



## SISTEMA RACIONAL DE ILUMINAÇÃO FLUORESCENTE

Waldir Pó, Walter Kaiser, Mamiro Yoshizawa, Wilson Komatsu

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
Caixa Postal 8174 - CEP 01065-970 - São Paulo - SP  
FAX: (011) 815-4272, rota 45, ramal 6019  
TEL: (011) 815-9322, ramal 3272  
E-MAIL: WAKAISER@BRUSP.BITNET

### RESUMO

Há uma tendência crescente de informatização das instalações prediais de edifícios comerciais de médio e grande porte, visando o aumento de conforto, economia e segurança. A iluminação juntamente com a instalação de ar condicionado são responsáveis por 90% da energia consumida neste tipo de instalação. Propõe-se neste trabalho um sistema racional de iluminação fluorescente para tais edifícios, utilizando conversores eletrônicos de elevada eficiência que alimentam as lâmpadas em alta frequência (acima de 20 kHz). Discutem-se as principais vantagens deste tipo de alimentação de lâmpadas. São mostrados alguns limites teóricos máximos de eficiência para o conjunto conversor eletrônico-lâmpada. São abordados aspectos relativos à alimentação centralizada em corrente contínua dos conversores (a partir de retificação da rede trifásica) com economia adicional nos conversores individuais e no sistema como um todo. Analisam-se as possibilidades de informatização da iluminação e sua integração com os sistemas utilizados nos "edifícios inteligentes".

### ABSTRACT

Intelligent buildings concept is a growing trend in order to increase comfort, economy and security. Lighting combined with air conditioning are responsible for 90% of the energy consumption in this kind of installation. This paper proposes a rational system for buildings illumination, using high efficiency electronic ballasts feeding the lamps in high frequency (above 20 kHz). The principal advantages of this technique are discussed. Some theoretical limits of efficiency for the set electronic ballast+lamp are shown. Aspects related to centralized supply for ballasts (provided by rectification of the three phase mains) with additional savings in the individual ballasts and in the whole system are also discussed. The illumination informatization possibilities and its integration within an intelligent building are analyzed.

### 1. INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da demanda energética, o custo elevado da construção de novas usinas de geração de grande porte e o seu forte impacto ambiental são fatores de ponderável preocupação para o país. Um fator agravante é o esgotamento dos recursos hidroelétricos na região Sudeste onde se concentra cerca de 65% do consumo de energia elétrica do país.

O aumento na eficiência da utilização da energia elétrica, sem queda dos padrões de conforto preexistentes, é uma alternativa economicamente viável para enfrentar a rápida expansão do consumo e postergar a construção de novas usinas. Por exemplo, o potencial de conservação estimado em seis áreas de consumo final é de 19 GW, que corresponde a aproximadamente 20% da capacidade necessária para o ano 2000 segundo as previsões de 1985 [1].

Um dos setores de uso final pesquisados é a iluminação. A tabela 1 apresenta as projeções para o ano 2000 do potencial de conservação para a iluminação que representa aproximadamente 65% do total de redução de demanda estimado e 23% do consumo de energia global.

CLASSE DE CONSUMO	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO (GWh)	REDUÇÃO DE DEMANDA (GW)
RESIDENCIAL	15 758.5	9.0
COMERCIAL	10 149.0	2.3
INDUSTRIAL	5 478.8	1.0
ILUMIN. PÓBL.	5 632.2	1.2
SERVIC. PÓBL.	2 153.1	0.4
RURAL	-	-
TOTAL	39 171.6	13.9

TABELA 1: Quadro resumo do potencial de conservação de energia elétrica.

A iluminação fluorescente contribui com uma parcela significativa nos setores comerciais e residenciais. A utilização de conversores eletrônicos para alimentação de lâmpadas fluorescentes em alta frequência encontra aplicação potencial em prédios informatizados

em função da possibilidade de controle do nível de iluminação e supervisão da instalação.

## 2. ILUMINAÇÃO FLUORESCENTE COM CONVERSORES ELETRÔNICOS

As lâmpadas de descarga de vapor de mercúrio a baixa pressão, mais conhecidas como lâmpadas fluorescentes, apresentam uma eficiência 5 vezes superior às lâmpadas incandescentes. No entanto, pode-se conseguir um aumento do fluxo luminoso quando alimentadas na sua potência nominal em uma frequência superior a 5 kHz. Este fato, associado ao elevado rendimento dos conversores eletrônicos, proporciona um aumento de eficiência global em relação às instalações com reatores convencionais, com consequente economia substancial de energia. Com o custo atual da energia elétrica esta tecnologia torna-se economicamente viável para instalações de iluminação de médio e grande porte.

A utilização de lâmpadas fluorescentes com revestimento de fósforo tricromático permite alcançar uma eficiência de 90 lm/W para lâmpadas T8L36W com reatores eletromagnéticos convencionais alimentadas contra apenas 12 lm/W para uma lâmpada incandescente de 100 W comercial. Quando se alimenta esta mesma lâmpada com alta frequência (superior a 5 kHz), através de um conversor eletrônico substituindo o reator eletromagnético, a eficiência da lâmpada chega a 100 lm/W.

A eficiência global do conjunto reator + lâmpada operando em 60 Hz cai para 65 lm/W devido às perdas elevadas nos reatores comerciais disponíveis no mercado e da baixa eficiência do processo de estabilização de corrente na frequência da rede (50-60 Hz). Com alimentação em alta frequência através de conversores eletrônicos, consegue-se, rendimento de até 91 lm/W para o conjunto.

A utilização de conversores eletrônicos para alimentação de lâmpadas fluorescentes oferece diversas vantagens em relação aos sistemas convencionais, sendo as principais discutidas a seguir.

As luminárias com conversores eletrônicos aquecem menos devido à redução na potência consumida pelo sistema. Desta forma, existe uma redução na carga térmica do sistema de ar condicionado permitindo uma economia de energia indireta e possibilitando inclusive a utilização, em instalações novas, de unidades de refrigeração de menor potência com custo de aquisição mais baixo. Sob o aspecto de conforto e principalmente de segurança, a alimentação em alta frequência apresenta como vantagem a ausência de efeito estroboscópico. Este fenômeno, associado a oscilação do fluxo luminoso, se manifesta quando se iluminam peças móveis, as quais, girando com rotação múltipla ou próxima da frequência de alimentação da fonte luminosa, fornecem a imagem de repouso ou de movimento lento. Em alta frequência este efeito desaparece devido à inércia do revestimento de fósforo da lâmpada, que não consegue mais acompanhar as variações de excitação impostas

pela frequência de operação, reduzindo as oscilações do fluxo luminoso para um nível mínimo.

Finalmente, a flexibilidade de projeto com circuitos eletrônicos permite a implementação de proteções que inibem o conversor em caso de falha e/ou de falta de lâmpada ou quando a mesma atinge o fim de sua vida útil e não consegue mais entrar em ignição [1].

Esta flexibilidade torna o conversor eletrônico adequado para controle de luminosidade em instalações informatizadas, seja através da ligação e desligamento de conversores ou através do "dimming". Para se realizar o "dimming" (controle contínuo de luminosidade) são necessários conversores específicos para esta finalidade e de custo mais elevado.

A seguir são apresentadas algumas considerações sobre a operação de lâmpadas de descarga em alta frequência e a descrição de um conversor eletrônico genérico para duas lâmpadas, alimentado pela rede CA (corrente alternada) de 50-60Hz.

### 2.1 Lâmpadas fluorescentes em alta frequência

A figura 1 mostra o aumento de eficiência com a frequência para lâmpadas tubulares 40WT12 e 32WT8 de mesmo comprimento e diâmetros de 38 mm e 25mm respectivamente, bem como a lâmpada HO de 110 W, todas operando na sua potência nominal e em 60 Hz.

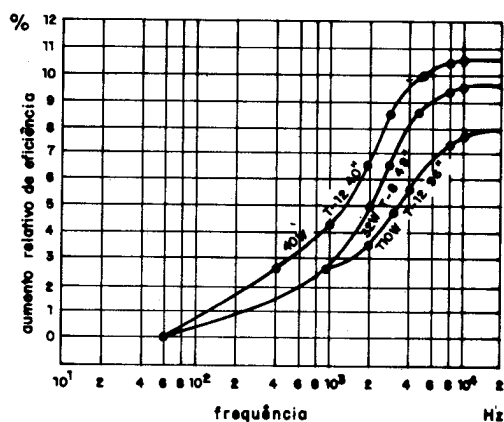


FIGURA 1: Aumento relativo de eficiência em função da frequência.

O incremento na eficiência estabiliza no seu valor final para frequências acima de 5 kHz. A razão do aumento de eficiência pode ser explicado de uma forma bastante simples. A lâmpada de descarga, ao contrário de um condutor metálico, como por exemplo o filamento de uma lâmpada incandescente, possui apenas uma quantidade pequena de elétrons livres. Portanto, inicialmente a coluna gasosa tem que se tornar condutora e um número suficiente de íons e elétrons tem que ser gerado continuamente de forma a garantir a manutenção da descarga.

Operando a lâmpada em corrente alternada de 60 Hz o processo de ignição da descarga se repete 120 vezes por segundo. Toda vez que a tensão da rede cai abaixo do valor de arco a descarga cessa, voltando a ocorrer nova ignição quando a tensão sobre a lâmpada atinge novamente o valor de ignição no semiciclo seguinte. Os filamentos na extremidade da lâmpada, por sua vez trocam de função a cada semiciclo, operando alternadamente como ânodo e cátodo. o estabelecimento e extinção periódicos da descarga consomem uma energia significativa que não é utilizada no mecanismo de emissão de luz, reduzindo a eficiência global do processo.

Para freqüências acima de 5 kHz a descarga não chega a de ionizar completamente, uma vez que a freqüência da variação de polaridade da tensão aplicada a lâmpada é superior a vida média das partículas que compõem a coluna de plasma da descarga.

Analisando o balanço energético de uma lâmpada fluorescente alimentada em alta freqüência [1], é possível verificar uma redução substancial na dissipação térmica na lâmpada e nas perdas nos filamentos em relação à operação em baixa freqüência. Além disso desaparecem as oscilações superpostas à tensão da lâmpada conforme pode ser visto na figura 2.

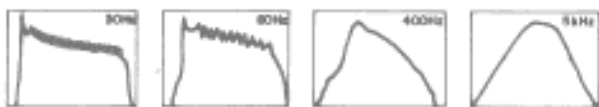


FIGURA 2: Tensão sobre a lâmpada durante um semiciclo para diversas freqüências

### 3. CONVERTOR

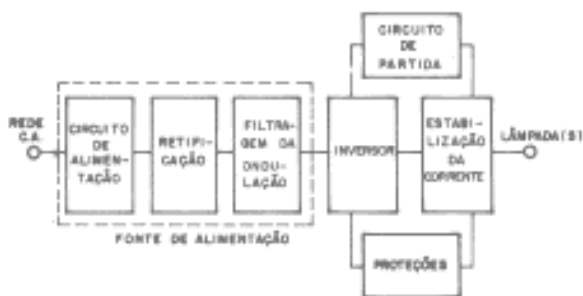


FIGURA 3: Diagrama de blocos de um conversor eletrônico alimentado em CA.

O conversor com alimentação em CA, conforme mostra a figura 3, consiste de um sistema de retificação que transforma a energia CA em CC (corrente contínua) com características de elevado fator de potência. Fator de potência é um coeficiente adimensional inferior ou igual à unidade, que mede o quanto a corrente na rede se afasta do seu valor ideal para cada par

$$fp = ff \cdot \cos \phi \quad (1)$$

onde:

fp = fator de potência;  
 $\cos \phi$  = cosseno do ângulo de defasagem entre a tensão senoidal da rede e a harmônica de primeira ordem (fundamental) da corrente de carga;  
 ff = fator de forma, adimensional menor ou igual à unidade que mede quanto a forma de onda da corrente se afasta de uma senoidal.

A tensão em CC alimenta um inversor, operando em freqüência constante na faixa de 20 kHz a 50 kHz, que, através de mecanismos de estabilização adequados, energiza convenientemente a(s) lâmpada(s).

#### 3.1 Fonte de alimentação

A fonte [2] deve atender às seguintes especificações: (a) limitação dos harmônicos de corrente na rede de alimentação abaixo dos níveis máximos especificados pelas normas (por exemplo, IEC 82); (b) supressão da interferência de rádio freqüência, para evitar problemas de recepção em rádios e interferência em computadores, sistemas de transmissão de dados e circuitos eletrônicos sensíveis, de acordo, por exemplo, com a norma DIN 0875 parte 2; (c) proteção dos componentes eletrônicos do conversor contra surtos de tensão da rede; (d) proteção da rede contra falhas do conversor e (e) garantir limites para ondulação de tensão CC de forma a operar o inversor em condições de máxima eficiência.

#### 3.2 Inversor

O inversor converte a tensão contínua em alternada de freqüência e amplitude adequados para operar a(s) lâmpada(s) nas suas condições nominais [1]. A freqüência do inversor é escolhida de forma a superar o limiar audível, sendo o limite superior fixado em torno de 50 kHz, visando minimizar efeitos de interferência em radiofreqüência por harmônicos de corrente e tensão na lâmpada [71].

O inversor deve permitir um pré-aquecimento dos filamentos, fornecer uma tensão elevada nos instantes iniciais para permitir a ignição da descarga e possibilitar um ajuste de forma simples da corrente na lâmpada.

A corrente na lâmpada deve ser preferencialmente senoidal de modo a minimizar os níveis de interferência provocados pelas harmônicas de ordem superior [61 e atender as especificações de fator de forma impostas pela norma IEC 82.

Em função do aumento de eficiência da lâmpada em alta freqüência projeta-se o conversor de forma a operar a lâmpada emitindo o seu fluxo luminoso nominal -especificado em 50-60 Hz. Desta forma a potência solicitada pela lâmpada é apenas 90% do seu valor nominal em 60 Hz.

Foram pesquisadas várias configurações de inversores chaveados, com técnicas de chaveamento dissipativas e pouco dissipativas com transistores bipolares ou MOSFETs, uma vez que a potência no inversor praticamente

não ultrapassa 150 W, mesmo para a lâmpada HO. Com as várias topologias obtiveram-se essencialmente a mesma eficiência elevada. A figura 4 [1] mostra uma configuração utilizando transistores bipolares como exemplo.

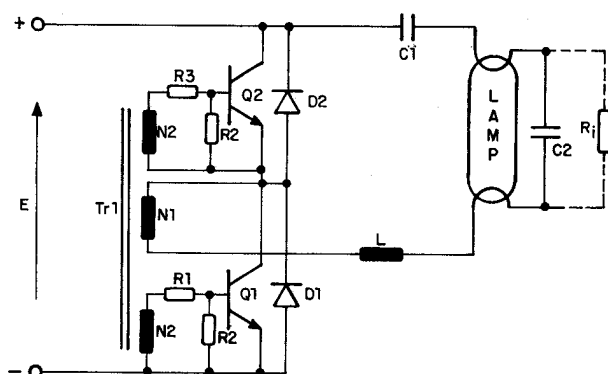


FIGURA 4: Inversor ressonante série com transistores bipolares.

A configuração testada permite a circulação de uma corrente relativamente elevada pelos filamentos da lâmpada nos instantes iniciais, garantindo o seu pré-aquecimento de forma a atingirem rapidamente o estágio de emissão. A tensão sobre C2 aumenta até atingir o ponto de ignição da lâmpada. O acendimento da lâmpada equivale, do ponto de vista elétrico, a inserção de uma resistência de algumas centenas de ohms em paralelo com o capacitor C2. Nesta condição de operação em regime a corrente na lâmpada é limitada pela indutância L.

O inversor série ressonante não pode operar sem carga durante mais do que alguns ciclos sem causar danos aos componentes. Por esta razão se torna necessária uma proteção que bloqueia o inversor no caso de falta de lâmpada ou quando a mesma está defeituosa [1].

Foram realizadas medidas em um inversor alimentado com 280 Vcc para duas lâmpadas 40WT12 ligadas em série, utilizando transistores bipolares (TIPL 763A) e MOSFET (5N40). Foi adotada uma frequência de chaveamento de 40 kHz, obtendo-se uma eficiência de 96% para os dois casos. O desempenho de ambos os tipos de transistores foi semelhante, uma vez que as perdas de chaveamento mais elevadas do circuito bipolar são próximas das perdas de condução mais elevadas do MOSFET. As perdas entretanto são reduzidas nos dois casos.

#### 4. ALIMENTAÇÃO CENTRALIZADA EM CORRENTE CONTÍNUA

A iluminação fluorescente é bastante difundida em instalações comerciais e escritórios com grandes áreas a serem iluminadas e onde a qualidade da iluminação é fundamental. Para estas instalações o emprego da alimentação centralizada em CC apresenta vantagens [3].

A figura 5 apresenta o diagrama simplificado de uma instalação utilizando conversores com alimentação individual. Cada conversor é constituído por um circuito de retificação monofásica e a inversor.

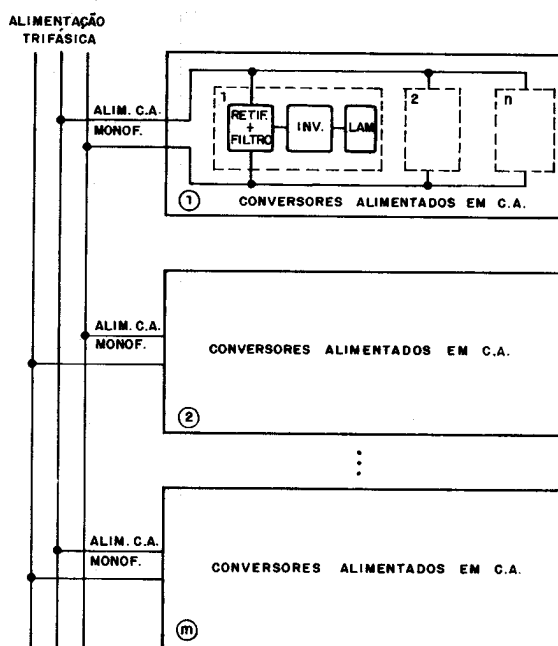


FIGURA 5: Conversores com fontes individuais. Esquema simplificado.

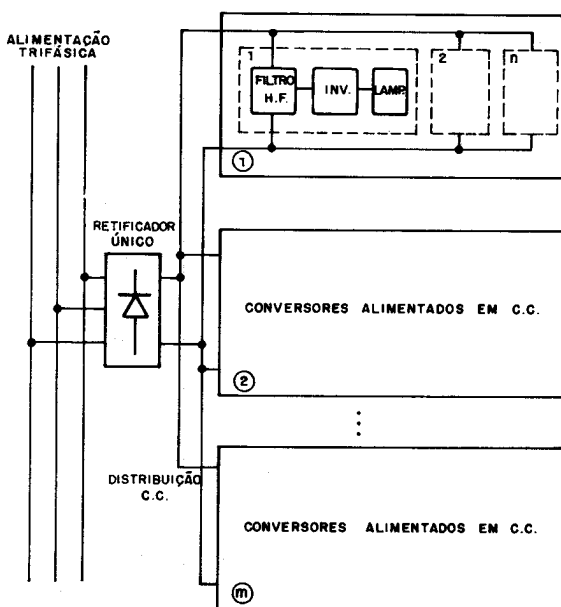


FIGURA 6a: Instalação utilizando alimentação centralizada em CC com retificador único. Esquema simplificado.

Para instalações de médio e grande porte justifica-se a utilização de um sistema de alimentação centralizada em CC para os conversores. Uma alternativa simples e de baixo custo é utilizar um retificador trifásico não controlado que alimenta um certo número de inversores conforme mostram as figuras 6a e 6b. A figura 6a apresenta o diagrama esquemático de uma instalação utilizando um retificador único.

A figura 6b mostra um sistema com alimentação centralizada de custo um pouco mais elevado utilizando vários retificadores (por exemplo, um por andar). Esta alternativa apresenta vantagens quanto a flexibilidade de controle, proteção e confiabilidade uma vez que cada retificador alimenta um conjunto limitado de inversores.

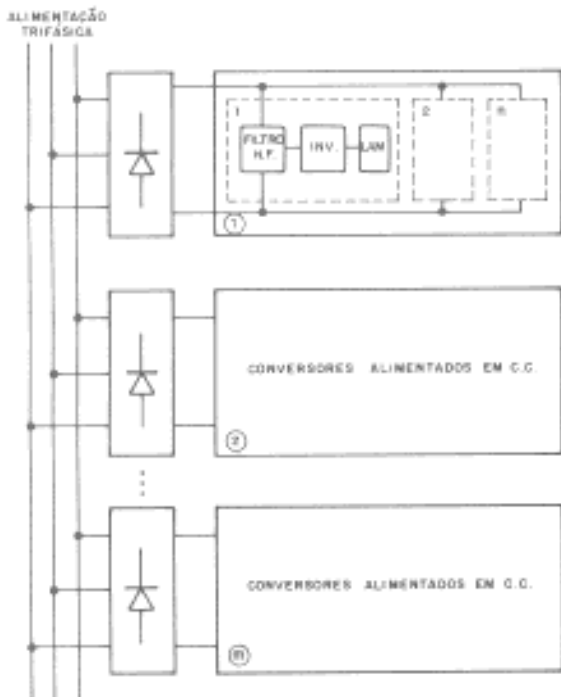


FIGURA 6b: Instalação utilizando alimentação centralizada em CC com um retificador por andar. Esquema

A utilização de retificação trifásica é conveniente porque obtém-se uma tensão CC com valor médio em vazio de 95% e ondulação de tensão de pico a pico de 14% do valor de pico da tensão de linha da rede. Os valores em da carga dependem dos parâmetros elétricos da instalação. Tais valores, obtidos com a retificação trifásica, são muito próximos dos valores de operação do inversor com fonte de alimentação utilizando retificação monofásica. No entanto com a ponte trifásica consegue-se um fator de potência da ordem de 0.9 no lado CA, enquanto que a retificação monofásica com filtro capacitivo apresenta fator de potência de aproximadamente 0.5. Para a retificação trifásica dispensa-se o capacitor eletrolítico de filtro, conforme mostram as figuras 6a e 6b.

Com esta solução reduzem-se significativamente peso, volume e custos individuais dos conversores. Obtém-se ainda um aumento na eficiência global da instalação pela eliminação das perdas nas fontes de alimentação individuais dos conversores.

O retificador trifásico é bastante simples mas as correntes de alta frequência circulando pelos condutores de alimentação podem interferir no processo de comutação dos inversores exigindo filtros de linha CC adicionais instalados na entrada de cada inversor.

Alguns cuidados adicionais devem ser tomados na instalação ao se adotar esta solução. Os condutores que interligam os conversores e as lâmpadas devem ser trançados ou blindados devido a circulação de correntes de frequências elevadas. As luminárias deverão ser preferencialmente metálicas, equipadas com difusores também metálicos, e todos os seus componentes deverão ser aterrados de forma a garantir supressão de interferência eletromagnética.

Instalações já existentes podem ser aproveitadas sem grandes modificações o que torna esta alternativa bastante atraente. O retificador pode ser instalado numa caixa de distribuição em cada andar ou num compartimento adequado no caso de se utilizar um retificador único.

Foi montada uma pequena instalação experimental com 4 conversores adequadamente modificados segundo a proposta acima (substituição das fontes individuais por filtros de linha e pequenos ajustes para compatibilizar o inversor com a tensão de alimentação). Como fonte de tensão CC construiu-se um retificador trifásico a diodos.

A instalação acima foi comparada com quatro conversores individuais operando as lâmpadas com o mesmo nível de iluminação. Os resultados são apresentados na tabela 2.

	retificador individual	alimentação centralizada
Potência total absorvida [W]	336	316
Fator de potência	0.86	0.95
Economia de energia	--	6%

TABELA 2: Comparação entre alimentação centralizada e conversores com fonte individual

Na versão de conversor testada para alimentação centralizada, a substituição da fonte individual por um filtro de linha reduz o custo do conversor em 11%.

O custo de um retificador trifásico para alimentação de 60 conversores corresponde aproximadamente ao de um conversor completo (inversor + fonte individual) de forma que a

economia obtida em grandes instalações é evidente.

Para um mesmo nível de luminosidade, obtêm-se uma economia de en43rgia de 11.7% com um sistema com alimentação centralizada em relação a configuração com fonte individual ou uma economia de 35% quando comparada com reatores convencionais.

#### 5. LIMITE DE EFICIÊNCIA

Para se ter uma idéia do estado atual da arte, realizaram-se projeções a fim de se estabelecer limites teóricos e presumíveis para o aumento da eficiência [4].

As projeções para limites de eficiência consideram conversores para duas lâmpadas com potências individuais não inferiores a 32 W e não superiores a 110 w, alimentados com tensão de 220 Vca da rede industrial de 50-60 Hz.

Compararam-se as topologias descritas com reatores convencionais, com as lâmpadas emitindo o mesmo fluxo luminoso.

	Conversor Eletrônico	Reator Eletromag.
Perdas [W] fonte aliment. inversor	4 3	22
Potência [W] lâmpadas	72 (a)	80
Total	79 (b)	102 (c)
Elev. eficiência medido (c-b)/c	29%	
limite (c-a)/c	41%	

TABELA 3: Sistema de alimentação para 2 lâmpadas 40WT12

	Conversor Eletrônico	Reator Eletromag.
Perdas [W] fonte aliment. inversor	4 3	14
Potência [W] lâmpadas	102 (d)	110
Total	109 (e)	124 (f)
Elev. eficiência medido (f-e)/f	13.7%	
limite (f-d)/f	21.5%	

TABELA 4: Sistema de alimentação para uma lâmpada 110WT12 tipo HO

As tabelas 3 e 4 apresentam a análise de dois casos: (a) conversor para 2 lâmpadas 40WT12 e (h) conversor para uma lâmpada 110WT12 tipo HO. O aumento de eficiência limite é calculado considerando um conversor com perdas nulas e tomando como base apenas a

potência absorvida pela lâmpada alimentada em alta frequência nas suas condições nominais de fluxo luminoso.

#### 5.1 Considerações de custo

A título de exemplo, considera-se um edifício de 25 andares com 400 lâmpadas de 40 W por andar, resultando um total de 10000 lâmpadas.

Com um sistema convencional, utilizando reatores eletromagnéticos para 2 lâmpadas, necessita-se de uma potência instalada de 510 kW para iluminação. Supondo um ciclo de operação de 8 horas por dia e 20 dias úteis por mês, resulta um consumo mensal de energia para iluminação do prédio de 81.6 MWh a um custo de 8160 US\$/mês, admitindo uma tarifa de 0.1 US\$/kWh.

Substituindo-se os reatores eletromagnéticos por conversores eletrônicos alimentados em CA, obtêm-se uma redução de consumo de 30% de energia, resultando uma economia direta de 2500 US\$/mês o que corresponde a 30000 US\$/ano.

Admitindo-se que o conversor eletrônico custe US\$ 6 a mais que o reator convencional, o investimento adicional na aquisição de conversores eletrônicos seria amortizado em apenas um ano.

Uma melhoria no desempenho da instalação pode ser alcançado através de luminárias, reflexivas, que permitem um melhor aproveitamento do fluxo luminoso emitido pela(s) lâmpada(s). A utilização deste tipo de luminária juntamente com o conversor eletrônico permite uma redução de até 50% no número de conjuntos, conversor + lâmpadas + luminária instalados, resultando uma economia de 48000 US\$/ano (4000 US\$/mês) em energia.

#### 6. CONTROLE DA LUMINOSIDADE - "DIMMING"

Um sistema eletrônico de iluminação oferece como vantagens a possibilidade de controle do nível de iluminação ("dimming") e a supervisão da instalação, permitindo também a detecção de unidades inoperantes (conversor + lâmpada).

O controle de iluminação pode ser discreto ou contínuo. No controle discreto ligam-se ou desligam-se conversores de forma a manter o nível de iluminação de uma determinada área dentro de limites pré-fixados. Neste caso podem ser utilizados os conversores eletrônicos do tipo descrito no item 3.

Para controle contínuo da luminosidade existem duas alternativas: a) controlar individualmente conversores especiais, projetados especificamente para esta finalidade, ou b) utilizar um sistema de alimentação centralizada em CC alimentando conjuntos de inversores, e variar o nível de tensão contínua.

Os conversores eletrônicos que executam o "dimming" têm custo mais elevado, mas permitem uma faixa de controle de, luminosidade mais ampla sobre uma área

menor, resultando numa distribuição de iluminação mais uniforme.

Através do controle da tensão CC obtém-se uma faixa de variação do nível de iluminação menor sobre uma área maior, resultando uma distribuição de iluminação menos uniforme que o caso anterior. No entanto, o custo de variar a tensão CC associado ao dos inversores, é inferior ao de um conjunto de conversores especiais para "dimming".

## 7. APLICAÇÕES NOS EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Os "edifícios inteligentes" possuem uma infraestrutura voltada para o aumento de eficiência (economia de energia e otimização na utilização), conforto e segurança.

Sistemas de iluminação utilizando conversores eletrônicos encontram aplicação potencial em tais prédios, com sistemas de supervisão e controle informatizados.

O controle do nível de iluminação permite o melhor aproveitamento da luz natural do dia, com consequente economia. Tal controle pode ser sofisticado, com a colocação de sensores de luminância e crominância nos ambientes, detectores de presença e programação dos horários de ligação e desligamento conforme os turnos de trabalho.

O conforto pode ser acentuado com recursos antes impossíveis, como a variação da cor da luz no ambiente, através do "dimming" com lâmpadas de cores distintas.

A segurança do sistema é intrinsecamente elevada, pois além do menor aquecimento dos conversores eletrônicos, o controle pode detectar anormalidades como sobrecorrentes, conversores e lâmpadas danificados, providenciar o desligamento das partes afetadas e prover a sinalização de tais ocorrências.

Nos Estados Unidos os edifícios inteligentes já somam 1500 e cifras semelhantes podem ser encontrados no Japão e Europa. No eixo Rio-São Paulo existem apenas pouco mais de uma dezena de prédios com grau de sofisticação comparável.

## 8. CONCLUSÕES

A alimentação em alta frequência de lâmpadas fluorescentes é uma técnica conhecida há quatro décadas, mas que somente a partir da última tornou-se competitiva com os sistemas eletromagnéticos convencionais. A principal vantagem oferecida é a economia de energia, proporcionada pelo elevado rendimento dos conversores e pelo aumento de eficiência da própria lâmpada.

Embora não haja impedimento tecnológico para conversores multilâmpadas, uma solução de consenso limita para duas o número de lâmpadas/conversor, principalmente por imposições de compatibilidade eletromagnética, uma vez que a própria lâmpada atua como elemento irradiante.

O máximo aumento de eficiência esperado em sistemas eletrônicos para lâmpadas 40WT12 e 32WT8 em relação aos sistemas convencionais no entanto não ultrapassa o limite teórico de 41%. Através de estudos realizados, espera-se uma economia de energia de 28% a 32% em sistemas eletrônicos comerciais utilizando este tipo de lâmpada.

Os conversores eletrônicos permitem a realização de variação e controle da luminosidade de forma discreta ou contínua de acordo com o grau de sofisticação desejado.

Uma alternativa viável é utilizar um sistema de alimentação centralizada, obtida por retificação trifásica, para os conversores eletrônicos, aumentando a eficiência e reduzindo os custos da instalação.

Uma aplicação natural para sistema eletrônicos de iluminação está nos "edifícios inteligentes". Recursos informatizados aliados a flexibilidade deste sistema permitem alcançar altíssimos níveis de sofisticação.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- [1] KAISER, Walter. Conversor eletrônico de elevada eficiência para alimentação de lâmpadas fluorescentes tubulares: uma metodologia de projeto". São Paulo, 1989. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [2] MATAKAS JR., Lourenço. Retificadores especiais. São Paulo, 1989. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [3] GAMBIRÁSIO, Giorgio; KAISER, Walter; MATAKAS JR., Lourenço; Pó, Waldir. High frequency power converters for fluorescent lamps. In: EUROPEAN CONFERENCE ON POWER ELECTRONICS, 3., Aachen, 1989. EPE: proceedings. Aachen, EPE'89, 1989. v.1, p.337-9.
- [4] KAISER, Walter; Pó, Waldir. Lâmpadas fluorescentes alimentadas em alta frequência: Expectativa limite para aumento de eficiência. In: CONGRESSO CHILENO DE INGENIERIA ELECTRICA, 9\_ Arica, 1991. Anais. Arica, , 1991. sp.
- [5] GELLER, Howard et al. "Electricity conservation in Brazil: Potential and progress". Energy, v.13, n.6, p.46983, 1988.
- [6] LANGE, H. Lamps and circuits. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE SCIENCE AND TECHNOLOGY OF LIGHT SOURCES, Toulouse, 1983.
- [7] KERCHER, M.; KLEIN, E.. Elektronik in der Beleuchtungstechnik. ETZ (Elektro Technische Zeitschrift), v.105, n.6, p.836-9, July 1984.