

---

# REATOR ELETRÔNICO AUTO-OSCILANTE COM ALTO FATOR DE POTÊNCIA PARA ALIMENTAÇÃO DE QUATRO LÂMPADAS FLUORESCENTES INDEPENDENTES

**Marco A. Dalla Costa\***  
marcodc@ieee.org

**Ricardo N. Do Prado\***  
rnprado@ieee.org

\*Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Reatores Eletrônicos  
Universidade Federal de Santa Maria  
CEP 97105-900 - Santa Maria – RS

---

## ABSTRACT

This paper describes a self-oscillating electronic ballast, having fixed switching frequency, to supply four independent fluorescent lamps, with high power factor. To provide the power factor correction it was studied the modifications of the valley-fill filter, presented in the literature, choosing one that meets the IEC 61000-3-2 Class C requirements, about the input current distortion. To drive the switches it was proposed a modification at the conventional self-oscillating driver, novel in the literature, making it independent on the load of the ballast. So, it is built up the prototype and showed the experimental results.

**KEYWORDS:** Self-oscillating driver, valley-fill filter, high power factor, and multi-lamp operation.

## RESUMO

Este artigo descreve um reator eletrônico auto-oscilante, com frequência de operação fixa, para alimentar quatro lâmpadas fluorescentes independentes, com alto fator de potência. Para a correção do fator de potência foram estudadas várias modificações do filtro valley-fill, existentes na literatura, selecionando uma que atendesse à norma internacional IEC

61000-3-2 quanto à distorção harmônica da corrente de entrada. Para o acionamento dos interruptores foi desenvolvida uma modificação do comando auto-oscilante, inédita na literatura, tornando-o independente da carga. Deste modo, foi montado o protótipo e feitas as aquisições experimentais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Comando auto-oscilante, filtro valley-fill, alto fator de potência e operação multi-lâmpadas.

## 1 INTRODUÇÃO

Reatores eletrônicos alimentando lâmpadas fluorescentes estão sendo cada vez mais utilizados, devido a suas vantagens em relação aos eletromagnéticos: menores peso e volume, ausência de ruído audível e cintilamento, melhor rendimento e aumento da vida útil da lâmpada, segundo Hammer (1987).

Os principais pontos a serem levados em conta na confecção de reatores eletrônicos são o custo (para que o produto seja competitivo no mercado) e também as normas reguladoras para este tipo de circuito eletrônico. Segundo a norma brasileira, reatores com potência superior a 60 W devem possuir correção do fator de potência (FP), atendendo aos limites impostos pela norma internacional IEC 61000-3-2 Class C, os quais são mostrados na Tabela 1, onde o limite é um valor percentual em relação à componente fundamental.

Normalmente, os métodos utilizados para correção do FP são ativos (por exemplo: conversores buck, boost, buck-boost, flyback, forward, sepic, cùk, entre outros), os quais possuem

---

Artigo submetido em 12/05/2004

1a. Revisão em 17/02/2005;

2a. Revisão em 24/05/2005;

Aceito sob recomendação do Ed. Assoc. Prof. José Antenor Pomilio

custo elevado e apresentam esforços de tensão ou corrente nos interruptores, de acordo com Lee (2001).

Tabela 1: A NORMA IEC 61000-3-2.

Harmônica	2	3	5	7	9	11 ≥ 39
Limite (%)	2	30xFP	10	7	5	3

Uma alternativa viável para resolver os problemas dos métodos supracitados é a utilização de um método passivo para correção do FP como, por exemplo, o filtro valley-fill (VF). O problema é que nem todas as configurações baseadas neste método, propostas na literatura, atendem à norma quanto à distorção harmônica da corrente de entrada, ou do fator de crista (FC) da corrente na lâmpada (relação entre a corrente de pico e a corrente eficaz), o qual é limitado em 1,7.

O comando dos interruptores pode ser realizado por meio de circuitos integrados (ex.: IR2155) ou pelo comando auto oscilante, sendo este o mais viável economicamente, o que é comprovado pela sua ampla utilização na indústria de reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes, segundo Prado (2001). A limitação deste comando é que sua frequência de operação depende da carga, o que restringe sua utilização.

Deste modo, este artigo está organizado da seguinte maneira: na seção 2 é apresentado um estudo das configurações propostas do filtro valley-fill; na seção 3 é proposta uma modificação do comando auto-oscilante, de modo a deixá-lo independente da carga do reator; na seção 4 são apresentados o protótipo do reator e os resultados experimentais; e na seção 5 são apresentadas as conclusões do trabalho.

## 2 ESTUDO COMPARATIVO DO FILTRO VALLEY-FILL (VF)

### 2.1 Princípio de Operação do Filtro VF

O curto intervalo de tempo em que o reator sem correção do FP exige corrente da rede é a principal causa de sua distorção harmônica, pois a carga do capacitor de barramento é feita sob a forma de picos de corrente. Esta forma de onda apresenta um elevado conteúdo harmônico, o que faz com que este reator esteja fora da norma.

O princípio básico do filtro valley-fill para correção do FP, é aumentar o intervalo de tempo em que o reator exige corrente da rede, deixando sua forma de onda mais próxima de uma senóide; conseqüentemente, diminuindo seu conteúdo harmônico. A desvantagem da utilização deste método é que a tensão retificada da rede terá uma filtragem parcial, o que resulta em uma ondulação na tensão de barramento ( $V_{DC}$ ) de cerca de 50%, significando um alto fator de crista (FC) da corrente da lâmpada. O filtro valley-fill básico e suas etapas

de operação são mostrados na Figura 1. As etapas de operação, apresentadas a seguir, representam um semi-ciclo da tensão da rede, porém o outro é idêntico, não necessitando ser representado.

**Etapa 1)** Nesta etapa o valor instantâneo da tensão da rede está em um valor menor que  $V_P/2$ , e somente os diodos  $D_5$  e  $D_7$  estão diretamente polarizados. Neste caso os capacitores de filtro ( $C_{f1}$  e  $C_{f2}$ ), em paralelo, estarão fornecendo energia à carga, decaindo seu valor de tensão de um valor  $\Delta V$ . Nota-se que, nesta etapa, a rede não está fornecendo corrente ao circuito.

**Etapa 2)** Assim que o valor instantâneo da tensão da rede ultrapassar o valor de  $V_P/2 - \Delta V$ , a rede passa a alimentar a carga diretamente, pois  $D_1$  e  $D_4$  ( $D_2$  e  $D_3$  no próximo semi-ciclo da tensão da rede) estarão diretamente polarizados. Nesta etapa a tensão de barramento terá a ondulação da tensão da rede.

**Etapa 3)** O diodo  $D_6$  começa a conduzir quando a tensão da rede atingir o valor de  $V_P - \Delta V$ . Nesta etapa, a rede, além de fornecer energia à carga, também carregará os capacitores eletrolíticos em série, o que exigirá um valor de corrente maior. A tensão de barramento permanece igual à tensão da rede.

**Etapa 4)** Quando a tensão da rede atingir seu valor de pico ( $V_P$ ) os capacitores de filtro ( $C_{f1}$  e  $C_{f2}$ ) carregar-se-ão com o valor de  $V_P/2$ , cada um, e esta etapa terá seu início. Quanto ao funcionamento, esta é idêntica à etapa 2. Esta etapa termina quando a tensão da rede atinge o valor de  $V_P/2$ , onde terá início novamente a etapa 1.

Para um melhor entendimento dos circuitos analisados, denomina-se a etapa 1 como “região de vale”; e “região direta” as etapas de operação 2, 3 e 4.

As formas de onda teóricas podem ser observadas na Figura 2, onde é mostrada a tensão de entrada do reator ( $V_{ent}$ ), corrente de entrada ( $I_{ent}$ ) e tensão de barramento ( $V_{DC}$ ). Todos os circuitos apresentados na literatura, a respeito de modificações do filtro VF, baseiam-se nas etapas de operação descritas acima.

### 2.2 Configurações Analisadas

Foram analisadas 9 modificações do filtro valley-fill, propostas na literatura. Esta análise foi realizada por meio de simulação, utilizando o modelo da lâmpada fluorescente desenvolvido por Prado (2002). O principal foco desta análise foi detectar quais destes circuitos realmente atendem a norma IEC 61000-3-2. Somente 3 destes atenderam à norma, sendo

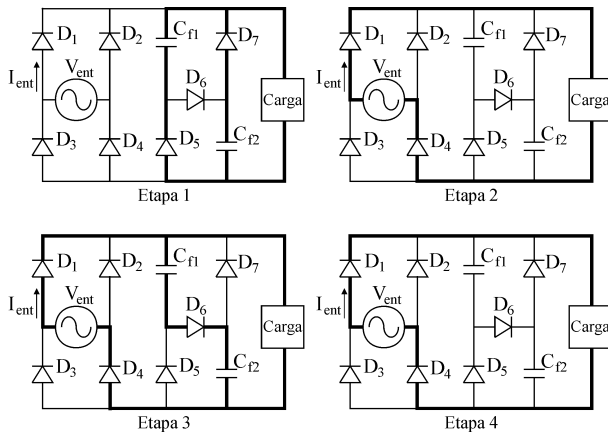


Figura 1: Etapas de operação do filtro VF convencional.

apresentados a seguir seus circuitos, princípio de funcionamento e resultados de simulação.

**Circuito 1)** Esta configuração, apresentada por Sum (2000), utiliza dois capacitores,  $C_1$  e  $C_2$ , para consumir um degrau de corrente durante a etapa 1, com carga controlada pelo resistor  $R_D$ . Há também a utilização de um resistor,  $R_V$ , para controlar a carga dos capacitores de filtro ( $C_{f1}$  e  $C_{f2}$ ). O circuito é mostrado na Figura 3.a.

**Circuito 2)** Apresentada por Konopka (1999), e mostrada na Figura 3.b, esta topologia utiliza um circuito de carga do capacitor de barramento, formado por  $C_2$ ,  $C_S$ ,  $D_6$  e  $D_7$ . Este circuito utiliza a corrente da lâmpada para fazer a carga do capacitor de barramento ( $C_{f1}$ ) e, também, previne a circulação de corrente contínua na lâmpada, devido ao caminho dado pelo diodo  $D_7$ . O aumento no tempo de condução da corrente de linha, que é o princípio da correção do FP, acarreta uma elevação da ondulação da tensão de barramento, deteriorando o FC do reator.

**Circuito 3)** Este circuito é apresentado por Chae (1998), e mostrado na Figura 3.c. O circuito é composto pelos capacitores  $C_{p1}$  e  $C_{p2}$ , denominados “charge-pumping”. Do mesmo modo que no filtro VF convencional, tem-se a região direta e a região de vale. Na região direta, a corrente do inversor é fornecida pela rede e se considera que a corrente da carga e descarga de  $C_{p1}$  e  $C_{p2}$  não influencia na corrente de linha, por ter uma magnitude bem inferior. Na região de vale, os capacitores  $C_{p1}$  e  $C_{p2}$  drenam corrente da rede a medida em que a tensão do inversor, conectada a eles, varia. Deste modo, esta corrente preenche o intervalo de descontinuidade (etapa 1) do filtro VF convencional, melhorando o resultado de distorção harmônica total (DHT) do reator sem comprometer o FC. A adição do capacitor  $C_{f3}$  diminui a

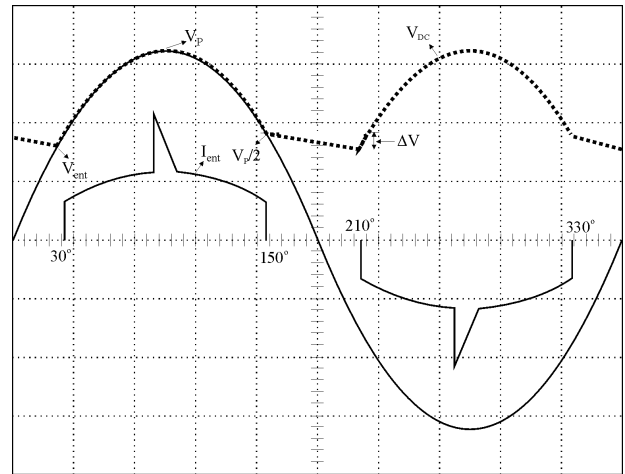


Figura 2: Etapas de operação do filtro VF convencional.

ondulação da tensão de barramento, corrigindo assim o FC da corrente nas lâmpadas.

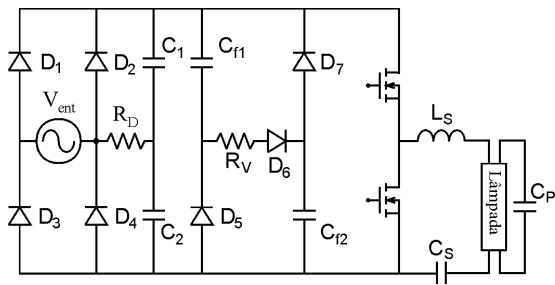
Os resultados de simulação dos circuitos analisados são mostrados na seção 2.3.

## 2.3 Resultados de Simulação dos Circuitos Valley-Fill

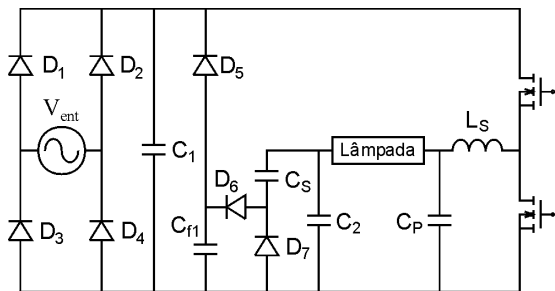
Para visualizar o desempenho dos circuitos simulados, são apresentadas as formas de onda de simulação da tensão e corrente de entrada ( $V_{ent}$  e  $I_{ent}$ ), assim como a tensão de barramento ( $V_{DC}$ ), para o reator alimentando as 4 lâmpadas, na Figura 4.

Através dos resultados de simulação dos circuitos que atenderam a norma IEC 61000-3-2, pode-se concluir o seguinte:

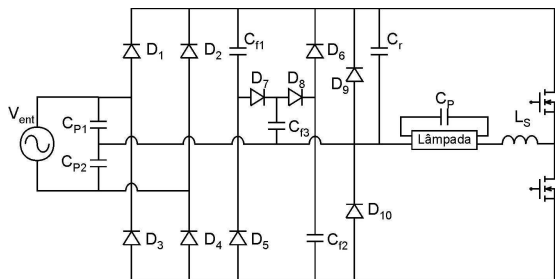
- Quanto ao circuito 1, o fator de crista da corrente nas lâmpadas é alto (cerca de 2) e a perda nos resistores também é alta (5 W para 4 lâmpadas ligadas), além de ser o circuito que possui o maior custo dentre os analisados. A análise de custo está baseada em Braga (2000).
- O circuito 2 não utiliza componentes dissipativos em seu princípio, tendo rendimento melhor que o anterior. No entanto, apresentou o pior resultado quanto ao fator de crista (2,2).
- O circuito 3 apresentou os melhores resultados quanto à distorção harmônica da corrente de entrada, não apresenta componentes dissipativos no seu funcionamento e apresenta possibilidade de correção do fator de crista sem a utilização de circuitos auxiliares. Sendo assim,



(a)



(b)



(c)

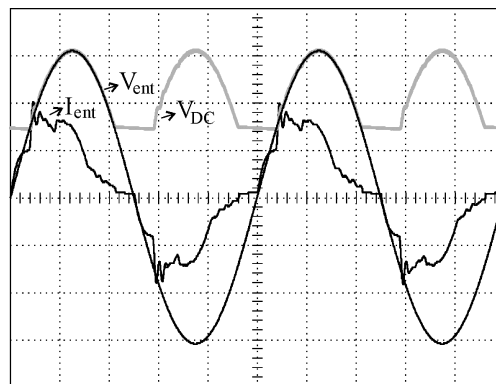
Figura 3: Configurações do filtro valley-fill analisadas.

este foi o circuito escolhido para confecção do reator proposto neste artigo.

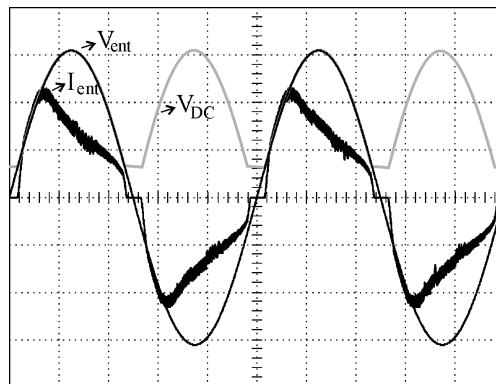
### 3 O COMANDO AUTO-OSCILANTE PROPOSTO

O comando auto-oscilante é um circuito amplamente utilizado na indústria, devido a suas características: baixo custo e confiabilidade. No entanto, sua utilização está limitada a reatores que alimentam apenas uma lâmpada, pois a frequência de operação é dependente da carga de saída.

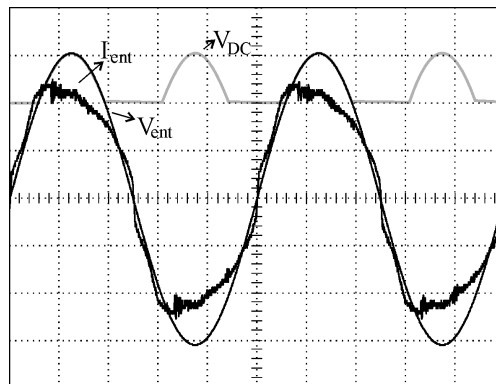
O reator eletrônico auto-oscilante convencional, sem corre-



(a) Circuito 1 - tensão e corrente de entrada e tensão de barramento (100 V/div; 500 mA/div; 100 V/div).



(b) Circuito 2 - tensão e corrente de entrada e tensão de barramento (100 V/div; 500 mA/div; 100 V/div).



(c) Circuito 3 - tensão e corrente de entrada e tensão de barramento (100 V/div; 500 mA/div; 100 V/div).

Figura 4: Configurações do filtro valley-fill analisadas.

ção do FP, pode ser visto na Figura 5. Observa-se que o enrolamento primário do transformador auto-oscilante ( $L_P$ ) está em série com o filtro de saída. Assim, se for adicionado outro filtro de saída entre os pontos A e B, a corrente em  $L_P$  sofrerá um acréscimo, modificando a frequência de comutação do reator e a potência nas lâmpadas, conseqüentemente.

Deste modo, a idéia proposta para tornar o comando auto-oscilante independente da carga é adicionar um filtro de saída ao reator com uma resistência de valor fixo ao invés de uma das lâmpadas. Assim, pode-se adicionar vários filtros de saída e lâmpada ao inversor, que a frequência de operação não sofrerá modificação. As únicas modificações, em relação ao circuito convencional, são:

- Em relação ao projeto dos componentes do circuito. Isto porque, é imprescindível que se dissipe uma pequena potência no resistor em questão, de modo a não comprometer o rendimento do reator.
- Em relação ao filtro onde é ligada a resistência, pode-se utilizar um filtro LC série, ao invés do filtro LCC que é ligado às lâmpadas, necessário para proporcionar um alto ganho na partida das lâmpadas e manter a potência em regime permanente. Os indutores  $L_S$  e  $L_P$  (Figura 5) podem ser substituídos apenas pelo enrolamento primário do transformador auto-oscilante. Assim, a única modificação quanto ao número de componentes é a adição de um resistor e um capacitor, em relação ao reator eletrônico auto-oscilante convencional.

O procedimento de projeto adotado para determinação dos componentes do filtro de saída das lâmpadas, e do comando auto-oscilante, são baseadas em Prado (2001). Sendo assim, as equações de projeto são apresentadas na sub-seção a seguir.

### 3.1 Procedimento de Projeto do Comando Auto-Oscilante

Em primeiro lugar, é preciso determinar os componentes do filtro de saída das lâmpadas. Para tanto, tem-se que isolar o valor da potência ( $P$ ) na lâmpada em função do ângulo de defasagem da corrente no filtro ( $\phi$ ). Esta expressão é mostrada em (1), e sua plotagem para as condições de partida da lâmpada ( $R$  de alto valor) e operação nominal ( $R$  nominal), são mostradas na Figura 6. Pelo gráfico é possível escolher  $\phi$  de modo a proporcionar a partida da lâmpada e garantir sua potência em regime permanente. As expressões para  $C_P$  e  $L_S$  são mostradas em (2) e (3), respectivamente, arbitrando-se um valor usual para  $C_S$  (150 nF).

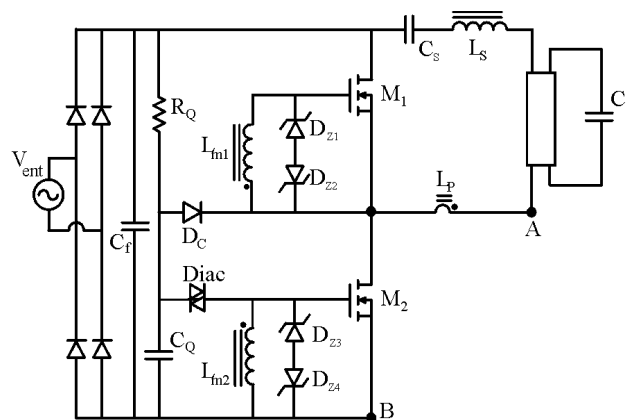


Figura 5: Reator eletrônico auto-oscilante convencional.

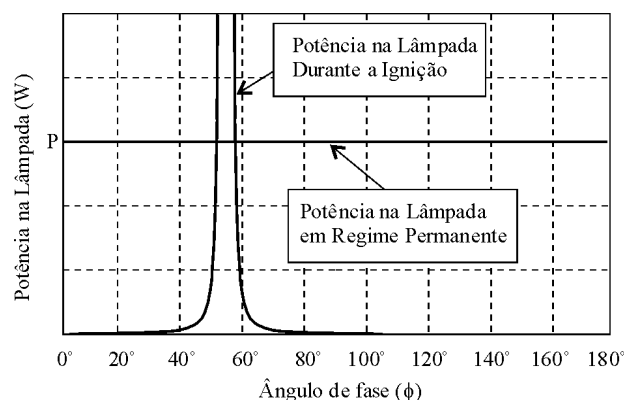


Figura 6: Gráfico da potência na lâmpada.

$$P(\phi) = \frac{V_{AC}^2 \cdot (1 + \omega^2 \cdot R^2 \cdot C_P^2)}{R \cdot (\tan^2(-\phi) + 1)}$$

$$C_P(\phi) = \frac{1}{\omega \cdot R} \sqrt{\frac{P \cdot R \cdot (\tan^2(-\phi) + 1)}{V_{AC}^2} - 1}$$

$$L_S(\phi, C_S, C_P) = \frac{1}{\omega^2 \cdot C_S} + \frac{\omega \cdot R \cdot C_S \cdot \tan(-\phi) + \omega^2 \cdot R^2 \cdot C_S \cdot C_P}{\omega^2 \cdot C_S \cdot (1 - \omega^2 \cdot R^2 \cdot C_P^2)}$$

Onde:

$V_{AC}$  – valor de tensão eficaz aplicada ao filtro;

$\omega$  – frequência angular de operação.

De acordo com Prado (2001), a indutância magnetizante ( $L_m$ ) é responsável pelo valor da frequência de operação do comando auto-oscilante. Há uma pequena modificação na expressão de  $L_m$ , devido ao fato de se utilizar um filtro LC em série com o resistor ( $R_{FF}$ ) do comando, ou seja, basta zerar o valor de  $C_P$ . Assim, a expressão de  $L_m$  é mostrada

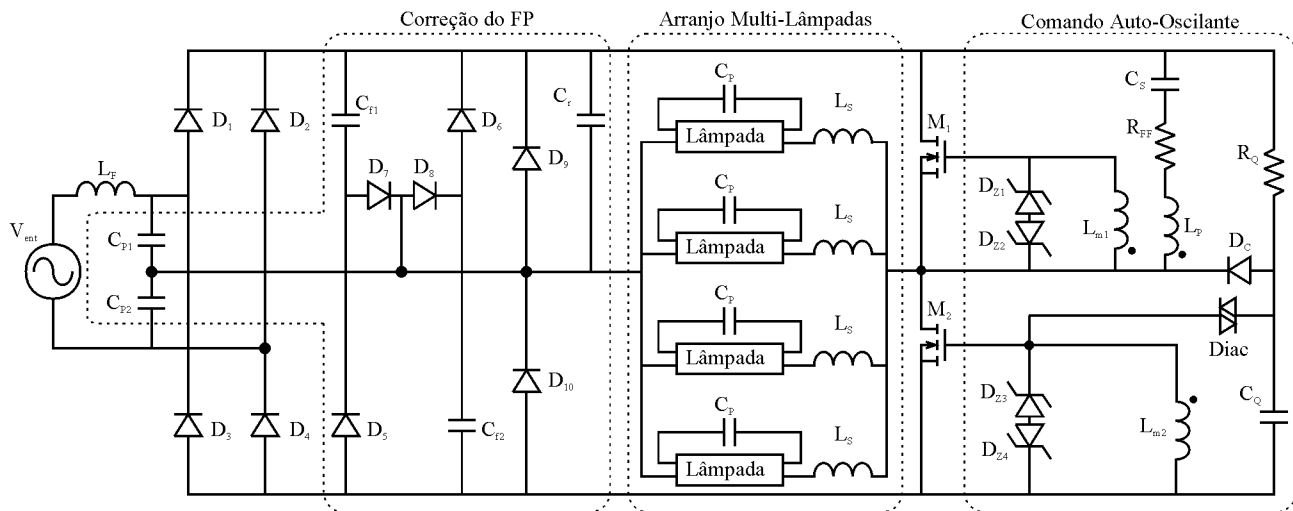


Figura 7: Circuito completo do reator proposto.

em (4).

$$L_m = \frac{1}{K \cdot n \cdot \omega \cdot 2} \left( \frac{(\omega^2 \cdot L_S \cdot C_S - 1)^2 + \omega^2 \cdot R_{FF}^2 \cdot C_S^2}{\omega \cdot C_S \cdot (\omega^2 \cdot L_S \cdot C_S - 1)} \right) \quad (1)$$

Onde:

$K$  – relação entre o valor da tensão zener escolhido e a tensão  $V_{AC}$ ;

$n$  – relação de espiras do transformador auto-oscilante.

Convém ressaltar que o valor de  $n$  deve ser calculado de modo a haver corrente suficiente para polarizar os diodos zener do comando. Para haver esta polarização, deve-se fornecer de 10 a 100% da corrente máxima suportada pelo mesmo.

## 4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados experimentais foram adquiridos a partir do protótipo montado em laboratório, cujo circuito é mostrado na Figura 7. De modo a comprovar a aplicabilidade do reator, denotando seu reduzido peso e volume, é mostrada uma foto do protótipo, ao lado de uma caneta, de tamanho conhecido, na Figura 8. As formas de onda são apresentadas na Figura 9, onde são mostrados os resultados para a operação do reator alimentando 2 e 4 lâmpadas. A seqüência das formas de onda é a seguinte: (a) e (b) mostram a tensão e corrente de entrada do reator, comprovando o princípio de correção do FP; (c) e (d) mostram a envoltória de tensão e corrente em uma das lâmpadas, comprovando o princípio de correção do FC; e a tensão de comando aplicada aos interruptores é mostrada em (e) e (f).

A Figura 10 apresenta os resultados de tensão e corrente em uma das lâmpadas, para o reator alimentando 2 e 4 lâmpadas:

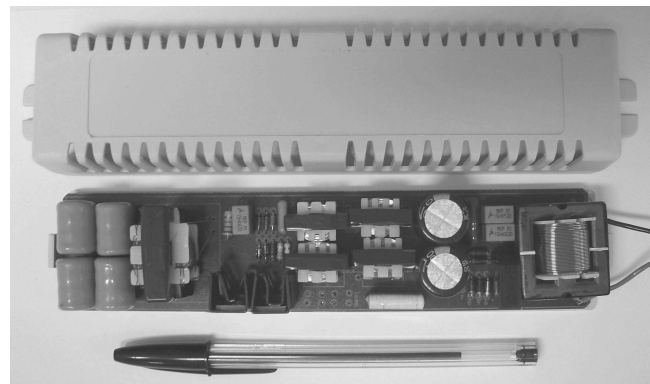
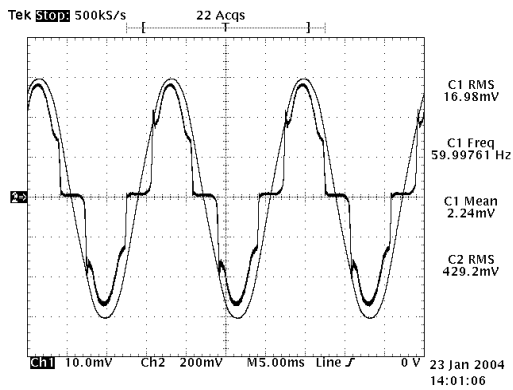


Figura 8: Foto do protótipo ao lado de uma caneta.

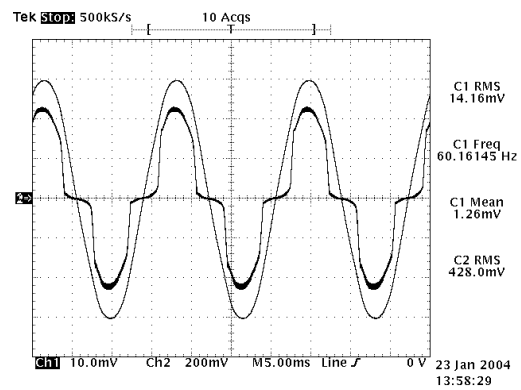
(a) 2 lâmpadas na região de vale; (b) 2 lâmpadas na região direta; (c) 4 lâmpadas na região de vale e (d) 4 lâmpadas na região direta.

Os resultados numéricos são apresentados na Tabela 2: fator de potência (FP), fator de crista (FC), potência de entrada do reator ( $P_{ent}$ ), potência de saída do reator ( $P_{saída}$ ), rendimento ( $\eta$ ), frequência de operação do comando auto-oscilante ( $f_s$ ) e perda no comando ( $P_{com}$ ). A tabela 3 apresenta os harmônicos da corrente de entrada para todas as condições de carga do reator (de 1 a 4 lâmpadas). Estes resultados são percentuais em relação à fundamental da corrente de entrada. Os valores dos componentes utilizados no protótipo são mostrados na Tabela 4.

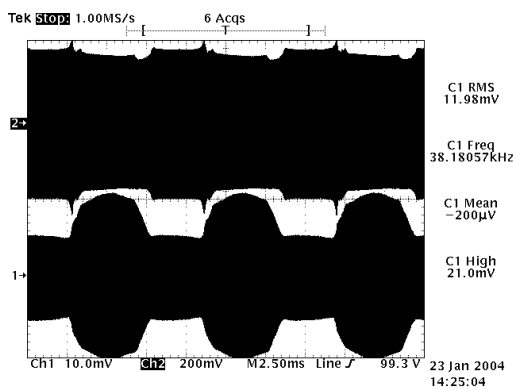
Assim, pode-se verificar que, ao se tratar de um reator com alto fator de potência, destinado à alimentação de quatro lâmpadas fluorescentes, seu tamanho é bastante reduzido, em



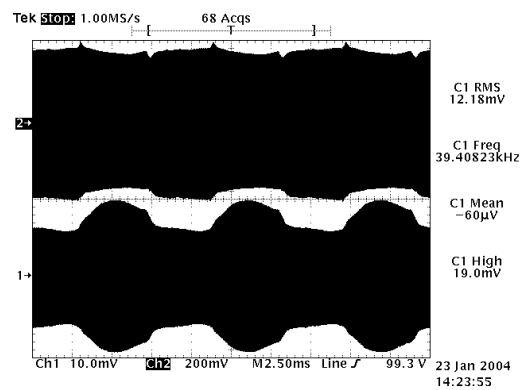
(a) Tensão e corrente de entrada com 2 lâmpadas(100 V/div; 200 mA/div).



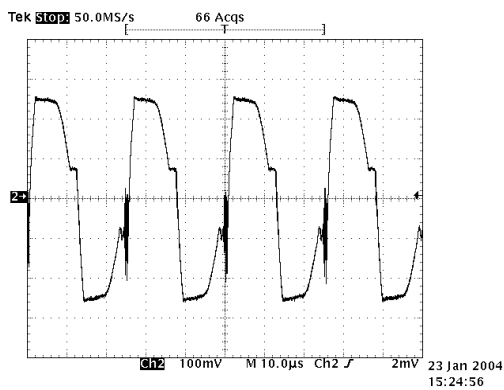
(b) Tensão e corrente de entrada com 4 lâmpadas(100 V/div; 500 mA/div).



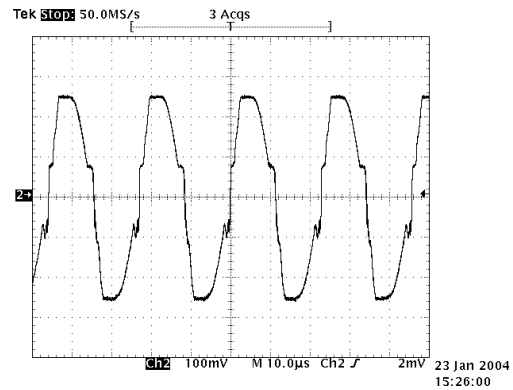
(c) Envoltória de tensão e corrente em uma lâmpada - 2 lâmpadas (100 V/div; 200 mA/div).



(d) Envoltória de tensão e corrente em uma lâmpada - 4 lâmpadas (100 V/div; 200 mA/div).

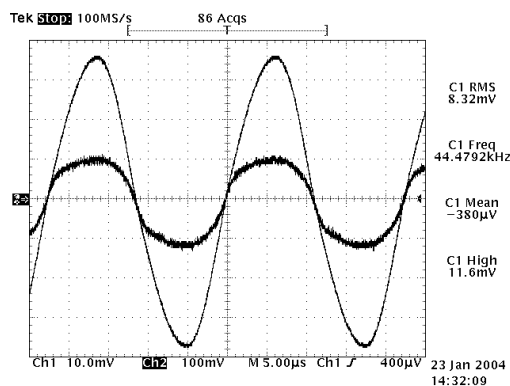


(e) Tensão no comando - 2 lâmpadas (5 V/div).

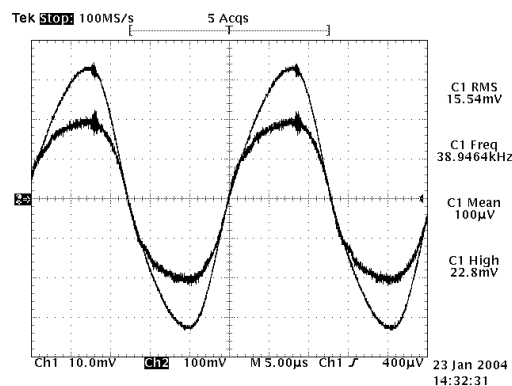


(f) Tensão no comando - 4 lâmpadas (5 V/div).

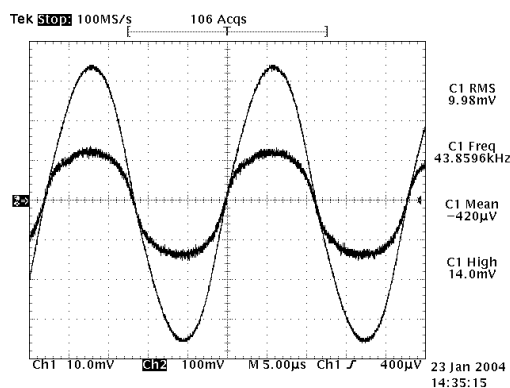
Figura 9: Resultados experimentais.



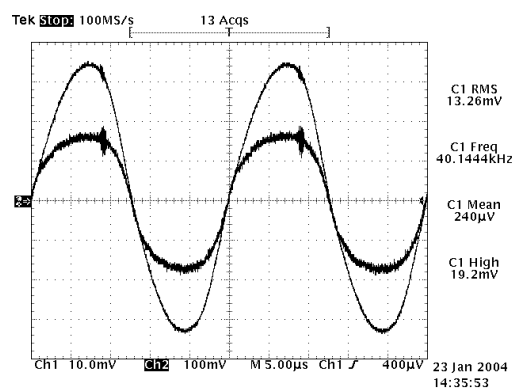
(a) 2 lâmpadas - região de vale.



(b) 2 lâmpadas - região direta.



(c) 4 lâmpadas - região de vale.



(d) 4 lâmpadas - região direta.

Figura 10: Tensão e corrente na lâmpada em alta frequência (50V/div; 200mA/div; 5µs/div).

Tabela 2: RESULTADOS EXPERIMENTAIS.

lâmpadas	FP	FC	$P_{ent}$ (W)	$P_{saída}$ (W)	$\eta$ (%)	$f_s$ (kHz)	$P_{com}$ (W)
1	0,953	1,75	36,4	32	87,91	40,5	0,35
2	0,955	1,70	68	63,4	93,23	40,8	0,34
3	0,953	1,65	102,9	95,1	92,41	41,3	0,36
4	0,947	1,56	137,7	126,9	92,15	41,7	0,36

Tabela 3: HARMÔNICOS DA CORRENTE DE ENTRADA (% DA FUNDAMENTAL).

Lâmpadas →	1	2	3	4
3º harmônico	27,2	26	27,1	27,3
5º harmônico	11,3	10	9,5	9,7
7º harmônico	4,2	4,7	6,3	4,7
9º harmônico	6,2	3,8	5	3,4
11º - 39º harmônico	< 3	< 3	< 3	< 3

comparação aos reatores existentes no mercado brasileiro. Ressalta-se ainda o fato de ser um protótipo construído em laboratório, o que significa que pode ser miniaturizado ainda mais, com a utilização dos componentes mais apropriados.

## 5 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um reator eletrônico de baixo custo, com alto fator de potência, para alimentar 4 lâmpadas fluorescentes independentes. O reator apresentou ótimos resul-



Tabela 4: PARÂMETROS E VALORES DE COMPONENTES.

Correção do FP	
$C_{P1}, C_{P2}$	15nF/250V polipropileno
$D_1 - D_6$	1N4007
$D_7 - D_{10}$	UF4007
$C_{f1}, C_{f2}$	100 $\mu$ F/200V eletrolítico
$C_r$	82nF/200V polipropileno
$L_F$	4mH em núcleo EE25/6
Arranjo Multi-Lâmpadas	
Lâmpada	Osram FO 32W/841
$C_P$	8,2nF/600V polipropileno
$L_S$	1,6mH em núcleo EE25/6
Comando Auto-Oscilante	
$M_1, M_2$	Mosfet IRF 730
$D_{Z1} - D_{Z4}$	C12ST 12V/0,25W
$L_D - L_{m1} - L_{m2}$	16mH/1mH/1mH em núcleo EE25/6 (n=4)
$R_D$	18k $\Omega$ /0,5W
$C_D$	15nF/630V polipropileno
$R_Q$	220k $\Omega$ /0,25W
$C_Q$	100nF/100V polipropileno
$D_C$	UF4007
Diac	DB3

tados quanto à entrada, atendendo à norma IEC 61000-3-2. Quanto ao fator de crista, o reator apresentou-se dentro da norma para as condições de 2, 3 e 4 lâmpadas. Outro item importante desenvolvido neste trabalho foi a modificação proposta ao comando auto-oscilante convencional, tornando-o independente do número de lâmpadas alimentadas pelo reator.

## REFERÊNCIAS

- Hammer, E. E. (1987) High Frequency Characteristics of Fluorescent Lamps Up to 500 kHz. *Journal of Illuminating Engineering Society*, pp. 52-61.
- Lee, Y. L.; Hu, Y. Q.; and Siu, K. W.(2001) Single-Switch Electronic Ballast With Near-Unity Power Factor and Soft-Switching Characteristic. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 48, n. 6, pp. 1188-1195.
- Prado, R. N.; Cervi, M.; Seidel, Á. R.; and Bisogno, F. E. (2002) Fluorescent Lamp Model Based on the Equivalent Resistance Variation. *IEEE Industry Applications Society - IAS*, vol. 1, pp. 680-684.
- Sum, K. K. (2000) Valley-Fill Power Factor Correction Circuit. *U. S. Patent 6,141,230*.
- Konopka, J. G. (1999) Electronic Ballast with Lamp Current Valley-Fill Power Factor Correction. *U. S. Patent 5,994,847*.

Chae, G.; Youn, Y. S.; and Cho, G. H. (1998) High Power Factor Correction Circuit Using Valley Charge-Pumping for Low Cost Electronic Ballasts. *PESC*, vol. 2, pp. 2003-2008.

Prado, R. N.; Seidel, A. R.; Bisogno, F. E.; Pavão, R. K. (2001) Self-Oscillating Electronic Ballast Design Based on the Point of View of Control System. *IEEE Industry Applications Conference - IAS*, vol. 1, pp. 211-217.

Braga, H. A. C.; and Marques, R. N. (2000) Valley-Fill Filters Applied to Electronic Ballasts. IV Conferência de Aplicações Industriais - INDUSCON, vol. 2, pp. 611-616, novembro de 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Reatores Eletrônicos Alimentados em Corrente Alternada para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares - Prescrições de Desempenho. Projeto 03:034.02-012/1998, Jul 1998.

International Electrotechnical Commission. Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq$  16 A per phase). 57 p. Nov. 2004.