

CAD para Análise de Sistemas de Comunicações Ópticas Ponto-a-ponto

1. Resumo

Este trabalho apresenta os pontos relevantes para a caracterização completa de um enlace óptico, sendo esta, a base para o desenvolvimento do CAD de análise de enlaces ópticos ponto-a-ponto AEO.

2. Introdução

O objetivo deste trabalho, visa o estudo da degradação de potência luminosa ao longo de um enlace óptico, constituído basicamente de: fotoemissor (diodo laser ou LED), fibra óptica (multimodo ou monomodo), emendas, conectores, amplificador óptico à fibra dopada a Érbio e receptor óptico composto por fotodetector (PIN ou APD) e um estágio eletrônico de amplificação. O estudo das características de cada um destes componentes, foi traduzido em um programa computacional, em linguagem C++, realizando a análise da viabilidade do enlace em termos de perdas de potência (balanço de potência), e em termos da banda passante do sistema (balanço de dispersão ou tempo-de-subida), que é uma consequência das dispersões presentes no enlace.

O usuário do *software* AEO, terá a sua disposição arquivos referentes a diferentes

dispositivos ópticos, com suas principais características, possibilitando a simulação e comparação entre enlaces com componentes realmente disponíveis comercialmente.

3. O programa AEO

A linha básica seguida, quando da elaboração do *software* AEO, foi uma interface amigável ao usuário. Para tanto, foi estudada uma simplificação, em relação aos dados de entrada, sem comprometer significativamente os resultados obtidos.

A tela inicial do programa é mostrada, em anexo, na figura 1.

Como pode ser visto, a configuração de cada componente do sistema é feita separadamente, e de fácil acesso ao usuário.

O enlace óptico (digital) ponto-a-ponto pode ser configurado com os seguintes elementos:

Fotoemissores: diodo emissor de luz LED, laser Fabry-Perot e laser de realimentação distribuída;

Fibras Ópticas: fibras multimodo índice degrau ou gradual, fibras monomodo;

Receptores: fotodiodo PIN, fotodiodo avalanche APD, estágio frontal FET ou BJT, e pré-amplificador de alta impedância HZ ou transimpedância TZ;

Emendas;

Conectores;

Amplificador Óptico a fibra Dopada a Érbio;

Seja na figura 2, a estrutura de um enlace óptico analisado pelo programa AEO.

Marcelo M. M. da Rocha, Humaberto Abdalla Jr.
Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica
Caixa Postal 04591 - CEP 70910-900
Brasília - DF - Brasil
Tel.: 55-61-273 5977
Fax: 55-61-274 6651



Figura 2. Enlace óptico

A seguir, são descritos os parâmetros necessários, a fim de realizar-se a avaliação do enlace.

2.1. balanço de potência

1º passo: acoplamento emissor-fibra óptica. Características relevantes:

potência emitida pelo emissor P_e , podendo esta ser expressa em termos da radiância N ; comprimento de onda de operação do emissor; dimensões da superfície emissora e do núcleo da fibra; abertura numérica AN da fibra óptica.

Sendo então utilizadas as relações:

LED-fibra SM [5]

$$Pa = N \left(\frac{\lambda}{4} \right)^2 \quad (1)$$

N _radiância [W/cm^2]

λ _comprimento de onda [nm]

LED-fibra MMD [2]

$$Pa = \pi^2 r_s^2 N(AN)^2_{rs \leq a} \quad (2)$$

$$Pa = a^2 \pi^2 N(AN)^2_{rs > a}$$

AN _abertura numérica

a _raio do núcleo da fibra

rs _raio da superfície de emissão da fonte

LED-fibra MMG [2]

$$Pa = 0.5 \left[\pi^2 a^2 N(AN)^2 \right] \quad (3)$$

Diodo laser-fibra multimodo [6]

$$Pa = \left(\frac{Pe}{2} \right) (n+1) \left(\frac{a}{rs} \right) (AN)^2 \quad (4)$$

Pe _potência emitida pela fonte [mW],

$$Pe = \pi^2 r_s^2 N$$

n _coeficiente de distribuição angular de potência da fonte (2 a 4 para DL)

. Diodo laser-fibra SM [7]

Teoricamente podem-se obter acoplamentos de 100%, com um sistema otimizado com lentes. Na realidade estes valores variam entre 50-80%, devido à dificuldade de alinhamento entre o eixo da fibra e o eixo de emissão da fonte.

Para efeitos do software AEO, o acoplamento foi considerado de 100%, devido à dificuldade de se precisar um valor entre 50 e 80%.

2º passo: atenuação na fibra óptica. Realiza-se apenas o produto da atenuação em dB/km, pelo comprimento total dos segmentos de fibra presentes no enlace.

3º passo: perda em conectores e emendas. Obtida pelo número de conectores e/ou emendas, multiplicado pela perda em dB, de cada elemento.

4º passo: ganho no AFDE, sendo este fornecido como dado de entrada no programa AEO. Existe porém uma penalidade devido a amplificação de comprimentos de onda indesejados de potência P_{ase} . A penalidade obtida será dada em dB por:

$$Pen = 10 \log \sqrt{1 + \left[\frac{(80 \cdot Be \cdot P_{ase})^2}{(Bo \cdot So)^2} \right]} \quad (5)$$

Be _banda elétrica do receptor [Mhz]

P_{ase} _Potência de ASE (dado de fabricante)[W]

Bo _Banda óptica efetiva do AFDE [Hz]

So _sensitividade do receptor [W]

5º passo: sensibilidade do fotodetector, fornecida como valor de entrada em dBm, ou

ainda, o programa AEO, permite o projeto da sensibilidade para diferentes configurações de fotodiodo, estágio frontal e pré-amplificador.

6º passo: o balanço de potência do enlace, se realiza pela relação: [1]

$$MS = Pa - So - Perdas + Ga - Pen \quad (6)$$

MS_margem de segurança [dB];
Pa_potência acoplada na fibra [dBm];
So_sensibilidade [dBm];
Ga_ganho AFDE [dB];

Pen_penalidade na recepção devido à presença de potência ASE [dB];

$$\text{Perdas} = nc \cdot Pc + ne \cdot Pe + At \cdot L$$

nc_número de conectores;
Pc_perda por conector [dB];
ne_número de conectores;
Pe_perda por emenda [dB];
At_atenuação da fibra [dB/km];
L_comprimento do enlace [km];

2.2. balanço de dispersão

No balanço de potência assumiu-se implicitamente, que a banda passante do sistema era suficientemente grande para suportar a taxa de transmissão requerida. Porém com a presença de dispersões introduzidas pelas fibras e pelos transceptores ópticos, ocorre uma limitação de banda passante do sistema, afetando a taxa de transmissão do enlace. Para assegurar o desempenho global requerido para o sistema, é necessário que se analise a dispersão (banda passante) total do sistema, que no caso de sistemas digitais, equivale a uma análise do tempo-de-subida do sinal ao longo do enlace

O tempo de subida total do sistema é dado por [1]:

$$t_{sist} = \sqrt{\sum_i t_i^2} \quad (7)$$

t_i _tempo de subida de cada componente ao longo do enlace.

1º passo: tempo de subida do emissor [1]

$$t = \frac{350}{B_{elétrica}} \quad (8)$$

onde t é expresso em nano segundos e $B_{elétrica}$ banda passante do emissor, em megahertz.

2º passo: dispersão na fibra. Os alargamentos de espectro provocados pelas dispersões na fibra, de comprimento L em km, são dados por:

dispersão cromática [1]

$$t_{crom} = \sigma_\lambda(C)L \quad (9)$$

C_dispersão cromática [ns/nm.km]
 t_{crom} _em [ns]

dispersão modal [1]

$$t_{modal} = \frac{442L^q}{B_o} \quad (10)$$

q_tipicamente igual a 0.7

Bo_Banda passante [Mhz.km]

t_{modal} _em [ns]

3º passo: tempo de subida receptor [1]

$$t = \frac{350}{B_{elétrica}} \quad (11)$$

onde t é expresso em nano segundos e $B_{elétrica}$ banda passante do emissor, em megahertz.

O programa AEO, tem como dado de entrada o valor da banda passante do receptor desejado, porém, existe ainda a possibilidade, de se proceder ao projeto de banda passante para o receptor.

4º passo: relacionar tempo-de-subida do sistema com a taxa de transmissão do sistema.

A relação da taxa de transmissão (1/T), com o tempo de subida total e a banda passante óptica do sistema, pode ser estabelecida através

das relações abaixo [1], para sinais NRZ. Este critério garante penalidades inferiores a 1dB.

$$t_{sist} \leq 0.47T \quad (12)$$

$$B_{optica} \geq \frac{1}{T} \quad (13)$$

Para a viabilidade do sistema devemos manter a relação (12), sendo que $1/T$ será dado pela (12), onde 1 bit/s = 1Hz , com penalidades inferiores a 1 dB.

Sinais RZ, ocupam o dobro da banda dos sinais NRZ, sendo então a (13), substituída por:

$$B_{optico} \geq \frac{2}{T} \quad (14)$$

3. Resultados de projeto

A metodologia de projeto de enlace digital óptico ponto-a-ponto inclui dois tipos de análises complementares: balanço de potência e balanço de dispersão ou de tempo de subida.

As respostas fornecidas pelo programa AEO, são baseadas nestas duas metodologias de análise. Sendo então obtido, para um enlace viável:

comprimento máximo do enlace para a taxa de transmissão dada,
taxa máxima de transmissão para o comprimento inicial dado,
indicação se o comprimento máximo é limitado por atenuação ou dispersão,
margem de segurança para o comprimento dado,
perdas ao longo do enlace,
potência acoplada na fibra pelo fotoemissor,
largura de banda do fotoreceptor,
gráfico do balanço de potência do enlace proposto.

Foi configurado um enlace com os dados da tabela 1, obtidos de componentes disponíveis comercialmente.

Tabela 1. Dados de entrada

Enlace: emissor-fibra-receptor,

Codificação NRZ,

Taxa de transmissão 800 Mb/s,

Fibra monomodo (dispersão deslocada):

atenuação [dB/km]	0.25
dispersão cromática [ps/nm km]	3.5

Diodo laser DFB:

largura espectral λ [nm]	0.2
tempo de subida [ns]	0.35
potência emitida [mW]	1

Fotodiodo APD $S_o = -38 \text{ dBm}$,
Receptor $B_{eletr} = 1000 \text{ Mhz}$.

Foram obtidos os resultados nas figuras 3 e 4, colocadas em anexo.

A limitação do sistema por dispersão, impõe que o balanço de tempo-de-subida do enlace define o máximo comprimento de enlace possível, de forma que o sinal seja detectado corretamente pelo receptor. Este resultado vem de encontro ao esperado, uma vez que a limitação por atenuação é praticamente eliminada devido ao uso de um ADFE, não tendo o amplificador óptico, nenhuma influência sobre a dispersão no sistema.

4. Conclusão

Após terminado o projeto, ficaram caracterizadas diversas possibilidades de enlaces, tendo cada uma destas configurações aplicações diferentes, para necessidades de projeto diferentes, havendo para cada caso, uma gama grande de possibilidades de realização do projeto, seja em termo de custo, ou em termo de um rendimento ótimo da configuração escolhida.

Em relação ao programa AEO, futuros melhoramentos poderão ser implementados com facilidade, devido à estrutura de

programação orientada a objeto, que permitirá que qualquer rotina de cálculo seja adequada facilmente aos moldes já utilizados pelo programa AEO.

Podem ainda ser desenvolvidos no programa AEO, vários aspectos do enlace óptico, por exemplo, cálculo de enlaces ponto-multiponto, que é o caso de TV a cabo, ou ainda, amplificadores dopados à fibra para comprimentos de onda diferentes de 1550 nm, para os quais desenvolvem-se estudos, a fim de implementá-los em sistemas ópticos.

Estes são apenas alguns exemplos, sendo a gama de possibilidades muito grande, para um desenvolvimento mais amplo do programa AEO apresentado.

5. Bibliografia

[1] William F. Giozza, Evandro Conforti, Hélio Waldman: "Fibras Ópticas, tecnologia e projeto de sistemas", McGraw-Hill, EMBRATEL (1991)

[2] Gerd Keiser: "Optical Fiber Communications", McGraw-Hill (1993)

[3] M. Maignan, P. Brindel, A. Karas: "Liaison point à point en hyperfréquences pas voies optiques", Alcatel Alsthom Recherche, Alcatel Telspace.

[4] Lin, Chinlon: "Optoelectronic Technology and Lightwave Communications Systems", Van Nostrand Reinhold (1989)

[5] Geckeler, Siegfield: "Optical Fiber Transmission Systems", ArtechHouse (1987)

[6] seminário de rede externa do sistema Telebrás, PIRELLI cabos S.A. divisão de telecomunicações (agosto 1993)

[7] Dakin, John: "Optical Fiber Sensors: principles and components", Artech House (1988)

[8] Bjarklev, Anders: "Optical Fiber Amplifiers, design and system applications", Artech House (1993)

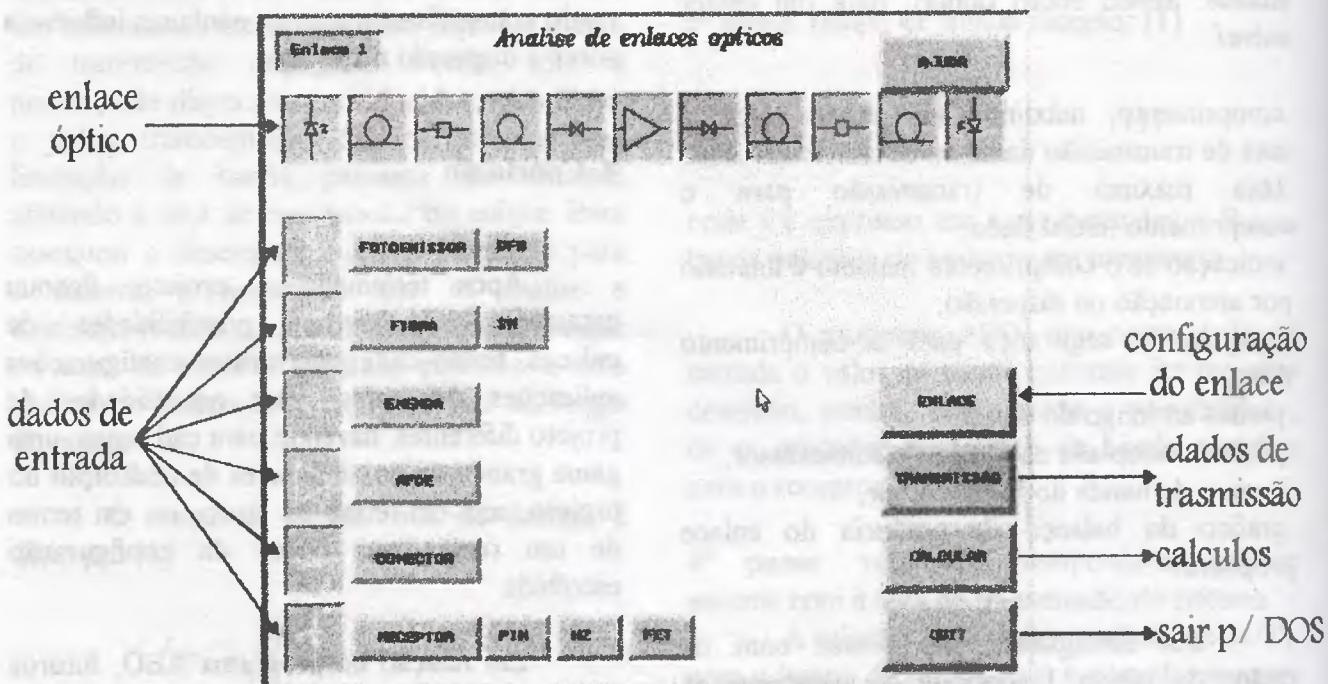


figura 1. Menu principal do programa AEO

Resultados

Sistema limitado pela dispersao
 Margem de segurança para enlace de 80.00 km: 42.83 dB
 Maxima taxa de transmissão para 80.00 km de enlace: 936.16 Mbit/s
 Comprimento maximo de enlace em 900.00 Mbit/s: 158.55 Km
 Margem de segurança para enlace de 158.55 km: 24.19 dB
 Potencia escoienda pelo Fotovarissor na fibra: 0.00 dBm
 Perdas ao longo do enlace: 21.00 dB
 Sensitividade do Fotoreceptor: -25.06 dBm
 Largura de Banda do preamp: 1000.00 MHz

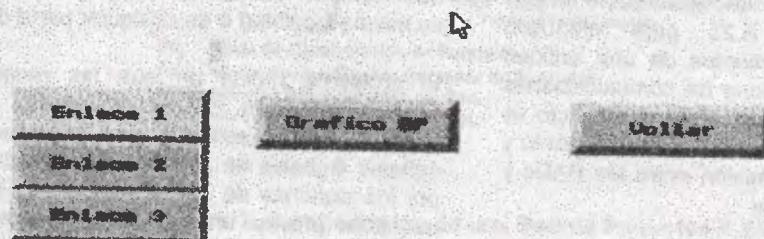


figura 3. Resultados do programa AEO

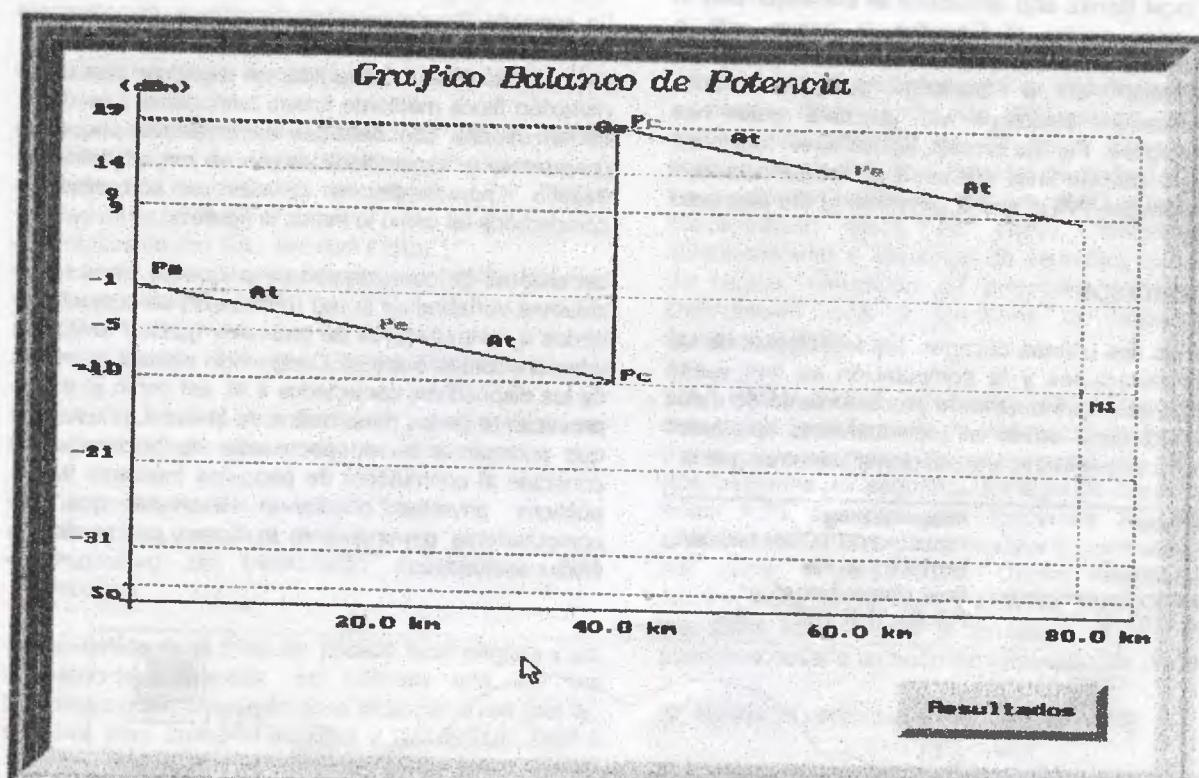


figura 4. Balanço de potência do programa AEO