

BLINDAGENS CONTRA INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS

*Ricardo Marçal Matias*¹

Resumo:

Este artigo apresenta um apanhado geral sobre a técnica de blindagem contra interferências eletromagnéticas. Apresentaremos também algumas situações analisadas, empregando-se uma implementação computacional do Método de Elementos Finitos.

Abstract:

This paper seeks to present a general view of the technique of shielding against electromagnetic interference. We will also present some analyzed situations. A computational implementation of Finite Elements Method will be employed as well.

1. INTRODUÇÃO

A sociedade moderna é extremamente dependente de computadores e sistemas eletrônicos sensíveis à interferência eletromagnética (EMI), e em caso de falhas e/ou interrupções, o prejuízo certamente será grande [11]. Assim a proximidade entre instalações elétricas de tensão elevada e sistemas que operam em baixas tensões, como por exemplo os sistemas informáticos ou de automação, exigem uma análise cuidadosa quanto às possibilidades de interferência, a fim de se garantir a compatibilidade eletromagnética (EMC) do conjunto [6,8,12].

A técnica mais empregada para se solucionar problemas de EMI entre equipamentos e/ou sistemas já implantados é a da blindagem eletromagnética, a qual será descrita neste trabalho.

Qualquer instalação elétrica, seja ela residencial, industrial, de alta ou baixa potência, constitui-se em fonte de campo eletromagnético de baixa frequência devido às tensões e correntes presentes nestes sistemas e, também, campos eletromagnéticos de alta frequência, causados principalmente pelas operações de manobra, tais como abertura de chaves, relés, contadores, disjuntores, seccionadoras entre outras [9,10,11].

¹ Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Minas Gerais, mestre em Engenharia Elétrica pela UFSC, e doutor em Engenharia Elétrica pela UFRGS. Atualmente é professor do CEFET/PR, Unidade de Ponta Grossa, onde atua na área de Interferência Eletromagnética e Blindagem.

Uma blindagem é um obstáculo colocado entre duas regiões do espaço, com o objetivo de proteger um determinado equipamento ou instalação contra a ação de campos elétricos e/ou magnéticos, ou seja, manter um ambiente eletromagneticamente limpo para a operação de circuitos sensíveis em locais ruidosos e também evitar a poluição do ambiente a partir de circuitos geradores de campos eletromagnéticos [1,2]. Ela pode ser construída empregando-se materiais ferromagnéticos, materiais condutores não-magnéticos ou ainda com a combinação de ambos os materiais.

A fim de entender o mecanismo de atuação de uma blindagem no sentido de reduzir ou até mesmo eliminar um problema de interferência eletromagnética e, também, determinar o material mais adequado a ser utilizado na sua confecção, vamos considerar a blindagem como sendo uma superfície plana sem descontinuidades. Esta geometria simples servirá para introduzir os conceitos gerais da técnica de blindagem, bem como mostrar de que forma as propriedades dos materiais influenciam no seu desempenho. Além disto, devemos considerar alguns conceitos fundamentais da teoria eletromagnética, pois, como veremos, a escolha do material mais indicado será função das características do campo interferente.

2. REGIÕES DE NEAR-FIELD E FAR-FIELD (CAMPO PRÓXIMO E CAMPO DISTANTE)

Podemos dividir o espaço ao redor de uma fonte de campo eletromagnético em duas regiões, onde, o campo, em cada uma delas, apresenta características variadas.

A região é denominada região de campo próximo quando está em torno da fonte, dentro de um limite de $\lambda/2\pi$. Nesta condição a fonte é o fator principal na determinação das características do campo. Assim, se a fonte é de alta corrente e baixa tensão, o campo é predominantemente magnético, pois a maior parte da energia da onda eletromagnética está armazenada na sua componente magnética, apresentando uma impedância de onda (Z_w), dada por \vec{H} / \vec{E} , menor que 120π . Se a fonte apresenta baixa corrente e alta tensão, o campo é predominantemente elétrico, pois a maior parte da energia esta armazenada na componente elétrica, em consequência, a impedância de onda é maior que 120π . Portanto, o campo presente na região de near-field pode ser subdividido em campo indutivo ou de baixa impedância quando $Z_w < 120\pi$ e campo capacitivo ou de alta impedância quando $Z_w > 120\pi$.

A região chamada região de campo distante situa-se a partir do limite de $\lambda/2\pi$ até o infinito. Nesta condição o meio determina as características do campo, pois a impedância de onda (Z_w) é igual a impedância característica do meio (Z_0), dada por [1,2]:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{j \omega \mu}{\sigma + j \omega \epsilon}}$$

Para materiais dielétricos ($\sigma \ll j \omega \epsilon$), a impedância característica é independente da frequência e torna-se:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

e assumimos para o ar $Z_0 = 377 \Omega$.

Para o caso de materiais condutores ($\sigma \gg j \omega \epsilon$), a impedância característica é dependente da frequência. Neste caso ela é chamada de impedância de blindagem (Z_s) e é dada por:

$$|Z_s| = \sqrt{\frac{\omega \mu}{\sigma}}$$

Nesta região, o campo recebe a denominação de onda plana ou radiação eletromagnética, e a energia está dividida igualmente entre as componentes do campo elétrico e magnético. A figura abaixo ilustra estas regiões e os tipos de campos predominante em cada uma delas [2,4,5].

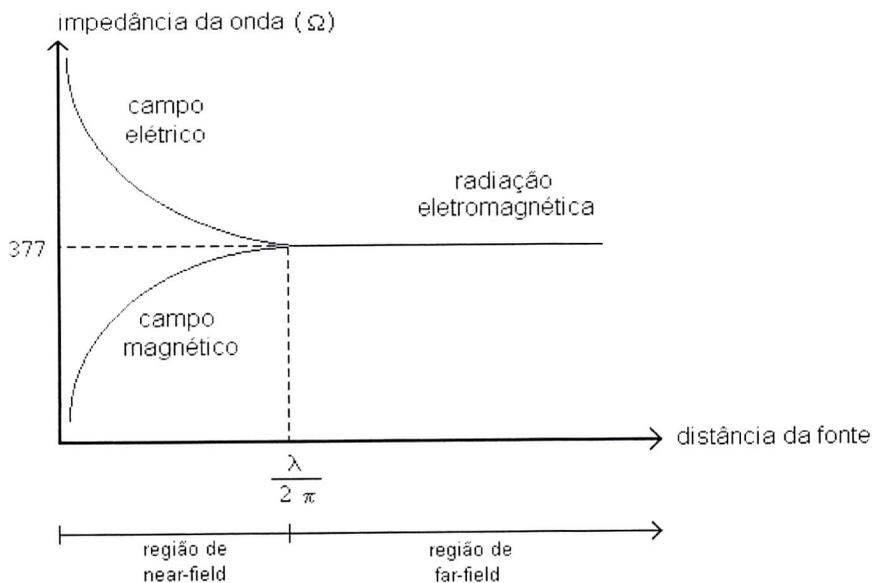


Fig. 01 - Regiões de near-field e far-field.

Com isto, podemos definir em qual das regiões esta localizada a vítima da interferência, e a partir daí evidenciar o tipo de campo interferente, que vai nos possibilitar definir o material mais adequado à confecção da blindagem.

3. EFICIÊNCIA DA BLINDAGEM (OU FATOR DE BLINDAGEM)

A eficiência da blindagem (S) pode ser determinada a partir da razão entre o campo elétrico ou campo magnético incidente no equipamento sem a blindagem (\vec{E}_0 ou \vec{H}_0) e com a blindagem (\vec{E}_1 ou \vec{H}_1), sendo esta relação normalmente expressa em decibéis [1,2,3,5]:

$$S = 20 \log \left(\frac{\vec{E}_0}{\vec{E}_1} \right) \text{ [dB]} \quad \text{ou} \quad S = 20 \log \left(\frac{\vec{H}_0}{\vec{H}_1} \right) \text{ [dB]}$$

Ela varia em função de uma série de parâmetros, tais como: frequência do campo interferente, geometria e dimensões da blindagem, posição dentro da blindagem onde o campo é medido, tipo de campo que está sendo atenuado, material da blindagem, etc. A literatura nos fornece equações aproximadas para a determinação da eficiência de blindagens de geometrias simétricas; no entanto, no caso de estruturas geometricamente complexas, o cálculo do fator de blindagem torna-se bastante complicado.

4. PERDAS EM UMA BLINDAGEM

Dois tipos de perdas são encontradas por uma onda eletromagnética ao incidir sobre uma blindagem. A onda é parcialmente refletida pela superfície e a parcela transmitida (aquela não refletida) é atenuada ao passar através do material. Este último efeito, chamado perdas por absorção, é o mesmo tanto para o near como para o far-field e para o campo elétrico como para o campo magnético. Já as perdas por reflexão são dependentes do tipo de campo. A figura a seguir ilustra o mecanismo das perdas ocorridas em uma blindagem [2,4].

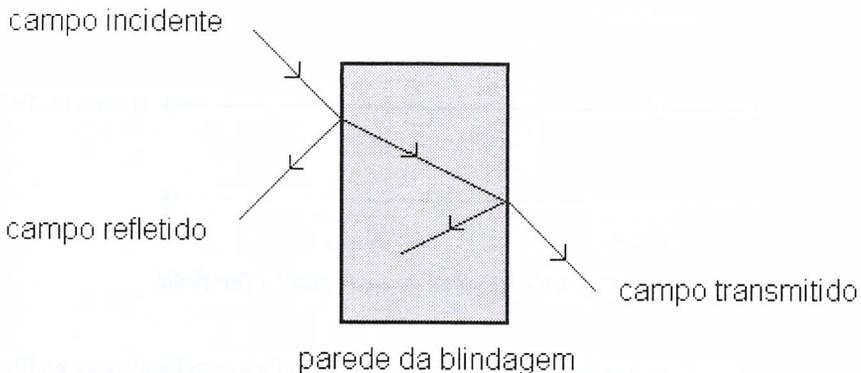


Fig. 02 - Mecanismo de perdas em uma blindagem.

A eficiência também pode ser determinada através do somatório das perdas por absorção (A), mais as perdas por reflexão (R), mais o fator de correção relativo às múltiplas reflexões (M) que ocorrem em blindagens de pequena espessura [1,2]:

$$S = A + R + M \text{ [dB]}$$

O fator de correção relativo às múltiplas reflexões (M) pode ser negligenciado se as perdas por absorção forem superiores a 9 dB. Do ponto de vista prático, M pode ser negligenciado também para campos elétricos e para ondas planas. Já, para o campo magnético, a maior parte da onda incidente passa através da primeira fronteira da blindagem, assim a magnitude do campo magnético dentro da blindagem deve ser considerado. Este fator pode ser determinado a partir da seguinte expressão [1,2]:

$$M = 20 \log \left(1 - e^{-2t/\gamma} \right) \text{ [dB]}$$

onde g representa a profundidade de penetração do campo incidente e t a espessura da blindagem.

4.1 PERDAS POR ABSORÇÃO (A)

As perdas por absorção é igual para todos os tipos de campo (elétrico, magnético e onda plana), sendo diretamente proporcional à frequência (em Hz) e a espessura da parede da blindagem (em cm), como pode ser observado na expressão abaixo [1,2]:

$$A = 1,314 t \sqrt{f \mu_r \sigma_r} \text{ [dB]}$$

Verifica-se também que as perdas por absorção aumentam quando as características do material μ_r e σ_r crescem.

4.2 PERDAS POR REFLEXÃO (R)

Este tipo de perda ocorre devido a diferença da impedância característica do campo incidente e a impedância da blindagem, a qual varia com a permeabilidade e condutividade do material e também com a frequência. Ela é expressa de acordo com a seguinte expressão [1,2]:

$$R = 20 \log \left(\frac{Z_w}{4Z_s} \right) \text{ [dB]}$$

sendo Z_w a impedância de onda e Z_s a impedância da blindagem.
Para ondas planas, a expressão será:

$$R_{OP} = 168,2 + 10 \log \left(\frac{\sigma_r}{f \mu_r} \right) \text{ [dB]}$$

Para campos elétricos a expressão se torna:

$$R_E = 322 + 10 \log \left(\frac{\sigma_r}{\mu_r f^3 r^2} \right) \text{ [dB]}$$

Onde r é a distância da fonte de campo até a blindagem, em metros.
Já para campos magnéticos temos a seguinte expressão:

$$R_M = 14,6 + 10 \log \left(\frac{f r^2 \sigma_r}{\mu_r} \right) \text{ [dB]}$$

onde:

- r – distância entre a blindagem e a fonte (metros);
- μ_r – permeabilidade relativa do material;
- σ_r – condutividade relativa do material;
- f – frequência (Hz).

Verificamos então que tanto a perda por reflexão quanto por absorção são reduzidas para campos magnéticos de baixa frequência.

No entanto, o aumento no uso de equipamentos elétricos e a grande concentração dos sistemas de potência a frequência industrial ocasionam no ambiente altos níveis de campo eletromagnético de baixa frequência. Estes também podem causar distúrbios de funcionamento em equipamentos ou sistemas eletrônicos sensíveis. Assim, torna-se necessário a concepção de blindagens eficientes para estes campos, devendo nestes casos ser usados materiais de alta permeabilidade, para campos magnéticos e materiais de alta condutividade para campos elétricos.

5. CLASSIFICAÇÃO DAS BLINDAGENS COM RELAÇÃO AO MATERIAL UTILIZADO NA SUA CONFECÇÃO

5.1 BLINDAGEM FERROMAGNÉTICA

O princípio deste tipo de blindagem é baseado no fato de que o campo magnético procura o caminho de menor relutância. Como a permeabilidade mag-

nética do material ferromagnético é muito maior que a permeabilidade do ar, o campo magnético se concentra neste material [2,4].

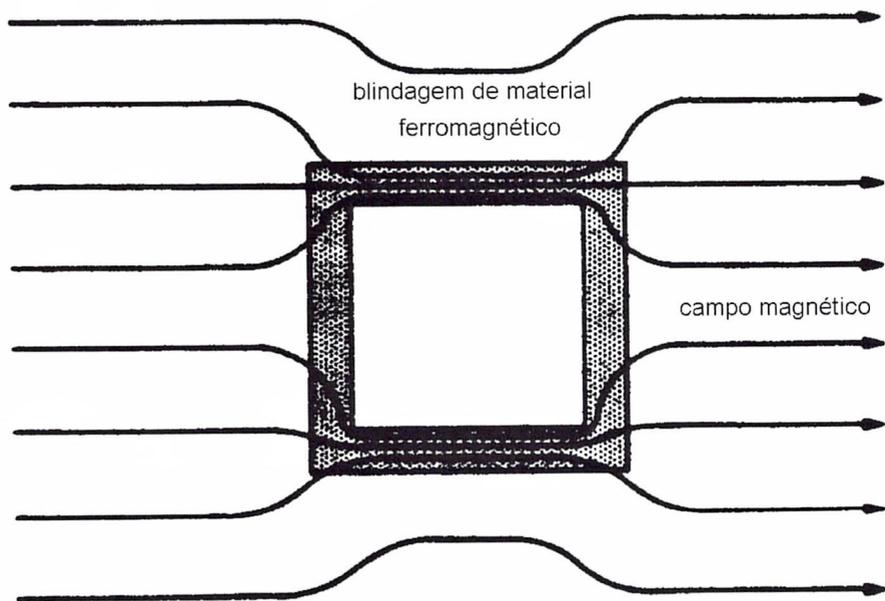


Fig. 03 - Princípio de atuação da blindagem ferromagnética.

Assim, podemos afirmar que, de um modo geral, quanto maior a permeabilidade do material da blindagem, maior será a eficiência da mesma. A blindagem ferromagnética pode ser aplicada também para campos de corrente contínua, ao contrário da blindagem condutiva, que se baseia na indução de correntes parasitas, causada pelo campo de corrente alternada. O material utilizado na confecção da blindagem não deve saturar-se devido ao campo aplicado, pois, em consequência, teremos uma diminuição na eficiência da blindagem.

5.2 BLINDAGEM CONDUTIVA

O princípio deste tipo de blindagem se baseia no fato de que todo campo magnético variável no tempo induz correntes parasitas em um material condutor em que incida. Sabe-se também que o campo magnético originado devido as correntes parasitas é oposto ao campo que lhe deram origem. Desta forma, o campo resultante no interior da blindagem será reduzido [2,4].

O princípio de uma blindagem condutiva imersa em um campo magnético é mostrada na figura abaixo:

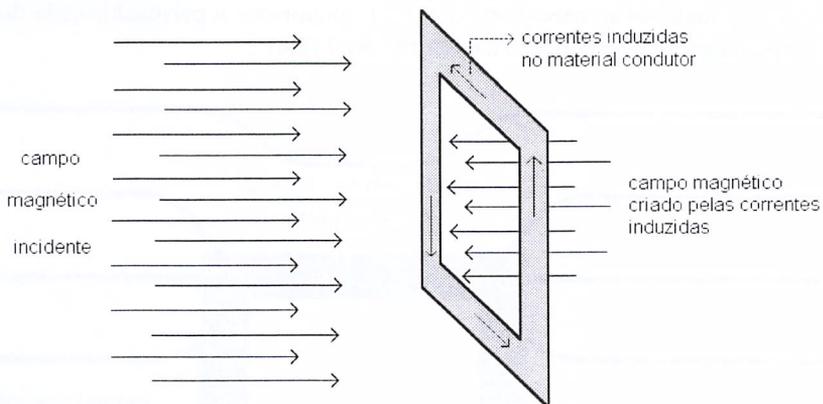


Fig. 04 - Princípio de atuação da blindagem condutiva.

A eficiência da blindagem depende da espessura do material e de sua condutividade. Normalmente são usadas blindagens de cobre ou alumínio. O cobre é melhor, do ponto de vista da eficiência da blindagem, mas por questões econômicas, o alumínio é preferido.

5.3 BLINDAGENS COMBINADAS

Já eficiência de uma blindagem combinada ou de uma blindagem com várias camadas é determinada fazendo-se o produto da eficiência calculada para cada uma delas separadamente [2,4].

6. BLINDAGEM PROPORCIONADA PELAS ESTRUTURAS DE SUSTENTAÇÃO DE CABOS

As estruturas metálicas de sustentação de cablagem em instalações eletroeletrônicas são normalmente consideradas meros suportes mecânicos, destinados apenas a manter os cabos de força e de sinais devidamente posicionados.

No entanto, a utilização adequada dessas estruturas (bandejas, eletrocalhas, eletrodutos metálicos, entre outros) podem atuar como blindagens reduzindo significativamente a intensidade dos campos ali originados. Porém, os efeitos de blindagem variam com a geometria do conduto e com a disposição dos cabos em seu interior [10].

7. MÉTODOS NUMÉRICOS PARA ANÁLISE DE BLINDAGENS

Para blindagens apresentando geometrias simples, como esféricas, cilíndricas e chapas, existem formulações analíticas para determinação de suas características. No entanto no caso de geometrias mais complexas, torna-se necessário o uso de métodos numéricos [3,5].

Atualmente há dois métodos bastante empregados no cálculo de blindagens, o Método de Elementos Finitos e o Método dos Momentos [1,2,3].

Comparações de resultados numéricos com cálculos analíticos e medidas confirmam a alta precisão conseguida com o uso do Método de Elementos Finitos (MEF).

A seguir, apresentaremos alguns resultados de simulações realizadas com uma implementação computacional do MEF.

No primeiro caso, considera-se uma fonte de campo magnético, obtida a partir da circulação de corrente em um conjunto de condutores no interior de um eletroduto de PVC. Determinamos então a intensidade de campo magnético no ponto de medição.

eletroduto de PVC
com 6 condutores



$I_t = 95$ A
 $f = 60$ Hz

Ponto de Medição

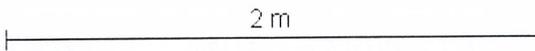


Fig. 05 - Domínio de estudo sem a blindagem.

O campo magnético calculado no ponto de medição foi de 0.00793 A/mm. Colocamos, em seguida, a uma distância de 1 m da fonte de campo, uma chapa de aço de 100 mm de espessura, conforme ilustra a figura 06, e determinamos novamente a intensidade de campo magnético no ponto de medição, considerando agora a influência da blindagem. O valor encontrado foi de 0.000930 A/mm.

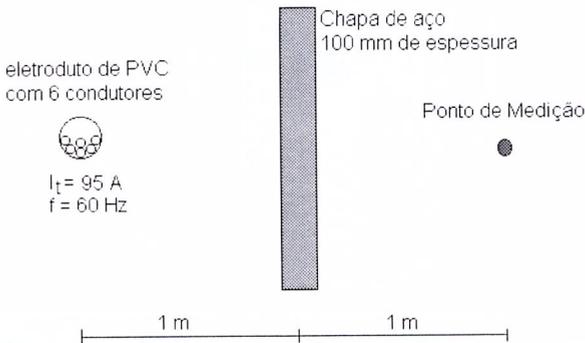


Fig. 06 - Domínio de estudo com a blindagem.

Com estes dados, determinamos a eficiência da blindagem, que neste caso é de 18,62 dB. As figuras abaixo mostram a distribuição do campo magnético no domínio de estudo, na presença e na ausência da blindagem.

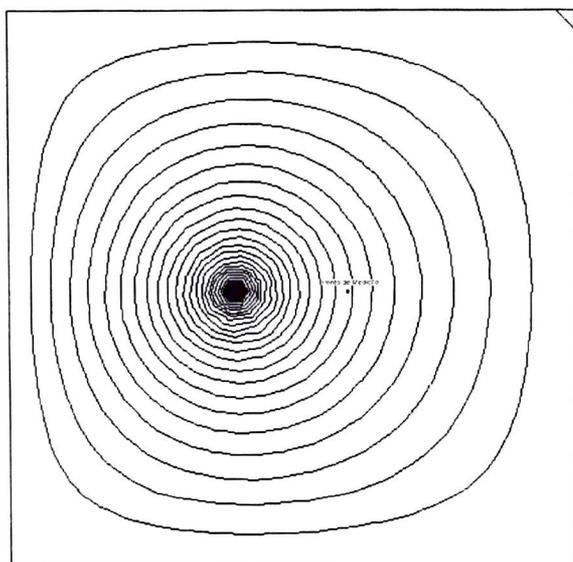


Fig. 07 - Distribuição do campo magnético sem a blindagem.

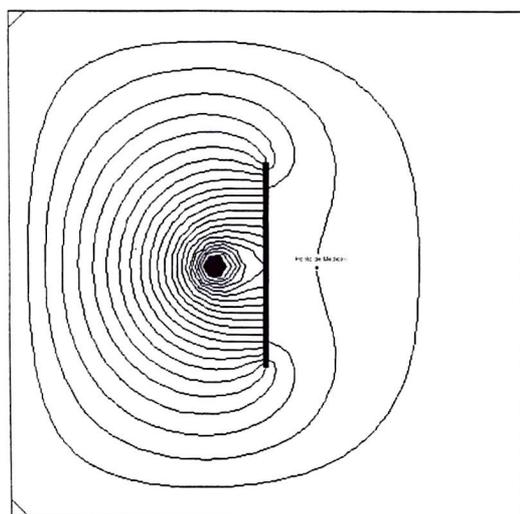


Fig. 08 - Distribuição do campo magnético com a blindagem.

Consideraremos agora o mesmo domínio de estudo, usando no entanto uma chapa de 200 mm de espessura do mesmo material.

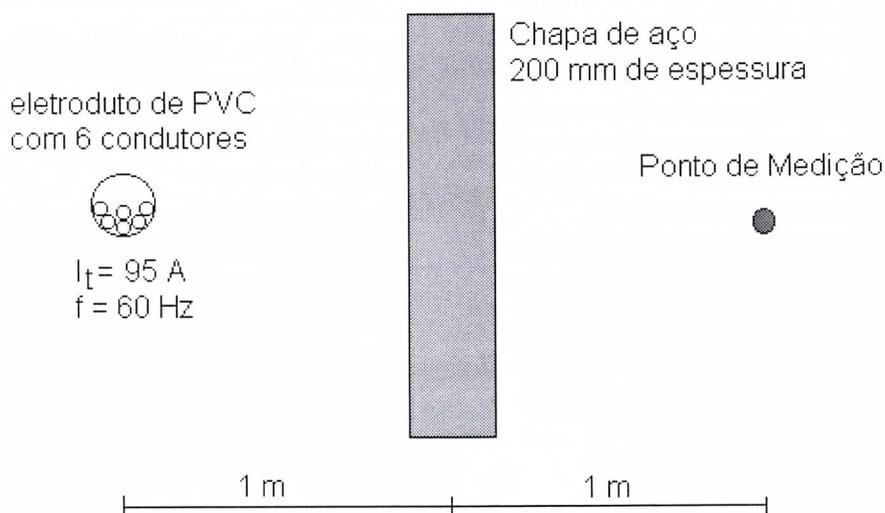


Fig. 09 - Domínio de estudo com a blindagem.

Nesta situação, encontramos uma eficiência de 37,56 dB, o que era de se esperar, já que aumentamos a espessura da blindagem.

Analisaremos agora a situação onde temos uma blindagem totalmente fechada, conforme mostra a figura abaixo.

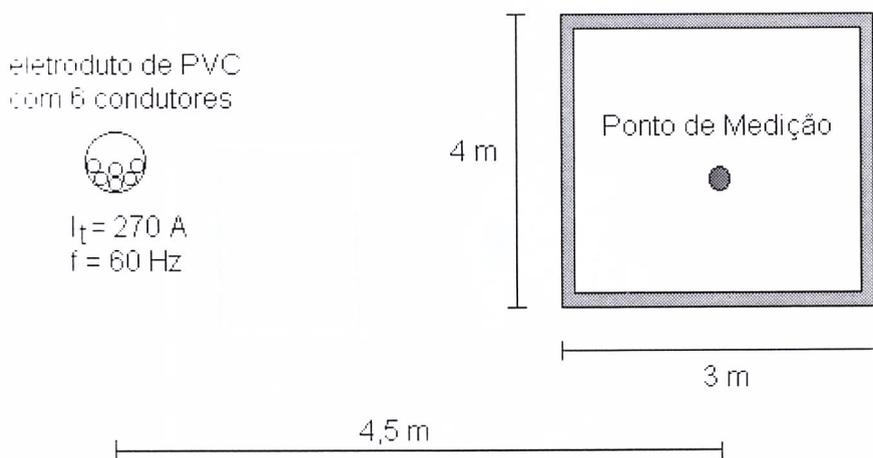


Fig. 10 - Domínio de estudo com blindagem fechada.

Neste caso, o campo magnético calculado no ponto de medição, sem a blindagem, foi de 0.00741 A/mm. Colocamos, em seguida, uma caixa de 100 mm de espessura em torno do ponto de medição, e determinamos novamente a intensidade do campo magnético no ponto de medição, considerando agora a influência da blindagem. O valor encontrado foi de 0.00000123 A/mm.

Assim determinamos a eficiência da blindagem, que neste caso foi de 75,6 dB. Verificamos que nesta situação a eficiência da blindagem foi bem superior aos valores encontrados anteriormente, o que era de se esperar, devido a melhoria na arquitetura da blindagem. As figuras a seguir ilustram a distribuição do campo magnético com e sem a blindagem.

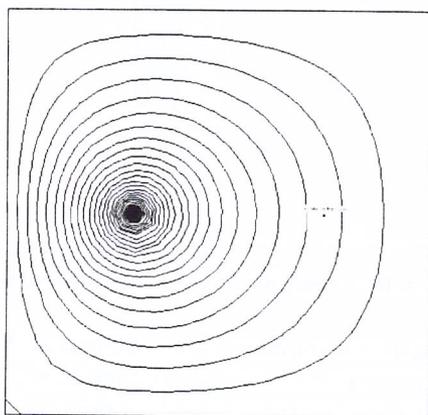


Fig. 11 - Distribuição do campo magnético sem a blindagem.

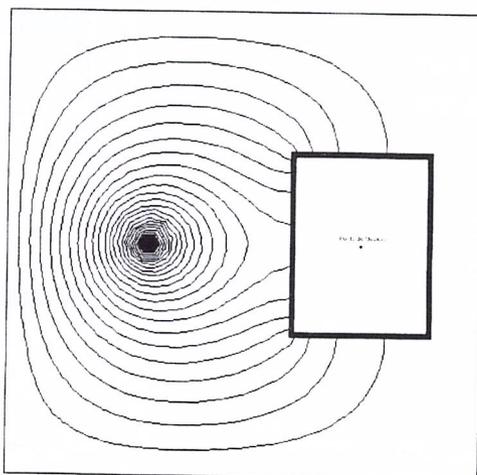


Fig. 12 - Distribuição do campo magnético com a blindagem.

A fim de ilustrar o efeito das aberturas na eficiência das blindagens, vamos considerar a mesma situação anterior, no entanto não mais admitindo a blindagem como uma caixa totalmente fechada, como ilustra a figura abaixo.

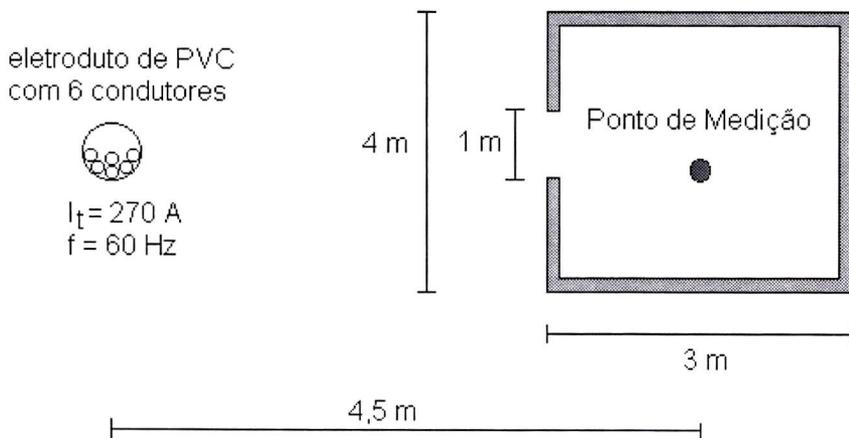


Fig. 13 - Domínio de estudo com blindagem com abertura.

Para esta situação, o campo determinado no ponto de medição foi de 0.0000178 A/mm de forma que a eficiência da blindagem caiu para 52,4 dB.

As figuras a seguir ilustram a distribuição do campo magnético com e sem a blindagem.

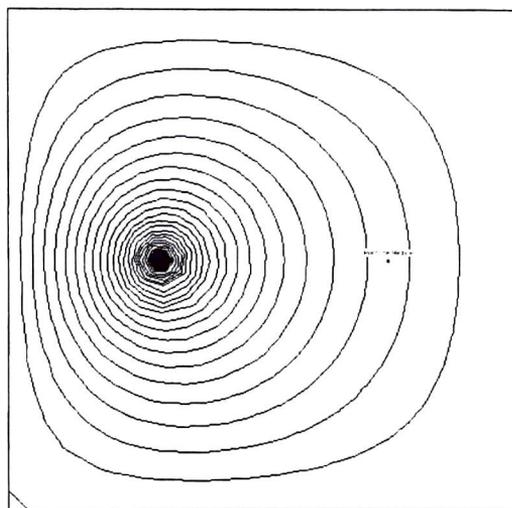


Fig. 14 - Distribuição do campo magnético sem a blindagem.

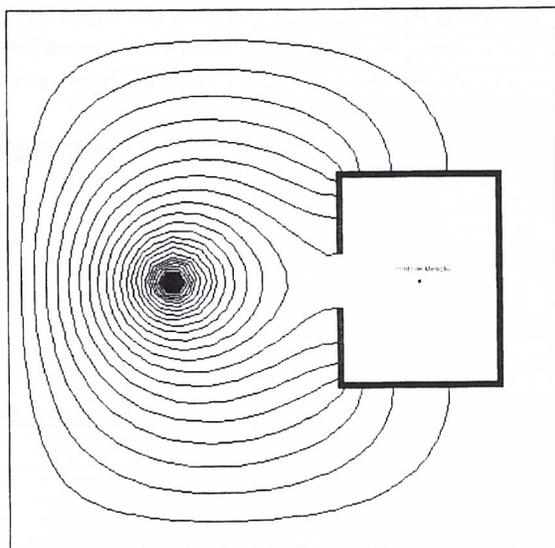


Fig. 15 - Distribuição do campo magnético com a blindagem.

CONCLUSÃO

Atualmente, o ambiente no qual vivemos apresenta uma elevada quantidade de sinais eletromagnéticos numa ampla faixa de frequências, os quais se tornam fontes de interferências, cujos efeitos indesejáveis notamos em nosso dia-a-dia. Uma maneira de se amenizar ou até mesmo eliminar tais efeitos é através do uso de blindagens eletromagnéticas.

Neste trabalho, é apresentado um resumo sobre os conceitos necessários ao entendimento do princípio de funcionamento da blindagens contra campos eletromagnéticos. São apresentados também resultados obtidos a partir de estudos de casos, realizados utilizando-se uma implementação computacional do Método de Elementos Finitos, que demonstra a eficácia desta técnica numérica no estudo das blindagens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CLAYTON, Paul, R. *Introduction to electromagnetic compatibility*, Wiley-Interscience Publication, 1991.
- [2] OTT, W. Henry. *Noise reduction techniques in electronic systems*, 2 ed. Edition, Wiley-Interscience Publication.

- [3] HASSELGREN, Lennart & LUOMI, Jorna. *Geometrical aspects of magnetic shielding at extremely low frequencies*, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.37, No. 03, august, 1995, pp. 409-420.
- [4] MARTINS, Marcelo Costa Vasconcellos. *Blindagens contra EMI*, Revista Eletricidade Moderna, março/1996, pp. 149-151.
- [5] HEMMING, Leland H. *Architectural electromagnetic shielding handbook - A Design and Specification Guide*, IEEE PRESS.
- [6] CRISTEA, N. I. *Compatibilidad Electromagnetica - La influencia del campo electromagnetico sobre los organismos biológicos y los equipos electricos y electrónicos*, Electrotécnica, No. 06, Buenos Aires, 1990.
- [7] IRPA - *Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields*, Health Physics, No. 58, pp. 113-122, 1990.
- [8] COCORAN, R. P. *Extremely low frequency exposure limits relative to military electrical/electronic system environments*. IEEE International Symposium on EMC, Symposium Records, pg.62, California, 1992.
- [9] KAUNE, W. T. & ZAFFARELA, L. E.; *Analysis of magnetic fields produced far from electric power lines*, IEEE Transactions on Power Delivery, No. 4, vol.07, pp. 2082-2091, 1992.
- [10] SÁINZ, F. Mola & ECHEANDIA, J. M. Soroa. *Problemas de campos magnéticos de baixa frequência gerados por subestações*, Revista Eletricidade Moderna, No. 264, pp. 112-116, 1996.
- [11] JUHA, Tikkanen, ESA, Virtanen & PAULI, Vanhala. *Campos magnéticos causados por postos de transformação internos*, Revista Eletricidade Moderna, No. 265, pp. 118-128, 1996.
- [12] CRISTEA, N. I.; *Influência do campo eletromagnético sobre o organismo humano*, VII Encontro Argentino-Brasileiro do Setor Energetico, Foz do Iguaçu, abril/1994.