



APLICAÇÃO DE UM NÚCLEO MAGNÉTICO PLANAR EM REATORES ELETRÔNICOS PARA LÂMPADAS FLUORESCENTES

Cláudio Luís Ebert¹, Paulo Ricardo Rangel²

Resumo: Este artigo tem como objetivo principal apresentar o uso de um núcleo magnético planar em um reator eletrônico para lâmpadas fluorescentes, mostrando a diferença na estrutura geométrica e algumas características elétricas tais como a indutância de dispersão e as capacitâncias parasitas. Foram realizados testes elétricos e de EMI. Os resultados obtidos demonstraram redução na indutância de dispersão, no valor das capacitâncias entre enrolamentos e, principalmente, na altura do componente. No teste de EMI, percebeu-se que ora o indutor original apresenta nível menor de EMI, ora o indutor planar, entretanto, em ambas as situações, as normas específicas não foram respeitadas pelos elementos. Concluiu-se, baseado nos resultados obtidos que a tecnologia de elementos planares é promissora.

Palavras-chave: Núcleo magnético planar. Reator eletrônico. EMI.

Abstract: *This paper has as main objective to present the use of planar magnetic core in electronic ballasts for fluorescent lamps, showing the difference in the geometric structure and some electrical characteristics such as leakage inductances and parasitic capacitance. Electrical and EMI tests were performed. The results showed a reduction in the leakage inductance, in the value of parasitic capacitance between windings and, especially, at the height of the component. The EMI test showed that sometimes the original inductor had less degree of EMI, sometimes the planar inductor, however, in both cases, specific standards were not met by the elements. It was concluded, based on the results, that the technology of planar elements is promising.*

Keywords: *Planar core. Electronic ballast. EMI.*

¹ Professor do DAELN, campus Florianópolis do IF-SC <ebert@ifsc.edu.br>.

² Professor do DAELN, campus Florianópolis do IF-SC <prangel@ifsc.edu.br>.

1. INTRODUÇÃO

As técnicas tradicionais de construção de transformadores e de outros elementos magnéticos vêm sendo usadas por muito tempo, porém com algumas desvantagens frente às técnicas de elementos planares.

Os elementos magnéticos planares são dispositivos que recentemente estão sendo empregados em conversores estáticos de energia com grande aceitação devido a uma melhor performance, quando comparado a um elemento magnético convencional. Algumas vantagens no uso dos elementos planares são apresentadas abaixo:

- estruturas com baixo perfil apresentam maior eficiência volumétrica e alta densidade de potência para certas aplicações;

- aumento da área da perna central do núcleo, possibilitando uma redução no número de espiras.
- baixa indutância de dispersão devido à facilidade no intercalamento de camadas e à quantidade reduzida de espiras, diminuindo, assim, os picos de tensão e oscilações que podem destruir alguns elementos semicondutores;
- maior eficiência de conversão devido ao melhor acoplamento magnético;
- melhor controle térmico, pois apresenta uma maior relação área/volume, ou seja, há mais superfície de contato como um dissipador de calor, reduzindo, assim, a resistência térmica

Outro fator que faz com que os elementos magnéticos planares tenham um mercado

promissor, é a característica geométrica destes elementos; devido ao seu baixo perfil, eles são ideais para aplicações em que uma altura mínima é desejada. Como exemplo, podem-se citar fontes de alimentação para computadores portáteis, centrais telefônicas e reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes.

A diferença básica entre um elemento magnético planar de um convencional é a orientação dos enrolamentos, que, conseqüentemente, faz com que a estrutura do núcleo tenha um perfil mais baixo que o convencional, conforme ilustrado pela Figura 1.

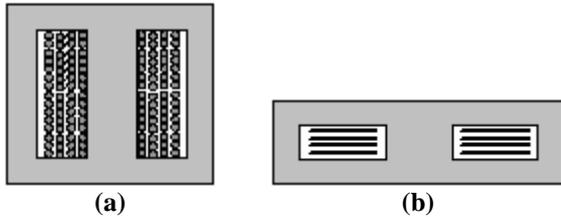


FIGURA 1 – Elemento magnético (a) convencional e (b) planar.

Observando um reator eletrônico para lâmpadas fluorescentes, percebe-se que os elementos mais volumosos e com maior altura são os componentes magnéticos. Se estes tivessem sua altura reduzida, provavelmente os reatores poderiam ser menores, e conseqüentemente, o lugar onde ficam também poderia ser reduzido.

Assim sendo, resolveu-se substituir o indutor de entrada de um reator eletrônico, que é construído com núcleo convencional, por um indutor com um núcleo planar, em que foram efetuadas medidas de indutâncias próprias, indutâncias de dispersão e capacitâncias parasitas, que então foram comparadas com as mesmas medidas feitas no indutor original.

2. NÚCLEOS PLANARES

2.1. Forma geométrica

Os núcleos planares mais conhecidos e utilizados são compostos pela combinação EE ou EI, mas outros tipos de núcleos planares também podem ser encontrados, como é mostrado na Figura 2.

Devido ao fato de a perna central dos núcleos E ser retangular, o comprimento de uma espira é maior que em outros tipos de núcleos. Além disso, uma parte do enrolamento não fica confinada no núcleo, permitindo uma EMI. Porém, esse núcleo, devido a sua geometria, é mais fácil de ser fabricado, tornando-se mais barato.

Núcleos como o RM, ER, PQ, etc. apresentam um espaçamento para o enrolamento (b_w) maior, que permite aumentar a largura das trilhas, além de permitirem uma espira mais curta, o que faz com

que as perdas no cobre e a indutância de dispersão sejam menores. Nesses tipos de núcleos tem-se o confinamento do enrolamento, diminuindo, assim, a EMI.

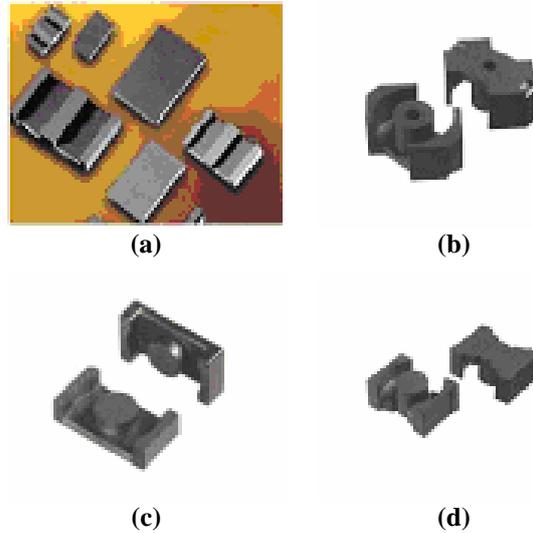


FIGURA 2 – Núcleos (a) E-E e E-I, (b) núcleo RM, (c) núcleo ER e (d) núcleo PQ.

Fonte: FERROXCUBE, 2002.

As diferenças geométricas entre os núcleos com perna central circular e retangular estão ilustradas na Figura 3.

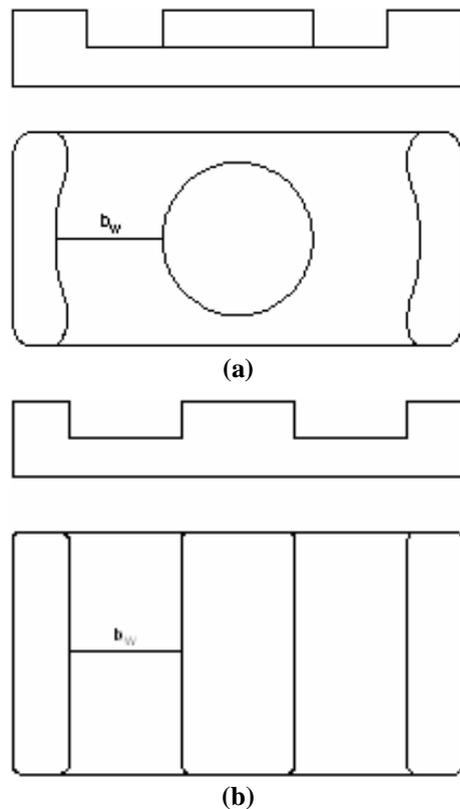


FIGURA 3 – (a) núcleo com perna central circular e (b) núcleo com perna central retangular.

2.2. Material do núcleo

O tipo de material magnético utilizado na fabricação de núcleos planares é muito importante, pois ele influencia diretamente no seu funcionamento e no custo de produção.

Algumas características do material devem ser observadas com muito cuidado antes de começar o projeto do elemento magnético. Por exemplo, a resistência elétrica deve ser alta, para que não haja correntes circulantes; deve-se observar a faixa de frequência em que o material pode operar; a máxima densidade de fluxo magnético; a permeabilidade magnética, que também deve ser alta para facilitar o caminho do fluxo; entre outros.

Todas essas características culminam em uma grandeza fundamental para o projeto de elementos magnéticos, que é a perda magnética, ou seja, é a potência dissipada no núcleo magnético.

Nos elementos magnéticos planares para uso em alta frequência, utilizam-se os materiais ferrimagnéticos, ou ferrites, que são materiais cerâmicos magnéticos de alta resistividade, compostos de óxido de ferro como, por exemplo, $MnFe_2O_4$ e $NiFe_2O_4$.

3. USO DO NÚCLEO PLANAR NO REATOR ELETRÔNICO

3.1. Medidas de tensão e corrente

O indutor de entrada de um reator eletrônico é dividido em dois enrolamentos, um deles está ligado em série com a fase, e o outro, em série com o neutro; ambos os indutores utilizam o mesmo núcleo.

Medições de tensão, corrente e frequência foram feitas em ambas as partes do indutor convencional, com o intuito de obter os parâmetros necessários para o projeto do indutor planar.

As Figuras 4 e 5 mostram os sinais de tensão e corrente no indutor ligado ao neutro.

Percebe-se que há oscilação da corrente e tensão na frequência de 60 Hz, mas há também uma oscilação na frequência de chaveamento do inversor, cujo comando é auto-oscilante.

Na Figura 5 é mostrada em detalhe a oscilação do sinal de tensão e corrente devido ao chaveamento.

As mesmas medições foram feitas para o indutor de fase, e os valores que interessam para o projeto são mostrados na Tabela 1.

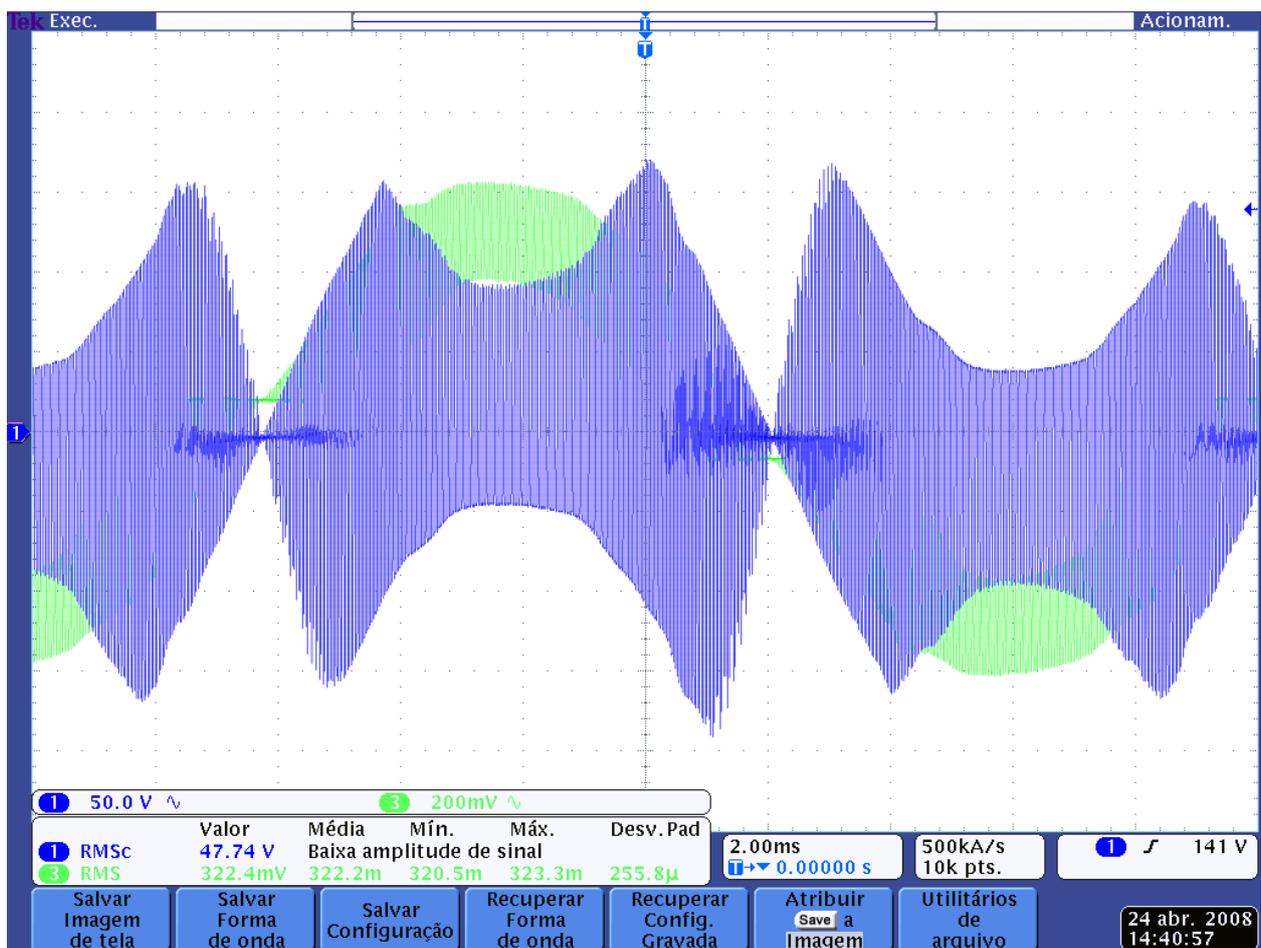


FIGURA 4 – Tensão e corrente no indutor de neutro.

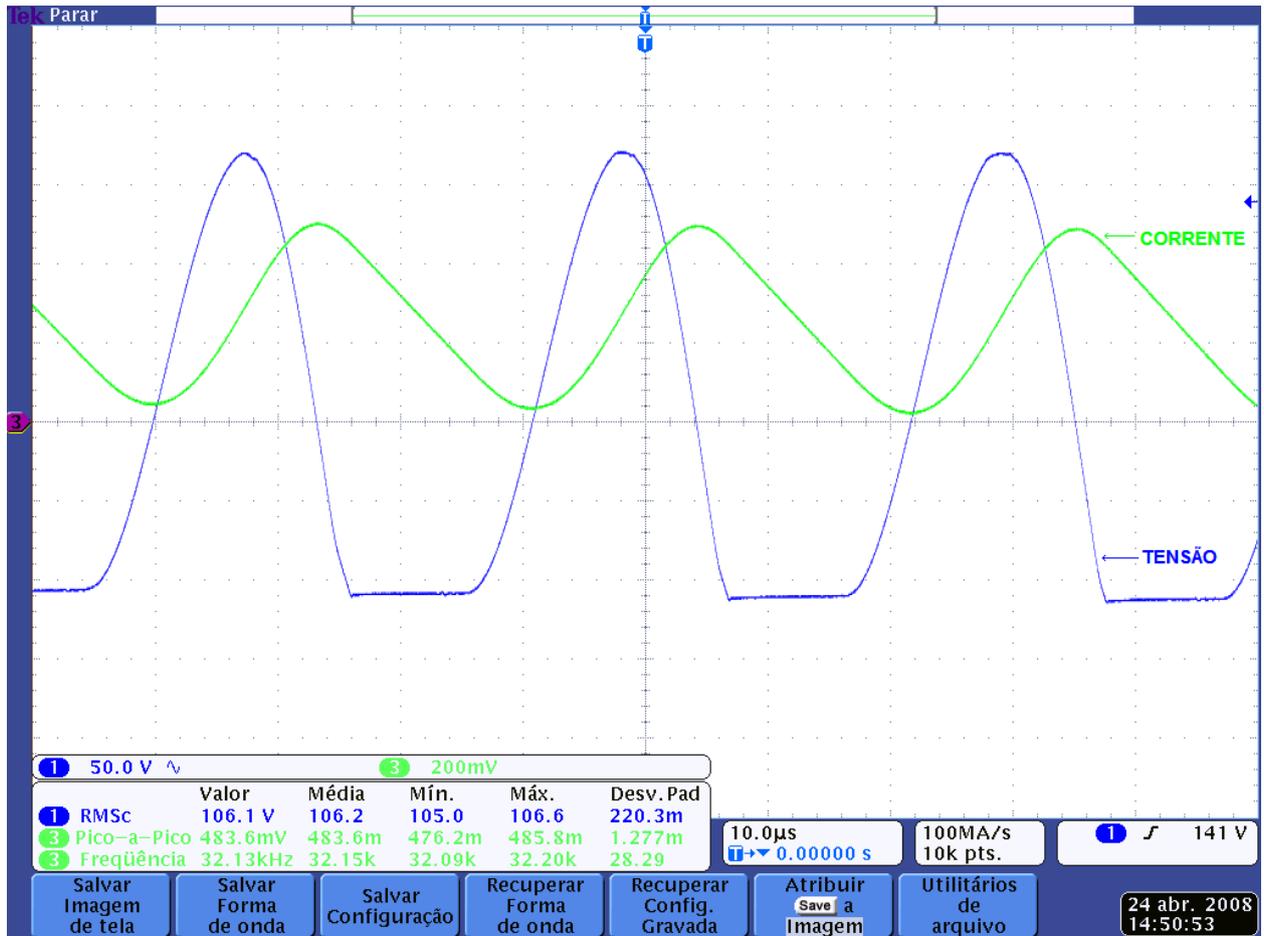


FIGURA 5 – Detalhe da tensão e corrente no indutor de neutro.

TABELA 1 – Valores obtidos nas medições feitas com o indutor.

	Indutor de neutro (L_1)	Indutor de fase (L_2)
Indutância	2.594,45 μ H	218,408 μ H
Tensão eficaz	47,74 V	13,69 V
Corrente eficaz	322,4 mA	322,4 mA
Corrente de pico a pico da oscilação na frequência de chaveamento	483,6 mA	503 mA

Após essas medições, o indutor foi retirado do circuito e os seus valores de indutâncias foram medidos com o analisador de impedâncias.

3.2. Parâmetros para o projeto

A partir dos valores levantados, e com o auxílio de um programa desenvolvido para projeto, obtiveram-se os dados para a confecção do indutor planar, cujos parâmetros são mostrados na Tabela 2.

Na Figura 6, é mostrado o reator eletrônico, onde foi colocado o indutor planar.

TABELA 2 – Parâmetros para a construção do indutor planar.

Núcleo	E-E22[3]
Número de espiras em L_1	98
Número de espiras em L_2	27
Entreferro (μ m)	72
Condutor cilíndrico (AWG)	30

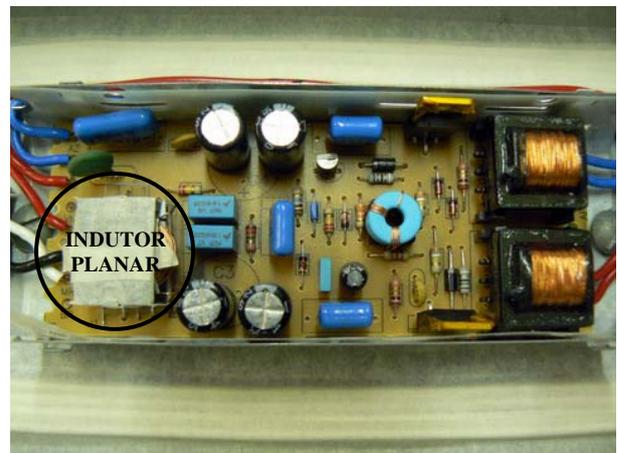


FIGURA 6 – Reator eletrônico com o indutor planar.

Devido à grande quantidade de espiras necessárias para o indutor atingir o valor desejado,

foi preciso construir o enrolamento com condutores cilíndricos. O ideal seria usar um enrolamento feito com placas de circuito impresso multicamadas, ou então, com placas flexíveis, onde esta quantidade de espiras pode ser alcançada. Mas, infelizmente, não se dispunha destas tecnologias.

3.3. Comparação visual das características geométricas

A diferença, em termos geométricos, entre os indutores construídos com a tecnologia convencional e planar, pode ser observada nas Figuras 7(a) e 7(b), onde se tem a vista frontal e a vista superior destes elementos.

Nas fotos, pode-se observar visualmente a diferença existente entre os tamanhos desses dois elementos.

A diferença entre os dois elementos também pode ser observada nas Figuras 8(a) e 8(b), onde se tem a fotografia destes elementos colocados no reator eletrônico.

Nesse caso, se, além do indutor, os outros componentes fossem substituídos por componentes

de baixo perfil, o reator poderia ter sua altura reduzida.

4. COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS ENTRE OS DOIS INDUTORES

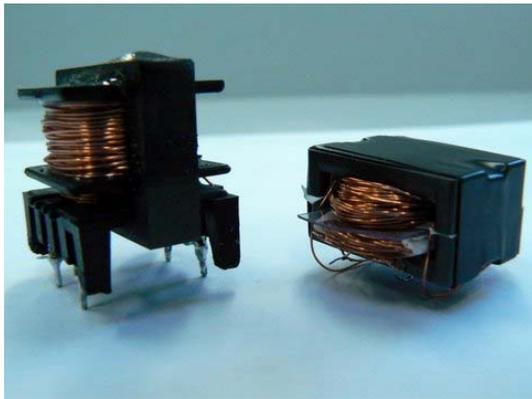
Além da diferença geométrica, outros fatores foram avaliados, tais como, indutâncias próprias e de dispersão, capacitância entre enrolamentos e interferência eletromagnética.

4.1. Indutância própria

Com o auxílio do analisador de impedâncias, mediram-se os valores de indutância em uma faixa de frequências de 40 Hz a 110 MHz, dos dois indutores que foram montados sob mesmo núcleo.

Para o indutor L_1 , que é colocado em série com o neutro, tem-se os valores de indutância mostrados na Figura 9, tanto para o convencional quanto para o planar.

Para o indutor L_2 , que é o indutor colocado em série com a fase, tem-se os valores de indutância mostrados na Figura 10.

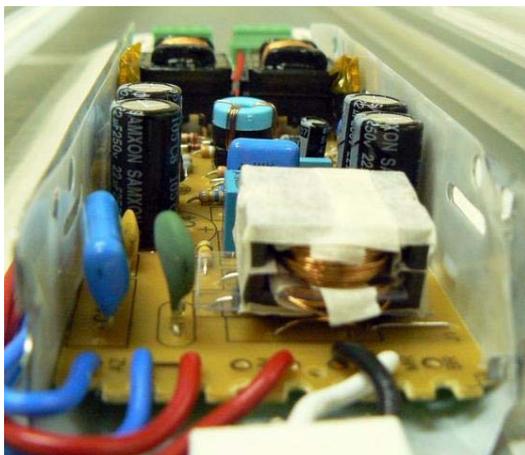


(a)

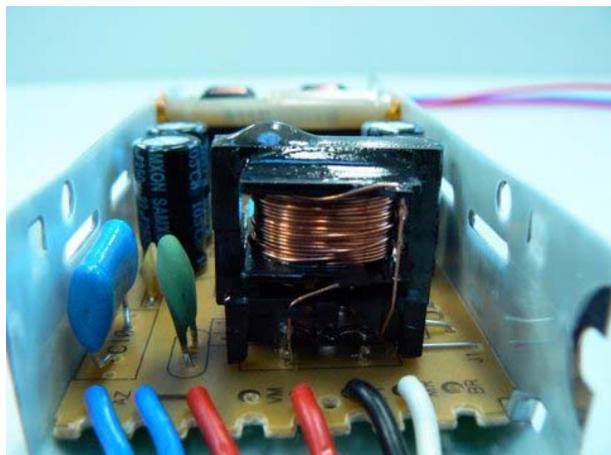


(b)

FIGURA 7 – Vista (a) frontal e (b) superior do indutor convencional e planar, respectivamente.



(a)



(b)

FIGURA 8 – Vista Reator com (a) indutor planar e (b) indutor convencional.

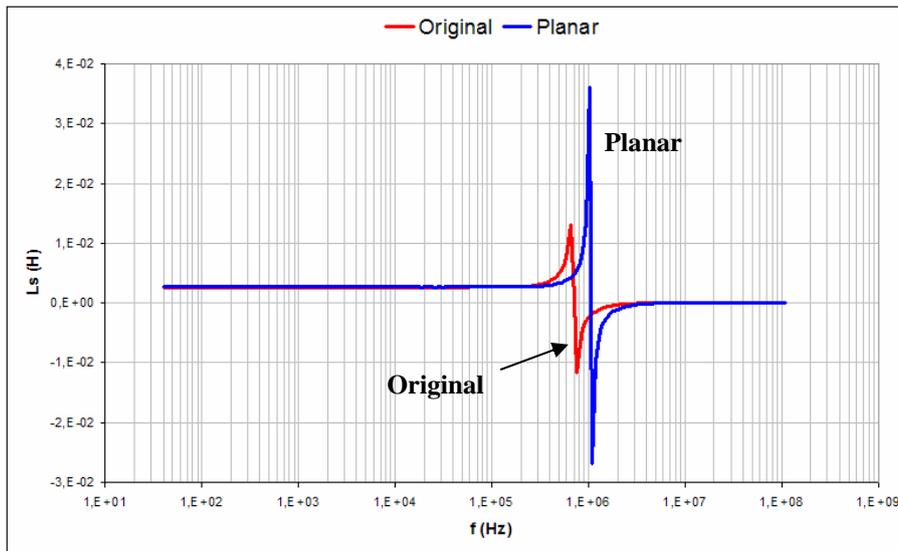


FIGURA 9 – Indutância própria do indutor L_1 .

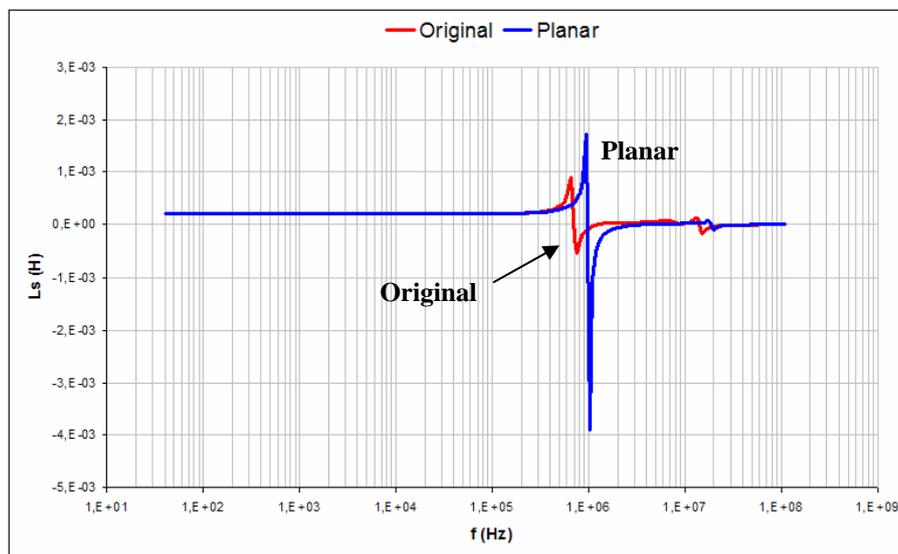


FIGURA 10 – Indutância própria do indutor L_2 .

Dos resultados obtidos, percebe-se que as indutâncias próprias medidas com o indutor convencional e com o planar são praticamente iguais; uma diferença é percebida no valor da frequência e no valor da indutância, onde ocorre a ressonância. Como os reatores não trabalham na frequência em torno de 1 MHz, essa diferença não é considerada relevante.

A igualdade entre os valores dos dois elementos demonstra que a metodologia adotada para projeto é válida.

4.2. Indutância de dispersão

Também foram medidas as indutâncias de dispersão para os dois enrolamentos, L_1 e L_2 . Os resultados são mostrados nas Figuras 11 e 12.

4.3. Capacitância entre enrolamentos

Como havia dois enrolamentos colocados em um mesmo núcleo, mediu-se também a capacitância entre eles.

Na Figura 13, pode ser observado que a capacitância entre enrolamento para o indutor planar tem um valor menor que no indutor convencional. Essa diferença no valor da capacitância acontece porque o número de espiras necessárias no elemento planar é menor.

4.4. Valores medidos nos indutores para uma frequência específica

Na Tabela 3, têm-se os valores da indutância própria, indutância de dispersão, resistência do enrolamento e capacitância entre enrolamentos, medidos na frequência de operação do reator, aproximadamente 32 kHz.

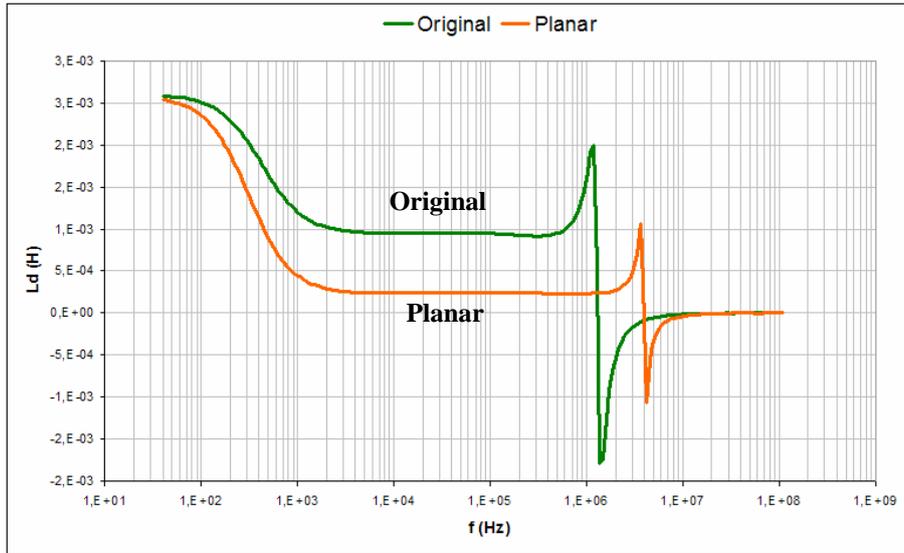


FIGURA 11 – Indutância de dispersão no indutor L_1 .

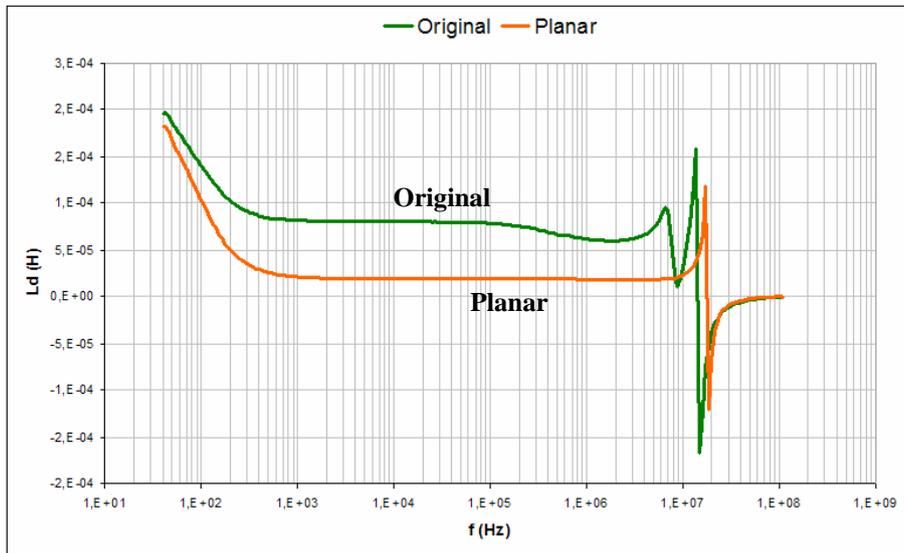


FIGURA 12 – Indutância de dispersão no indutor L_2 .

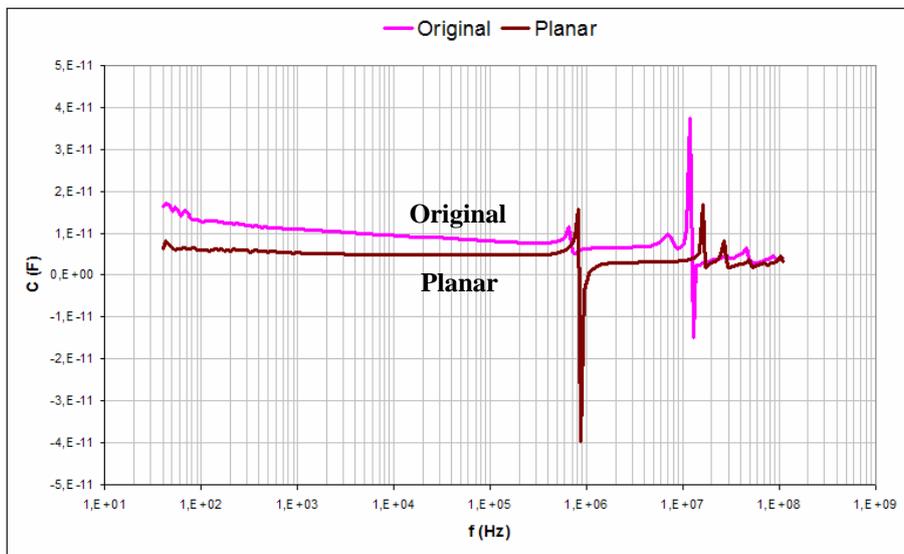


FIGURA 13 – Capacitância entre os enrolamentos do indutor L_1 e L_2 .

TABELA 3 – Valores medidos nos indutores convencional e planar.

Parâmetro medido	Indutor convencional	Indutor planar
Indutância própria L_1 (μH)	2.594,45	2.604,10
Indutância própria L_2 (μH)	218,40	221,48
Indutância dispersão L_1 (μH)	950,43	236,33
Indutância dispersão L_2 (μH)	79,94	20,06
Resistência L_1 (Ω)	6,45	2,07
Resistência L_2 (Ω)	0,98	0,50
Capacitância entre L_1 e L_2 (pF)	8,83	4,85

- Equipamento utilizado: AGILENT 4294A (Precision Impedance Analyser).
- Banda de frequência: 40 Hz a 110 MHz.
- 201 pontos.
- Frequência na qual os valores foram medidos: 32,68 kHz.

4.5. Avaliação da Interferência Eletromagnética (EMI) Conduzida

Os ensaios de EMI foram realizados no MagLab – Laboratório de Eletromagnetismo e Compatibilidade Eletromagnética, do Departamento de Engenharia Elétrica (EEL), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os equipamentos necessários e os métodos e configurações de ensaio de interferência eletromagnética, estão de acordo com a norma internacional CISPR 16-1 (IEC, 1993).

A Figura 14 mostra a configuração básica para o teste de um reator eletrônico para lâmpadas tubulares de suporte duplo. Nela, podem ser observados os planos de referência vertical e horizontal de 2 m x 2 m cada, a mesa de material isolante (madeira) e sem componentes metálicos, o receptor de campos (*Receiver*) e o microcomputador com o *software* de teste. Todos esses elementos são requisitos da norma CISPR 16-1 (IEC, 1993). Também pode ser observada a luminária de referência sobre a mesa, contendo duas lâmpadas de 40 W e onde é fixado o reator sob teste.

Os limites de emissão conduzida nos terminais de alimentação configurados no software ESPC-K1 são os da CISPR 15 (IEC, 2005). Devido a limitações do *software*, a faixa de frequências foi dividida em duas partes: a primeira entre 9 kHz e 150 kHz e a segunda entre 150 kHz e 30 MHz.



FIGURA 14 – Configuração de teste de EMI conduzida para reator eletrônico.

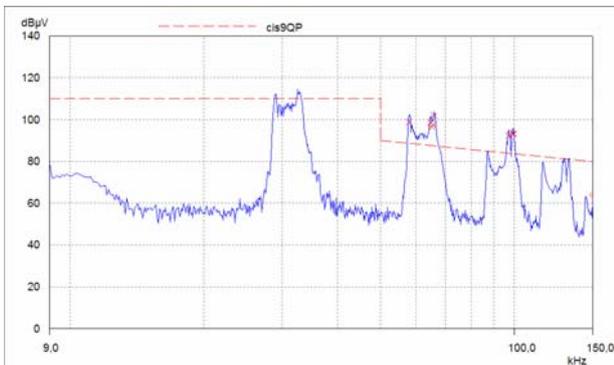
Os resultados dos testes no reator eletrônico são mostrados nas Figuras 15 e 16.

Para o restante das frequências, ora o indutor original apresenta nível menor de EMI, ora o indutor planar. Cabe salientar que, em ambos os casos, a norma não está sendo respeitada.

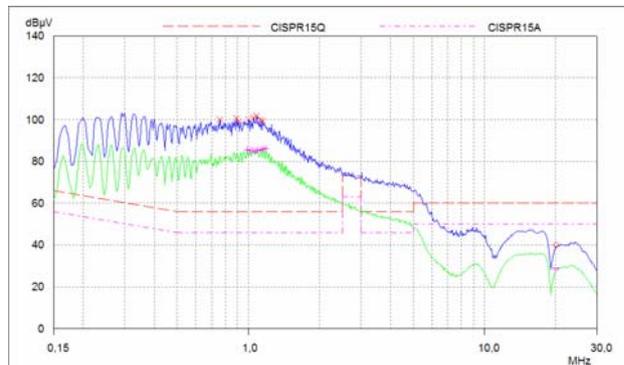
5. CONCLUSÃO

Este trabalho abordou o uso de um núcleo planar na confecção de um indutor, aplicado em um reator eletrônico para lâmpadas fluorescentes.

O objetivo era melhorar as características deste indutor no que diz respeito à indutância de dispersão, capacitância parasita e volume.



(a)



(b)

FIGURA 15 – EMI conduzida (a) na faixa de 9 kHz a 150 kHz e (b) na faixa de 150 kHz a 30 MHz, para o reator feito com indutor original de núcleo convencional.

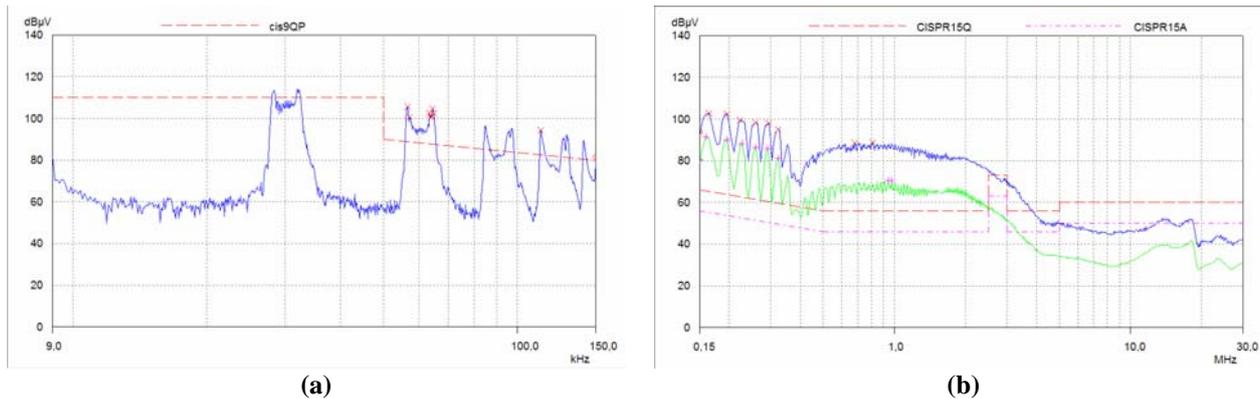


FIGURA 16 – EMI conduzida (a) na faixa de 9 kHz a 150 kHz e (b) na faixa de 150 kHz a 30 MHz, para o reator feito com indutor modificado de núcleo planar.

Os resultados obtidos mostraram uma redução na indutância de dispersão, no valor das capacitâncias entre enrolamentos e, principalmente, na altura do componente, concluindo, dessa forma, que a tecnologia de elementos planares é promissora.

REFERÊNCIAS

AGILENT. **4294A precision impedance analyzer operation manual**. Manual técnico.

DIXON, L. **Designing planar magnetics**. Power Supply Design Seminar, Texas Instruments. 2006-2007.

EBERT, C. L.; CARPES Jr., W. P.; FAGUNDES, J. C. **Software for the design of planar magnetic device**. In: ICEM'08 - Proceedings of the International Conference on Electrical Machines – Anais. Vilamoura, Algarve, Portugal, 2008.

_____. **Projeto de indutores e transformadores planares utilizados em fontes de alimentação chaveadas**. In: INDUSCON'08 - Conferência Internacional das Aplicações Industriais - Anais. Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil, 2008.

FERROXCUBE. **Soft ferrite design tools**, Help. 2002.

IEC. **CISPR 16-1 - Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus**, Geneva, 1993.

_____. **CISPR 15 - Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment**, Geneva, 2005.