

Avaliação de Ruído Crosstalk em uma Stripline e uma Microstrip

Elaine Santos, Ailton Akira Shinoda

UNESP - Avenida Brasil, 56 - Centro 15385-000 Ilha Solteira - SP

Resumo — O objetivo desse trabalho é mostrar como o ruído *crosstalk* pode afetar a integridade de sinal, influenciando o projeto de trilhas em uma placa de circuito impresso em *microstrip* e *stripline*. O efeito do ruído *crosstalk* é avaliado baseado nos parâmetros de capacitâncias e indutâncias (auto e mútua) com o auxílio de uma ferramenta computacional, além da influência da separação do traço na geração de ruído *crosstalk*.

Palavras-Chave — *Microstrip, Stripline, Crosstalk*.

I. INTRODUÇÃO

Confiabilidade e velocidade de operação (frequência de operação) são requisitos básicos para equipamentos eletrônicos [2]. Com o aumento dessas frequências de operação atingindo dezenas de GHz, as interconexões ou trilhas da placa de circuito impresso (PCI) passam a se comportar como linhas de transmissão [2].

Tal fato remete a uma grande preocupação nos padrões de emissão de EMC/EMI, pois os equipamentos eletrônicos devem ter emissões de interferências eletromagnéticas apropriadas [8]. Problemas de interferências podem ocasionar erros na transmissão de informações.

Isso ocorre em sistemas com alta frequência de operação devido às interconexões, propriedades elétricas das placas, dispositivos passivos e ativos (CI's, FPGA's, microcontroladores, etc.) através dos sinais digitais interagindo como formas de ondas de tensão e corrente [3].

Uma interferência indesejada que afeta a integridade de sinal é o ruído *crosstalk* que é um dentre quatro grandes grupos de problemas que compõem tal categoria [1,2]. A duração, qualidade do sinal, *crosstalk* e interferência eletromagnética estão incluídas nessas classes [2].

A seção 2 descreve os principais conceitos sobre ruído *crosstalk*, a seção 3 apresenta a configuração do circuito empregada nesse trabalho, a seção 4 mostra os resultados da simulação e a seção 5 apresenta as conclusões.

E. Santos, eng_elaine2004@yahoo.com.br, A. Shinoda, shinoda@dee.feis.unesp.br, Tel +55-18-3743-1290. Este trabalho foi parcialmente financiado pela TROPICO Sistemas e Telecomunicações da Amazônia Ltda.

II. CROSSTALK

O termo *crosstalk* é referido a um problema de integridade de sinal, em que uma trilha ao transmitir um sinal qualquer, interfere em outra trilha vizinha. Tal fato é devido a indutâncias e capacitâncias mútuas [4].

Em outras palavras são acoplamentos indesejados de tensões e correntes entre condutores vizinhos [7].

Quando um sinal percorre uma trilha, uma onda eletromagnética se propaga através do traçado gerando anéis de linhas de campo magnético. Essas linhas de campo induzem tensões e correntes indesejadas em trilhas vizinhas.

Em termos de qualidade de integridade de sinal, é admitido um ruído total de 15% e pelo menos 5% é devido a erros de *crosstalk* [2]. Mas se recomenda que esse ruído não ultrapasse um valor superior a 3%, para não se ter maiores preocupações [2].

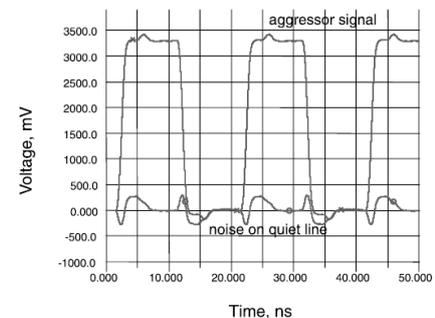


Fig.1 – *Crosstalk*. Fonte: [2]

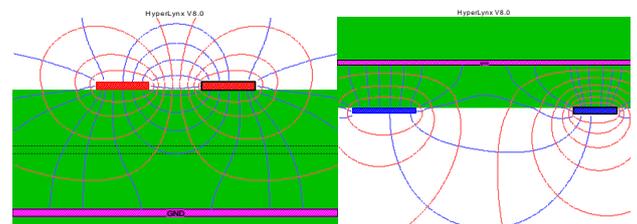


Fig. 2 – Anéis de linhas de campos magnéticos

A Fig.1 mostra o que ocorre quando algum sinal percorre a trilha agressora e nenhum sinal na trilha vítima [2]. No caso ideal a tensão da trilha vítima seria nula, mas devido ao ruído de *crosstalk* há um acoplamento do sinal da trilha agressora para a trilha vítima. A Fig. 2 ilustra as linhas de campo magnético entre trilhas vizinhas de uma PCI.

Foi considerada uma estrutura de duas linhas impressas nesse trabalho, onde a PCI possui duas faces metálicas [9]. Uma com mesmo substrato e outra com substratos diferentes. A placa que contém o mesmo substrato nas duas camadas é a *stripline* (Fig.6), no caso da placa que contém duas camadas diferentes, sendo uma delas o ar ($\epsilon_r=1$) é a *microstrip* (Fig. 4).

As linhas impressas são um caso particular das linhas de transmissão, pois correspondem a comprimentos muito pequenos [9]. São associadas a circuitos de frequências muito altas, superiores a 300 MHz [9].

Para a análise de *crosstalk* de uma *stripline* e uma *microstrip* são consideradas duas linhas de transmissão. A medida do ruído inicial é chamado de *crosstalk near end* e a final chamado de *crosstalk far end* [6].

A referência [6] apresenta um estudo do ruído *crosstalk* baseado nas indutâncias e capacitâncias. As matrizes de capacitâncias e indutâncias são:

$$C = \begin{bmatrix} C_s & -C_m \\ -C_m & C_s \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde: C_s é a capacitância auto e C_m a capacitância mútua.

$$L = \begin{bmatrix} L_s & L_m \\ L_m & L_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

Onde: L_s é a indutância auto e L_m a indutância mútua.

$$C_t = C_m + C_s \quad (3)$$

A Eq. 4 mostra a relação sinal-ruído *crosstalk near end* e a Eq. 5 mostra a relação sinal-ruído *crosstalk far end*.

$$\frac{V_{ne}(t)}{V_{swing}} = \frac{1}{4} \left(\frac{C_m}{C_t} + \frac{L_m}{L_s} \right) \quad (4)$$

$$\frac{V_{fe}(t)}{V_{swing}} = \frac{1}{2} \left(\frac{C_m}{C_t} - \frac{L_m}{L_s} \right) \frac{t_f}{t_r} \quad (5)$$

Onde: $V_{ne}(t)$ é a tensão de *crosstalk near end*, $V_{fe}(t)$ é a tensão de *crosstalk far end*, V_{swing} é a tensão de balanço, t_f é o tempo de descida e t_r é o tempo de subida.

As técnicas usuais para a análise de *crosstalk* são ferramentas computacionais do tipo *Field Solver 2D* e que utilizam as Equações de Maxwell para determinar os acoplamentos indesejados. Nesse trabalho a ferramenta computacional utilizada foi o *Hyperlynx Mentor Graphics* [5].

III. CONFIGURAÇÃO DO CIRCUITO

A Fig. 3 ilustra a configuração do circuito de uma *microstrip* no simulador *Hyperlynx*, a Fig. 4-a mostra a estrutura física da *microstrip* e a Fig. 4-b o seu desenho.

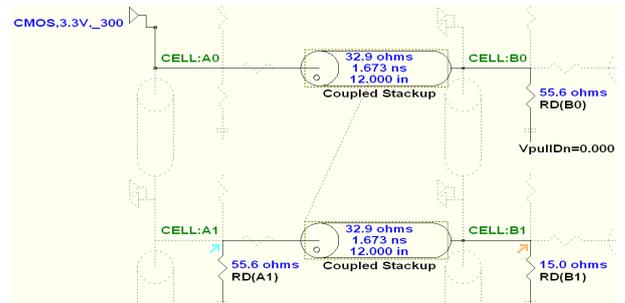


Fig. 3 - Microstrip

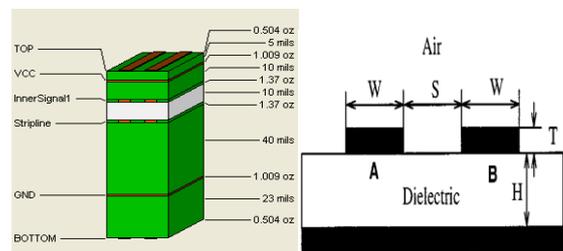


Fig. 4 - Microstrip: (a); (b) Fonte: [6]

Onde: $W = 1,75$ mm; $H=1$ mm; $T= 0,034$ mm; $\epsilon_r= 1$ (ar); $Z_0=50 \Omega$ e S varia entre 0,525 mm a 1,50 mm.

A Fig. 5 ilustra a configuração do circuito de uma *stripline* no simulador *Hyperlynx*, a Fig. 6-a mostra a estrutura física da *stripline* e a Fig. 6-b o seu desenho.

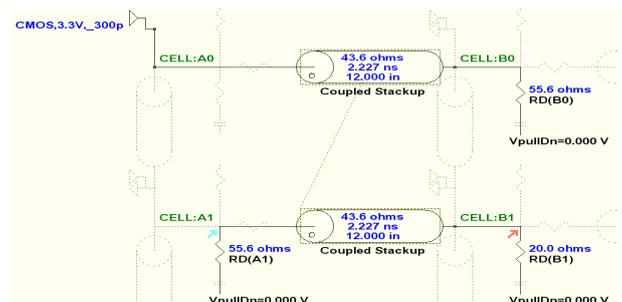


Fig. 5 - Stripline

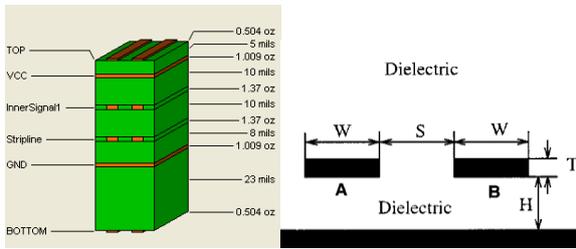


Fig. 6 – Stripline :(a); (b) Fonte: [6]

Onde $W=0,25$ mm; $H=0,2$ mm; $T=0,034$ mm; $\epsilon_r=4.8$ (FR4); $Z_0=20.4 \Omega$ e S varia de $0,075$ mm a $0,775$ mm.

IV. EFEITOS DE CROSSTALK NA INTEGRIDADE DO SINAL

As Fig. 7, Fig.8 e Fig.9 são os resultados da simulação de *crosstalk* do *microstrip*. Os resultados do *stripline* são apresentados na Fig. 11, Fig. 12 e Fig. 13. As Fig. 10 e Fig. 14 ilustram, respectivamente, as linhas de campo magnético de *microstrip* e *stripline*.

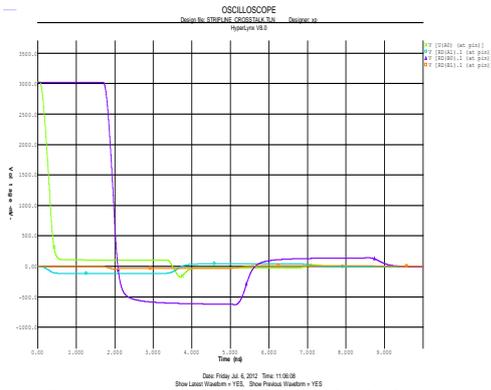


Fig. 7 – Microstrip sinal falling edge 0,525 mm.

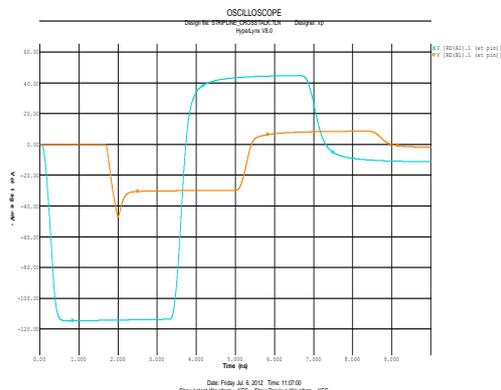


Fig. 8 – Crosstalk near end e far end da microstrip 0,525 mm.

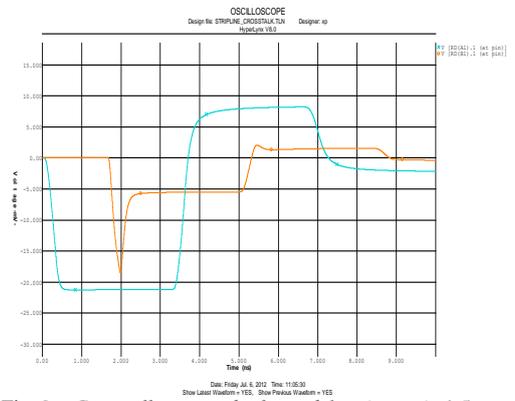


Fig. 9 – Crosstalk near end e far end da microstrip 1,5 mm.

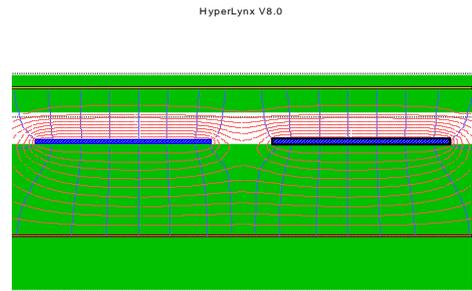


Fig. 10 – Linhas de campos magnéticos da microstrip.

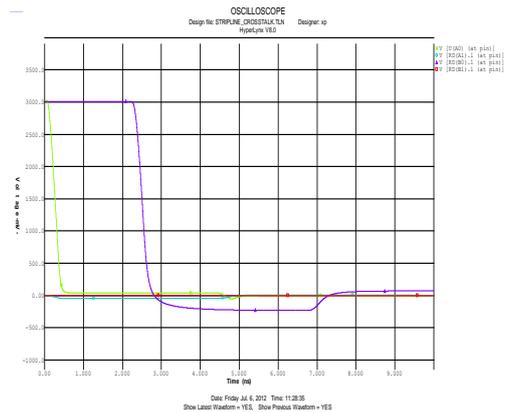


Fig. 11 – Stripline sinal falling edge 0,525 mm.

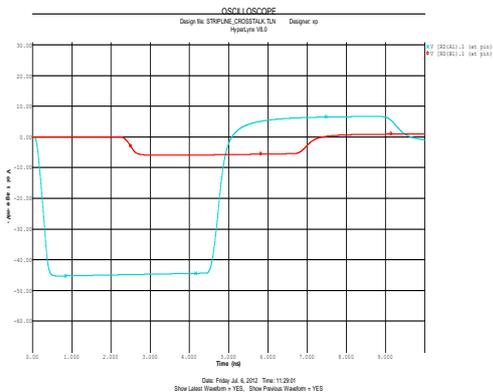


Fig. 12 – Crosstalk near end e far end da stripline 0,525 mm.

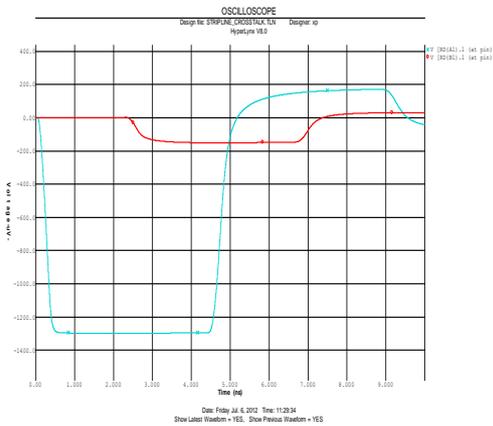


Fig. 13 – Crosstalk near end e far end da stripline 1,5 mm.

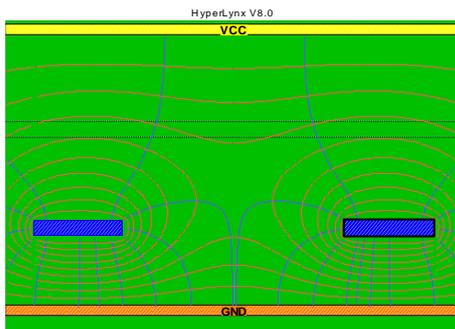


Fig. 14 – Linhas de campo magnético da stripline.

TABELA I RELAÇÃO DO TRAÇO DE SEPARAÇÃO DE UMA MICROSTRIP

Espaço (mm)	S/W	Ruído (%) near end Hyperlynx	Ruído(%) near end Eq. 4
0,075	0,043	16	11,63
0,125	0,071	12,9	9,54
0,25	0,143	8,76	6,71
0,275	0,214	6,47	5,05
0,525	0,357	3,79	3,03
0,775	0,5	2,3	1,87
1,25	0,714	1,1	0,92
1,50	0,857	0,69	0,58

Onde: Tensão de transição do nível lógico alto foi de 3,029 V.

TABELA II RELAÇÃO DO TRAÇO DE SEPARAÇÃO DE UMA MICROSTRIP

Espaço (mm)	S/W	Ruído (%) far end Hyperlynx	Ruído(%) far end Eq. 5
0,075	0,043	5	3,2
0,125	0,071	3,79	2,1
0,25	0,143	2,4	1
0,275	0,214	1,8	0,4
0,525	0,357	1	0,2
0,775	0,5	0,9	0,18
1,25	0,714	0,7	0,17
1,50	0,857	0,5	0,14

Onde: Tensão de transição do nível lógico alto foi de 3,050 V.

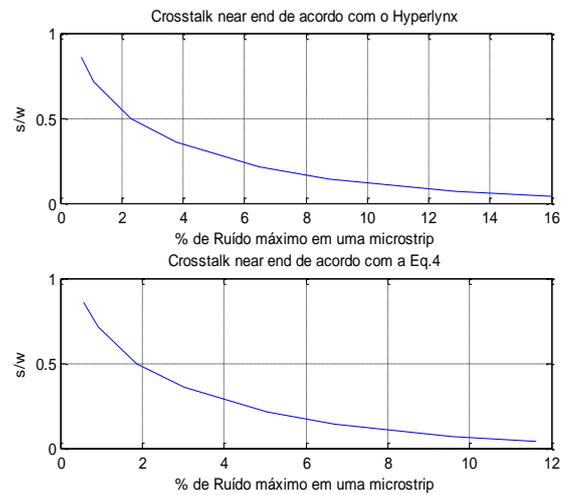


Fig. 15 – Crosstalk near end (Hyperlynx e Eq. 4).

A Tabela I e a Tabela II mostram a variação do traço de separação de uma *microstrip* variando de 0,075 a 1,5 mm. Elas mostram também o nível de ruído *crosstalk near end* máximo e *crosstalk far end* máximo respectivamente. A comparação é feita para o caso da ferramenta computacional Hyperlynx Mentor Graphics utilizada nesse trabalho em relação aos casos da Eq. 4 e Eq. 5.

A Fig. 15 e a Fig. 16 mostram os dados da Tabela I e Tabela II respectivamente, onde se observa a relação do traço de separação sobre o comprimento da *microstrip* versus porcentagem de ruído.

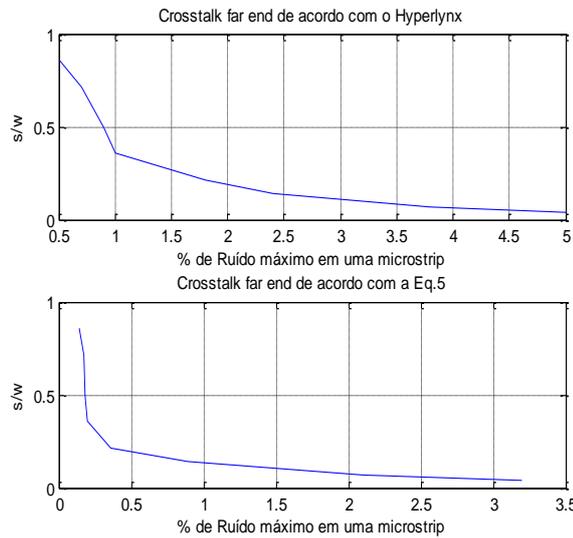


Fig. 16 – Crosstalk far end (Hyperlynx e Eq. 5).

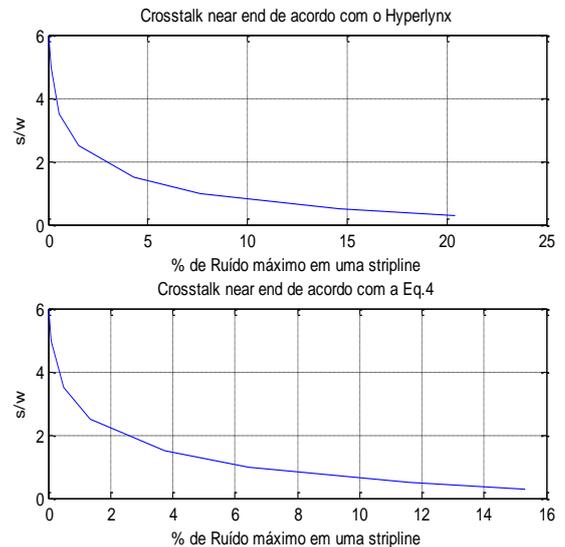


Fig. 17- Crosstalk near end (Hyperlynx e Eq. 4).

A Tabela III e a Tabela IV mostram a variação do traço de separação de uma *stripline* variando de 0,075 a 1,5 mm. Elas mostram também o nível de ruído *crosstalk near end* máximo e *crosstalk far end* máximo respectivamente. A comparação é feita para o caso o caso da ferramenta computacional Hyperlynx Mentor Graphics utilizada nesse trabalho em relação aos casos da Eq. 4 e Eq. 5.

A Fig. 17 e a Fig. 18 mostram os dados da Tabela III e Tabela IV respectivamente, onde se observa a relação do traço de separação sobre o comprimento da *stripline* versus porcentagem de ruído.

TABELA III RELAÇÃO DO TRAÇO DE SEPARAÇÃO DE UMA STRIPLINE

Espaço (mm)	S/W	Ruído (%) <i>near end</i>	
		Hyperlynx	Eq. 4
0,075	0,3	20,44	15,32
0,125	0,5	14,6	11,61
0,25	1	7,61	6,45
0,275	1,5	4,29	3,76
0,525	2,5	1,5	1,34
0,775	3,5	0,54	0,49
1,25	5	0,12	0,11
1,50	6	0,04	0,0000004

Onde: Tensão de transição do nível lógico alto foi de 3,026 V.

TABELA IV RELAÇÃO DO TRAÇO DE SEPARAÇÃO DE UMA STRIPLINE

Espaço (mm)	S/W	Ruído (%) <i>far end</i>	
		Hyperlynx	Eq. 5
0,075	0,3	5,16	4,6
0,125	0,5	2,96	2,66
0,25	1	1,18	0,83
0,275	1,5	0,61	0,3
0,525	2,5	0,19	0,04
0,775	3,5	0,06	0,005
1,25	5	0,01	0,0004
1,50	6	0,0005	0,0001

Onde: Tensão de transição do nível lógico alto foi de 3,015 V.

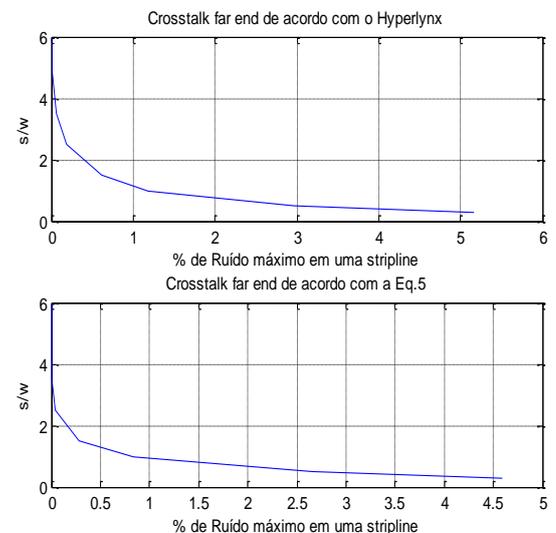


Fig. 18 – Crosstalk far end (Hyperlynx e Eq. 5).

V. CONCLUSÃO

Com o incremento da velocidade de operação (altas frequências de *clock*) dos circuitos em PCI, o comprimento de onda torna-se comparável ao comprimento das interconexões. Isso implica que a análise dos circuitos seja feita em termos de linha de transmissão. Um dos efeitos indesejáveis dessa mudança de comportamento é o aparecimento de *crosstalk* na integridade do sinal, inexistente em PCI com baixas frequências de operação.

Nesse trabalho foi mostrado como o problema de integridade de sinal *crosstalk* é gerado a partir da transição de nível da trilha agressora em trilhas vítimas e os fatores que influenciam o comportamento do ruído.

Foram analisadas duas linhas de transmissão, *microstrip* (Fig. 4) e *stripline* (Fig. 6). Fazendo a variação do traço de

separação de ambas o nível de ruído se altera. Uma comparação entre a ferramenta computacional Hyperlynx Mentor Graphics e a Eq.4 e Eq.5 foram feitas e os resultados se mostraram coerentes.

A porcentagem de ruído *crosstalk near end* máximo na *microstrip* para um traço de separação de 0,525 mm é 95,68% menor em relação ao traço de separação de 1,5 mm para o caso da ferramenta computacional e 95,01% para o caso da Eq. 4.

A porcentagem de ruído *crosstalk far end* máximo na *microstrip* para um traço de separação de 0,525 mm é 90% menor em relação ao traço de separação de 1,5 mm para o caso da ferramenta computacional e 95,63% para o caso da Eq. 4.

A porcentagem de ruído *crosstalk near end* máximo e *far end* máximo na *stripline* para um traço de separação de 0,525 mm é 99% menor em relação ao traço de separação de 1,5 mm para o caso os dois casos analisados.

O limite máximo de ruído *crosstalk* que garante que o mesmo não ultrapasse o limite de 5% permitido, considerando os dados utilizados nesse trabalho, é observado com um traço de separação de 0,15 mm em uma *stripline* e 0,25 mm em uma *microstrip*, para os dois casos analisados.

REFERÊNCIAS

- [1] C. P. Antônio, M. Alexandre, T.F. Admilson, C. B. Clemente, “Análise de integridade de sinal emissão eletromagnética e térmica em placa controladora de impressão”, CEFET-PR, Curitiba-BR.
- [2] B. Eric, “Signal and power integrity”, 2nd Edition, Prentice Hall, 2009.
- [3] Y. C. Raymond, “Signal integrity”, In. Santa Clara – Califórnia, Disponível em: <http://www.sigint.com/papers/EMC-IEEE-BK/si_chapter.pdf>. Acesso em: 25/06/2012.
- [4] M. B. Geise, “Modelagem de fontes e cargas digitais para análise de integridade de sinais usando o método de elementos finitos”, Universidade Federal do Paraná – PR, Curitiba- BR, Novembro 2008.
- [5] “Mentor graphics boardsim”, Software Version 8.0, 2009.
- [6] S. Y. Soo, L. J. Cheol, P. H. June, C. S. Soo, “Empirical equations on electrical parameters of coupled microstrip lines for crosstalk estimation in printed circuit board”, November, 2001 [Transactions on advanced packaging, vol.24, n°4, IEEE].
- [7] H. Kaer, L. Wenyi, Y. Honcheng, “The signal integrity of the high-speed IC”, [Desing, Frontier in Education Conference, 2009. FIE’09.39th IEEE].
- [8] C. R. Paul, “Introduction to electromagnetic compatibility”, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2006.
- [9] A. B. M. Carlos, J. S. Henrique, “Introdução às linhas de transmissão”, 2005.