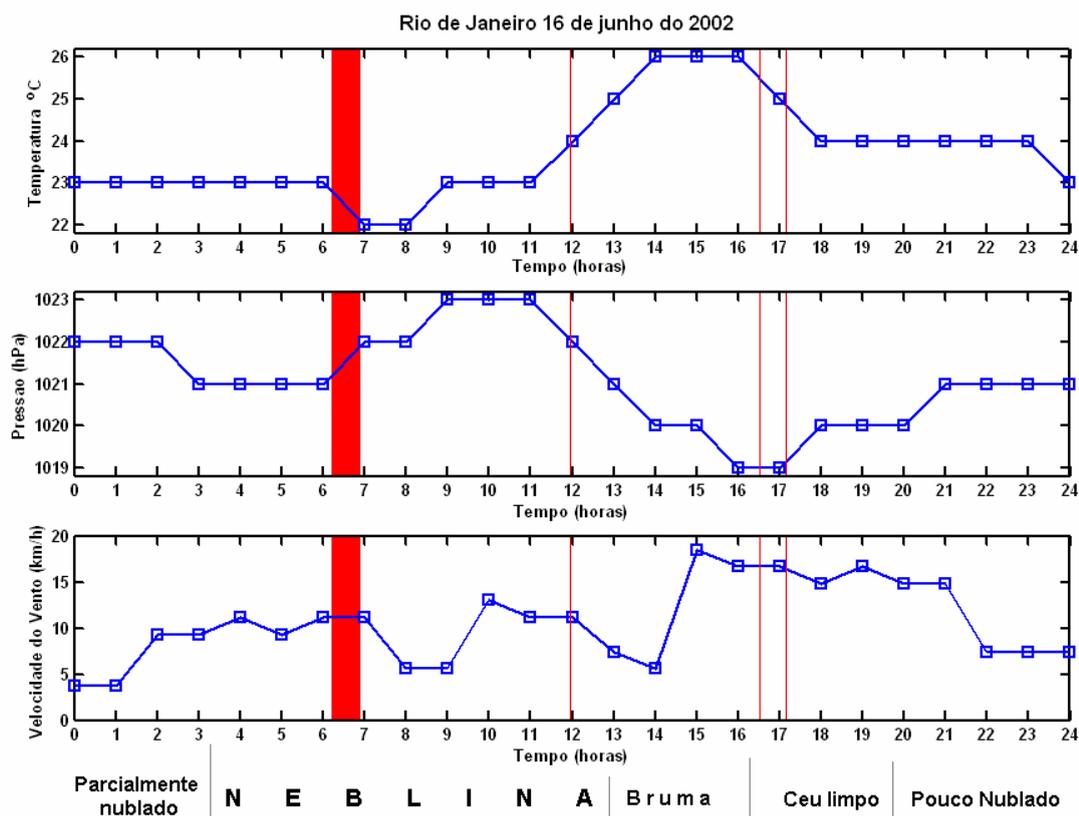


Figura 4.1 -- Eventos de Erros no enlace FSO de 155 Mbps no dia 16 de junho do 2002.

A Tabela 4.1 mostra a quantidade de erros, defeitos, anomalias e alarmes nesse período.

	06:15:16.0 até 06:16:06.8	06:16:06.8 até 06:54:59.9	06:54:59.9 até 06:55:51
TSE	13	-	7
B1	18	-	9
B3	18	-	9
B2SUM	18	-	9
OOF	44	-	19
LSS	42	-	19
LOF-STM	2	-	1
LOS	-	1	-

Tabela 4.1 – Eventos de Erros no enlace FSO de 155 Mbps no dia 16 de junho do 2002.

A partir destes resultados, definem-se que as condições atmosféricas provocaram diversos efeitos negativos na transmissão de dados no enlace. O erro TSE indica que o sistema de proteção automática de chaveamento do cabeçote receptor de FSO não foi capaz de suportar as variações que o sinal sofria por causa do ambiente, gerando em um primeiro instante 13 eventos de erro TSE,

além de outros eventos de erros durante um período de 50 segundos (Tabela 4.1). Conseqüentemente, se passa a uma segunda etapa de apresentação de erros. Neste caso o erro será o evento LOS que possui um período de Indisponibilidade de 38'53" minutos (Tabela 4.1, coluna central). Finalmente, o BERT entra em uma terceira etapa de erros, mostrando durante um tempo de 52 segundos a quantidade de 7 vezes o erro TSE.

A Figura 4.2 indica a plataforma de trabalho do Analisador de Anomalias e Defeitos do BERT. Observe o evento LOS (No. 2382) do dia 16 de junho do 2002. A duração deste evento indica que o sinal de FSO foi atenuado pelo nevoeiro e outros fatores ambientais.

No.	Event	Date	Start time	Stop time	Dur. / Count
2376	OOF	06/16/02	06:15:59.5	06:16:00.1	0:00:00.6
2377	LSS	06/16/02	06:16:00.1	06:16:00.2	0:00:00.1
2378	OOF	06/16/02	06:16:00.2	06:16:02.2	0:00:02.0
2379	LOF-STM	06/16/02	06:16:02.2	06:16:02.4	0:00:00.2
2380	OOF	06/16/02	06:16:02.4	06:16:06.1	0:00:03.7
2381	LOF-STM	06/16/02	06:16:06.1	06:16:06.8	0:00:00.7
2382	LOS	06/16/02	06:16:06.8	06:54:59.9	0:38:53.1
2383	LOF-STM	06/16/02	06:54:59.9	06:55:01.0	0:00:01.1
2384	OOF	06/16/02	06:55:01.0	06:55:03.0	0:00:02.0
2385	LSS	06/16/02	06:55:03.0	06:55:03.1	0:00:00.1
2386	OOF	06/16/02	06:55:03.1	06:55:15.0	0:00:11.9
2387	LSS	06/16/02	06:55:15.0	06:55:15.1	0:00:00.1
2388	B1	06/16/02	06:55:15.0	06:55:16.0	3
2389	B3	06/16/02	06:55:15.0	06:55:16.0	3

Figura 4.2 – Plataforma do Analisador de Anomalias/Defeitos do BERT. O evento No. 2382 (evento LOS) tem uma duração de 38:53.1 minutos.

O evento de OOF acontece quando quatro ou cinco quadros SDH são recebidos consecutivamente com os bytes A1 e A2 errados ou inválidos. O máximo de tempo para que o BERT possa detectar o OOF é de 625 *ms*. OOF fica zerado quando recebe dois quadros SDH de forma consecutiva, com os bytes A1 e A2 válidos.

O evento de LSS indica se a sincronização que recebe o lado da instalação de teste é sincronizada corretamente à seqüência que vem do objeto sob o teste.

Os LOF-STMs foram indicados pelo BERT um pouco antes de acontecer a Indisponibilidade de 38 minutos provocado pelo LOS. A perda de sinal – *Loss of Signal* (LOS) – aconteceu pela excessiva atenuação do sinal [41].

Estes erros são determinados quando o sistema é testado em *out-of-service*. As anomalias ou defeitos apresentados na Figura 4.2 foram provocadas pelas características atmosféricas e ambientais que envolviam todo o enlace FSO. Uma possível causa da geração destes erros é ter ocorrido alguns problemas de sincronismo (*jitter* e *wander*), criado pela fase de onda irregular que atingia o receptor FSO devido ao nevoeiro ou à fumaça; ou pelas características elétricas do próprio equipamento em realizar a leitura precisa das informações recebidas.

O *jitter* é a variação rápida do sinal com relação à sua posição ideal no tempo. As principais causas do *jitter* estão associadas ao ruído provocado pelos circuitos elétricos do FSO, que serão transferidos para a parte óptica. A cintilação provoca um ligeiro atraso de fase do sinal, criando uma frente de onda do feixe do laser não uniforme. O receptor deverá selecionar o sinal do feixe no tempo exato e discriminando os erros criados pelo transmissor e atmosfera. Os erros devidos ao *jitter* resultam da impossibilidade dos subsistemas de recuperação de relógio acompanharem as dramáticas variações de fase dos sinais digitais recebidos. Estes erros alteram o instante de amostragem e induzem a erros na leitura dos bits.

O *wander* é decorrente principalmente dos eventos de ajuste de ponteiro no quadro SDH, da característica dos filtros passa baixa (principalmente no PLL – *Phase Loop Lopp*) e das variações de temperatura, que influenciam os geradores de relógio e a propagação do sinal ao longo do meio de transmissão

No caso específico de *wander*, os sinais que atingem um determinado nó podem apresentar diferenças de fase entre si. Como o nó deverá possuir um relógio comum para processar todos estes sinais, utiliza-se o armazenamento de pacotes como alternativa para compensar os retardos. Quando as unidades de armazenamento encontram-se ocupadas (*buffer overflow*), partes do sinal recebido são perdidos, isto é, ocorrem *slips*, associados em geral ao número de blocos perdidos.[42]

Deste conjunto de eventos e situações pode-se estabelecer três principais classificações de recepção de dados em função dos resultados obtidos pelo BERT:

- a) Recepção de potência dentro das especificações (dados sem erros). Esta é a condição normal de operação do FSO, onde a perda geométrica reduziu a

potência óptica a níveis acima do limiar aceitado, a perda atmosférica não tem afetado a comunicação entre ambos os cabeçotes e a cintilação não desviou o feixe de laser de forma drástica.

b) Recepção de potência óptica próxima à MARGEM do enlace. Consiste na condição em que a comunicação entre ambos os cabeçotes existe, porém são detectados erros que podem ser medidos. Esta região torna-se interessante já que é observado como os efeitos atmosféricos influenciam o enlace FSO.

c) Atenuação excessiva e perda da comunicação. Neste caso, o sinal não pode ser mais detectado e os bits não são mais recebidos. Os dados obtidos não são validos. Nesta situação acontecem os eventos de Indisponibilidade.

Uma característica comum em todos os equipamentos FSO disponíveis comercialmente é o fato de possuírem um sistema de conversão O-E-O (*optical-to-electronic-to-optical*). Esta conversão facilita a mudança dos comprimentos de onda de 1310 e 1550 nm para 785 e 850 nm, podendo provocar um pequeno atraso na transferência de dados. Isto cria uma limitação na capacidade de realizar o escalonamento entre o FSO e um anel óptico de que transmita dados em alta velocidade ou que possua uma implementação em WDM. Deste modo, as exigências solicitadas pelo usuário obrigam a que o FSO passa-se por melhorias tecnológicas, afim de permitir o acompanhamento da sincronização do relógio do anel. A configuração utilizada no sistema FSO é apresentada na Figura 4.3, em que os dados foram gerados por um PRBS23, sendo passados para um VC4, e transmitidos em um bloco SDH STM1 no comprimento de onda de 1310 nm. O BERT é o dispositivo que realiza a troca do comprimento de onda, além de realizar a análise e emitir os defeitos, as anomalias e os erros. Feita a transmissão no DUT (FSO), o BERT recupera os sinais, e o transmite para o STM1, VC4 e PRBS23.

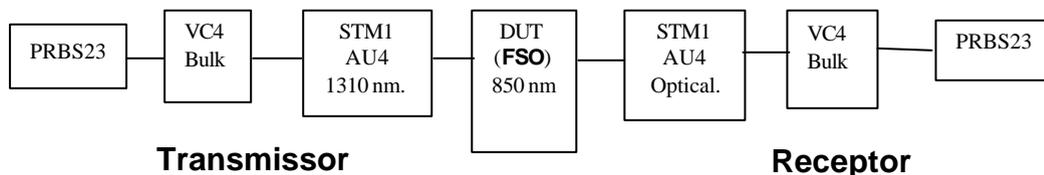


Figura 4.3 – Configuração utilizada na transmissão de dados do FSO.

O sistema FSO foi elaborado para transmitir dados como videoconferência. Na Figura 4.4 é apresentado o esquema de aplicação do FSO feito com dois cabeçotes

da LigthPoint, realizado no site do Rio de Janeiro. A topologia que complementa o enlace de FSO consiste de dois monitores de TV, conectados via ETHERNET a dois roteadores CISCO®, para logo serem ligados a uma serie de equipamentos Newbridge® insertados em um bastidor através de portas V.35. A seguir, os equipamentos Newbridge® se conecta ao BERT mediante fibras ópticas de 1310 nm, para depois ser conectado aos cabeçotes FSO.

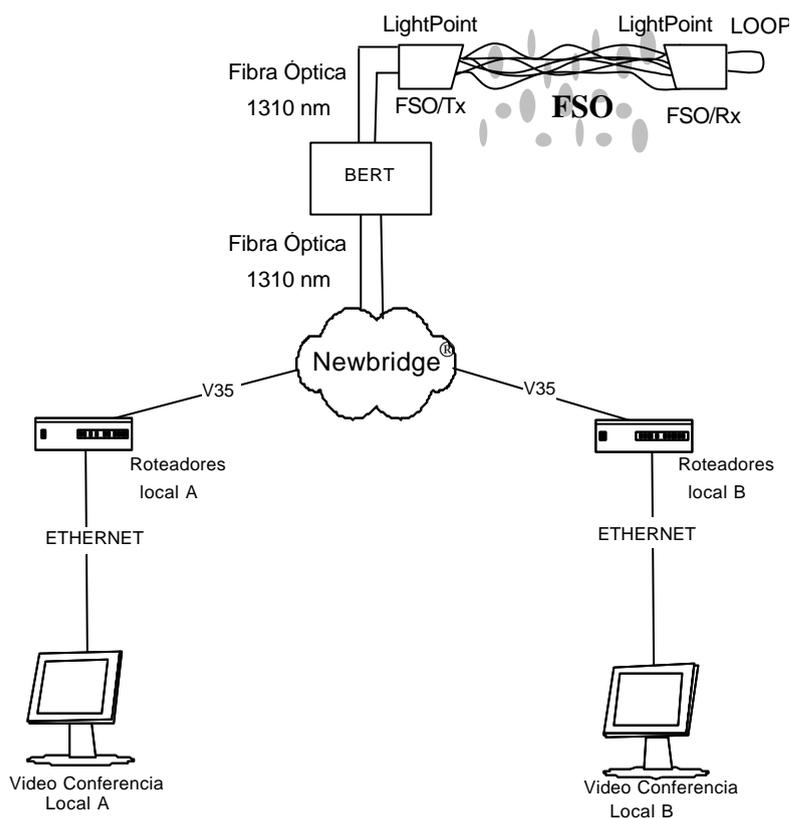


Figura 4.4 – Topologia do enlace FSO

Cabe destacar que o enlace de 1000m foi obtido por dois cabeçotes de FSO, separados 500m um do outro. O FSO/Tx encontrava-se no alto de uma edificação do site e o FSO/Rx estava 500m afastado com uma malha (*loop*) que fazia com que os dados que deveriam sair do FSO/Rx fossem recolocados no cabeçote e então era feita a transmissão de volta para o FSO/Tx. Além do FSO/Rx possuía uma tendência a produzir *slips* em condições atmosféricas muito adversas (com muita névoa seca ou neblina), o recuperador de relógio do cabeçote receptor não consegue manter o sincronismo do sistema, devido ao *loop* inserido, acusando erros por *jitter*. Mosso [43] menciona sobre a configuração realizada no FSO, além de mencionar alguns detalhes e fenômenos que são provocados pela

cintilação e pelo loop inserido no FSO/Rx (erros por *jitter* e por *wander*), assim como algumas observações relacionadas à transmissão de vídeo. Para o caso da transmissão de vídeo a ocorrência de erros é penalizada mais severa do que os serviços de dados, já que deve se manter um sincronismo tanto da imagem como do áudio, e deste modo evitar as latências. A implementação de novos sistemas de sincronismo de relógio, assim como os conhecimentos do protocolo DVB, e os sistemas de compressão de vídeo permitirão oferecer mais serviços para uma grande quantidade de usuários que desejam usufruir uma TV Digital mais interativa, uma Internet mais rápida ou um sistema de videoconferência mais seguro.

4.2. Resumo do Capítulo 4

O capítulo explica um período de indisponibilidade, onde foi detectado a perda de sinal devido a fenômenos atmosféricos no dia 16 de junho de 2002, devido a uma neblina que provocou uma série de anomalias, erros e defeitos no enlace, sendo registrado no BERT. As possíveis causas foram estudadas, além de diversos problemas que originaram a perda do sinal.

A configuração da transmissão dos dados e o esquemático de uma conexão aplicada para uma videoconferência são mostrados.