

ELETRÔNICA DE POTÊNCIA E A QUESTÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UMA ANÁLISE DE CONSUMO DE APARELHOS DE TV EM *STANDBY*

Edson A. Vendrusculo¹, José A. Pomilio¹, Gilberto de M. Jannuzzi²

¹Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação– Universidade Estadual de Campinas - Brasil

²International Energy Initiative –América Latina.

adriano@dsce.fee.unicamp.br, antenor@dsce.fee.unicamp.br, gilberto@iei-la.org.

Resumo: Nos últimos anos têm surgido normas e legislações que recomendam ou regulam o consumo de energia no modo de espera, ou *standby*. Este artigo refere-se ao estudo de aparelhos de TV e analisa aspectos do impacto do consumo no modo *standby* em termos energéticos, econômicos e ambientais. A partir de medições em diferentes aparelhos de TV verifica-se a ampla variação no consumo no modo de espera, indicando-se também a possibilidade de redução destas perdas, com manutenção do desempenho do aparelho. Faz-se também uma discussão das tecnologias eletrônicas de potência disponíveis para redução deste consumo. A análise feita indica uma redução de demanda de 6,32MW, uma economia anual de 40,2 GWh, evitando-se uma emissão equivalente de 19,3 GgCO₂, supondo a imposição de normas que exijam um consumo de *standby* de até 1 W.

Palavras-Chave: Eficiência energética, Televisor, Fontes chaveadas, *Standby*, poluição ambiental.

POWER ELECTRONICS AND THE ENERGY EFFICIENCY APPROACH: ANALYSIS OF TV SETS OPERATING IN *STANDBY* MODE:

Abstract: Recently, devices operating in the standby power mode have gained official support and appropriate legislation. This article concerns television sets and analyzes the environmental and economic impact of their standby power consumption. The wide range of values obtained from experimental tests showed that standby losses could be reduced while maintaining performance. A brief discussion on power electronics technologies available to reduce standby losses is also presented. The analysis points to 6.32MW power demand reduction, that correspond to 40.2GWh energy saving and 19.3 GgCO₂ avoided CO₂ emission if a 1W standby standard is enforced.

Keywords: Standby, energy efficiency, television sets, switching power supply, environmental pollution.

I. INTRODUÇÃO

A Lei 10.295/2001 dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências [1]. À medida que a lei e suas regulamentações forem entrando em vigor, todo equipamento a ser comercializado no país e que consome energia (não apenas elétrica) deverá estar em conformidade com as metas de eficiência energética.

Em todo o mundo têm sido estabelecidos programas ou normas de eficiência energética [2], tais como o *Energy Star* [3] nos Estados Unidos, o *Eco-Label* [4] na Europa e o *Top Runner* no Japão. No Brasil, o programa de etiquetagem do Procel tem sido constantemente revisado e ampliado, seguindo as tendências mundiais. No entanto, no que se refere ao consumo no modo de espera, apenas recentemente ocorreu uma iniciativa de regulamentar este consumo [5]. Para a realização deste artigo, as normas americanas e europeias serviram de base para os estudos.

O principal objetivo deste trabalho é considerar os atuais aparelhos de TV de 20 polegadas comercializados no Brasil e analisá-los em relação aos padrões *Energy Star* e *Eco-Label*, conforme especifica a Tabela I.

No caso de aparelhos de TV, como em outras situações, como o uso de acionamento em velocidade variável de compressores de refrigeradores [6], a redução das perdas, e o conseqüente aumento da eficiência energética, dependem essencialmente de melhorias relacionadas a conversores eletrônicos de potência.

Para as TVs, são apresentadas algumas soluções de eletrônica de potência para o consumo no modo de espera. Os fabricantes de dispositivos semicondutores têm lançado diversos circuitos e implementado inúmeras melhorias, com potencial impacto em termos de redução de perdas elétricas. Circuitos integrados de controle e proteção, associados a interruptores de potência otimizados para a realização de fontes de alimentação de baixas perdas e operação no modo de espera, foram desenvolvidos por diversos fabricantes e estão disponíveis para uso imediato.

Finalmente, um sumário dos impactos energéticos, econômicos e ambientais é apresentado de modo a ser possível avaliar o efeito da incorporação de dispositivos de baixo consumo em TVs, verificando-se, dentro da perspectiva do Protocolo de Kyoto, a redução equivalente na emissão de CO₂. Para tanto são tomadas como base informações sobre o volume de produção dos aparelhos, dados de consumo (de catálogo ou medidos), tempo de vida do aparelho e divisão do mercado nacional entre fabricantes.

Artigo submetido em 21 de março de 2006. Primeira revisão em 25 de junho de 2006. Segunda revisão em 20 de outubro de 2006. Aceito por recomendação do Editor Richard M. Stephan.

Ocorre, no entanto, que a atual definição de *standby* pode se alterar em função do estabelecimento de outras categorias de operação como “*sleep*” e “*deep sleep*”. No modo ligado, o aparelho produz som e imagem. Principalmente para as TVs digitais, muitas outras funções podem ser agregadas, exigindo um refinamento nestes conceitos. Em diferentes fóruns têm ocorrido tais discussões que se referem ao chamado modo de operação de baixo consumo ou LOPOMO (*low power mode*) [7].

TABELA I
Especificação de eficiência energética para aparelhos de TV

Produto	ENERGY STAR (EUA) (modo <i>standby</i>)			ECO-LABEL (Europa)
	Fase I (efetivo 7/1/02)	Fase II (efetivo 7/1/04)	Fase III (efetivo 7/1/05)	Efetivo de 1/4/2002 até 31/3/2005
TV	≤ 3W	≤ 1W (analogico) e ≤ 3W (digital)	≤ 1W	< 1W (para consumo de <i>standby</i> passivo) e < 9W (para consumo de <i>standby</i> ativo em TVs com receptor-decodificador digital integrado ao aparelho)

II. CRITÉRIO DE TESTE

As especificações para obter a qualificação de eficiência energética atem-se às peculiaridades locais do sistema elétrico e outros fatores. Para o selo *Energy Star*, considera-se apenas o consumo no modo de espera, enquanto que para o *Eco-Label* há também restrições quanto ao consumo no modo de operação normal (com imagem e som).

O *Energy Star* especifica valores para tensão e distorção harmônica total (DHT) da alimentação (menor que 3%), além de uma temperatura ambiente de $22^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$. A tensão nominal depende do mercado, conforme a Tabela II.

TABELA II
Critérios para o *Energy Star*

	EUA	Europa e Austrália	Japão
Tensão	$115 V_{\text{RMS}} \pm 3 V_{\text{RMS}}$	$230 V_{\text{RMS}} \pm 10 V_{\text{RMS}}$	$100 V_{\text{RMS}} \pm 5 V_{\text{RMS}}$ & $200 V_{\text{RMS}} \pm 10 V_{\text{RMS}}$
Frequência	$60 \text{ Hz} \pm 3 \text{ Hz}$	$50 \text{ Hz} \pm 3 \text{ Hz}$	$50 \text{ Hz} \pm 3 \text{ Hz}$ & $60 \text{ Hz} \pm 3 \text{ Hz}$

A norma EN 50301 [8] é usada para medir o consumo de potência de aparelhos e equipamentos em operação normal, de acordo com a regulamentação do *Eco-Label*. Para a questão específica do modo de espera tem-se a norma IEC 62301, “Household Electrical Appliances – Measurement of Standby Power”[9].

III. TESTES DE CONSUMO DE POTÊNCIA

Com o objetivo de representar o Mercado nacional de TVs, foram considerados os três maiores fabricantes, tomando-se como equipamento típico aparelhos de 20 polegadas. Tais aparelhos tiveram seu consumo medido de acordo com os métodos do *Energy Star*. A tensão e a frequência devem estar nos valores nominais definidos pelas

normas, com um desvio inferior a 1% e a DHT deve ser inferior a 3%. A temperatura deve estar na faixa $22^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$.

Os aparelhos foram adequadamente alimentados por uma fonte programável, modelo CI 4500iL da California Instruments.

A figura 1 mostra resultados da corrente consumida pela TV modelo HPS-2023, na situação de *standby*. A DHT da tensão é de apenas 0.08% e a DHT de corrente é de 83,45%. As formas de onda estão mostradas na figura 2. A tensão aplicada é de 114,8V e a corrente (valor eficaz) é de 99,6mA. A potência ativa (obtida da potência instantânea média) é de 5,85W.

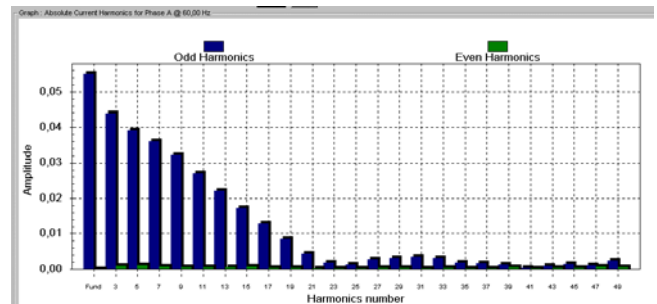


Fig. 1. Espectro da corrente do aparelho em *standby*. Vertical: Amplitude [A]; horizontal: ordem harmônica (até a 50ª).

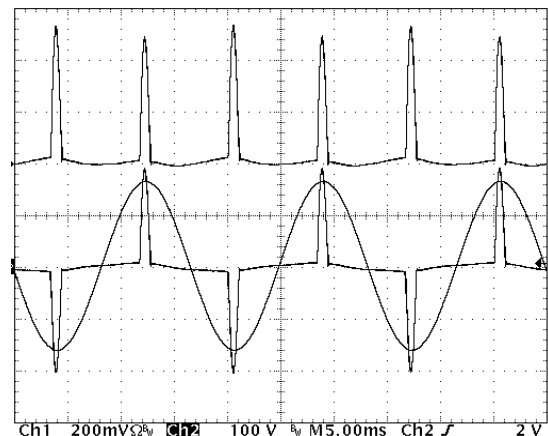


Fig. 2. Formas de onda no modo *standby* para TV HPS-2023. Potência instantânea (no alto). Tensão e corrente (em baixo) [20W/div.; 100V/div. e 0,2A/div].

A metodologia *Eco-Label* indica que para potência inferior a 10W é preciso um medidor com resolução melhor que 0,01W. Dada a distorção na corrente e o alto fator de crista, é imprescindível que o equipamento seja adequado a operar com formas de onda não senoidais e suporte o elevados valores instantâneos de corrente sem incorrer em saturação do respectivo sensor.

Já a metodologia *Energy Star* indica uma medição de potência ativa com resolução de 0,1W, sem especificar a precisão. Um equipamento sugerido [10] apresenta precisão de $0,5\% \pm 1 \text{ LSD}$ (dígito menos significativo).

A. Equipamentos utilizados

No presente caso, embora conscientes das limitações de precisão que isso implica, as medidas de potência foram feitas utilizando um osciloscópio digital, como descrito a seguir.

O osciloscópio digital TDS430A da Tektronix utilizado nas medições do consumo tem as seguintes características:

- 400MHz de banda analógica;
- 100MS/s de máxima taxa de amostragem em cada canal, simultaneamente;
- Cada canal com resolução de 8 bits. Na tela o sinal é mostrado com 25 níveis por divisão. Expresso em tensão, um nível de digitalização corresponde a 1/25 de uma divisão, multiplicado pela escala. No modo *High Resolution* atinge-se uma resolução de 15 bits;
- Mínima escala vertical 1mV/div;
- Sensor TCP202 50MHz, Tektronix.

Este dispositivo contém um sensor Hall e é diretamente conectado ao osciloscópio. Suporta um pico de até 50A, com largura menor que 10 μ s (500 μ As). À medida que a frequência se reduz, a máxima corrente instantânea a ser medida diminui para 15A (CC + pico CA). A precisão da sonda de corrente é de 3%.

Como o objetivo deste estudo não é o que atestar a conformidade dos aparelhos com as normas, mas estimar o impacto do consumo *standby*, consideramos que a menor precisão das medidas não afeta as conclusões do artigo.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE CONSUMO EM MODO DE ESPERA

A estimativa da quantidade de aparelhos televisores no Brasil foi obtida no relatório do Projeto Modelo de Implantação da TV digital no Brasil, produzido pela Fundação Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, para a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) [11]. Os resultados indicam que pelo menos um aparelho existe em 87,7 % das residências. O consumo de eletricidade é de 7,2 a 10,9 TWh, o que significa que de 10 a 15% de todo consumo residencial do Brasil, que foi de 72,7 TWh em 2002 [12], refere-se aos televisores. Verifica-se, assim que o consumo no modo de espera pode representar significativo impacto energético, e merece ser estudado com atenção.

O teste em todos os modelos de TV disponíveis no mercado é praticamente impossível, dada a imensa variedade de modelos e marcas, muitas das quais já foram descontinuadas e não poderiam ser adquiridas no mercado. Para fins dos estudos deste artigo foram analisados aparelhos de 20 polegadas, que correspondem a 37,7% das vendas. Foram adquiridos modelos dos três principais fabricantes, que respondem por 58% do mercado dos aparelhos de 20 polegadas, como mostra a Tabela III.

Embora nenhum dos três modelos tenha incorporado soluções que contemplem as normas de *standby*, não há dúvida de que os fabricantes possuem condições técnicas de atender a tais especificações, o que fazem para atender aos mercados que assim o exigem. No caso do Brasil a ausência de regulamentação, permite a colocação no mercado de aparelhos mais dispendiosos em termos de consumo energético.

As medições foram realizadas de acordo com os procedimentos já citados e os resultados estão mostrados na Tabela IV. As tensões utilizadas, embora não características das redes nacionais, são as especificadas pelas normas. Medições em outros valores de tensão certamente resultarão

em valores diversos. No entanto, isto não invalida as conclusões gerais deste artigo.

Apenas um modelo mostrou-se adequado às restrições do programa norte-americano de eficiência energética, pelo menos nos valores estipulados para julho de 2005. Nota-se também a grande discrepância entre os modelos testados, tanto no modo de operação normal quanto no de espera.

Pesquisas anteriores [13] realizadas em 321 modelos de TVs mostraram que a potência consumida pelos aparelhos em operação normal apresenta grande correlação com as dimensões da tela, enquanto para o consumo no modo de espera tal correlação não existe, como mostra a Figura 3. A correlação observada é entre o consumo em *standby* e o fabricante, ou seja, está relacionado à tecnologia utilizada.

Apesar da pequena amostra, os resultados da Tabela IV também indicam uma grande dispersão no consumo em *standby*. Em termos de uso residencial, as perdas de potência neste modo de operação giram em torno de 10% do total [14] e dependem muito da quantidade de aparelhos eletro-eletrônicos utilizados. Sendo o consumo residencial da ordem de 15%

Pode-se afirmar que o consumo no modo de espera depende basicamente da tecnologia empregada na realização da(s) fonte(s) chaveada(s) do aparelho, enquanto o consumo normal depende essencialmente da tecnologia do tubo.

Apesar do enfoque deste trabalho ser o do consumo no modo de espera, o consumo em operação normal deve ser levado em conta para efeito de aplicação do programa europeu *Eco-Label*, devido às restrições de fundo ambiental desta normativa, o que já não existe no *Energy Star*.²

TABELA III
Características de TVs dos três maiores fabricantes nacionais (dados de acordo com as especificações)

Modelo	Tensão/frequência	Consumo no modo ligado	Consumo em <i>standby</i>
20PT3331	Universal (90 a 255) V/ 50 ou 60 Hz	46W (aprox.) Condição de medida: não mencionada	< 3W Condição de medida: @220V
RP 20CB20A	Universal (100 a 240)V/ 50 ou 60 Hz	85W (máxima) Condição de medida: não mencionada	10W Condição de medida: não mencionada
HPS 2023	Universal (100 a 240)V / 50 ou 60 Hz	54 W \pm 10% Condição de medida: Tensão @120V, sinal "color bars", volume=15, brilho, contraste e cor = 50%	Não mencionada

*Foram omitidos os nomes dos fabricantes

TABELA IV
Valores medidos de consumo em *standby*

Modelo	Consumo em <i>Standby</i> [W]	
	115V	230V
20PT3331	1,78	1,96
RP 20CB20A	5,3	7,8
HPS 2023	5,85	8,1

*Foram omitidos os nomes dos fabricantes

² Em relação ao consumo de energia, o *Eco-Label* pretende promover:
– a redução dos danos ambientais ou dos riscos associados ao uso de energia (aquecimento global, redução dos recursos não-renováveis, etc.) pela restrição do consumo de eletricidade.

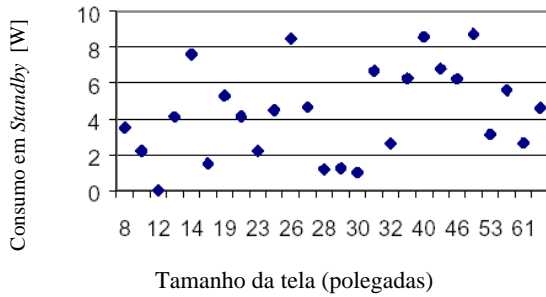


Fig. 3. Consumo médio em *standby* x tamanho da tela [13].

V. CRITÉRIO *ECO-LABEL* PARA TELEVISORES

O principal impacto ambiental relativo a um aparelho de TV é o consumo de energia durante sua operação, o que inclui seu funcionamento normal e no modo de espera.

O critério *Eco-Label* estabelece requisitos para modos *standby* passivo e ativo (veja tabela I), que são similares aos estabelecidos por outras entidades [15].

O *standby* ativo tem se tornado mais significativo à medida que os aparelhos utilizam este modo de recepção para uma série de operações, especialmente as relacionadas com facilidades de transmissões digitais, mesmo que o usuário não esteja vendo a programação. A integração de dispositivos receptores/decodificadores (IRD) requeridos pelos sistemas digitais de transmissão exige que o aparelho permaneça neste modo de *standby* ativo por longos períodos de tempo.

Também o consumo no modo de operação normal tem crescido à medida que melhorias na qualidade da imagem têm sido realizadas. O critério estabelecido para este modo de funcionamento indica que os aparelhos devem atingir um “índice de eficiência energética” (EEL_{on}) menor que 65% .

A. Critério *Eco-Label* para consumo em operação normal

O índice de eficiência energética em operação normal EEL_{on} é dado por:

$$EEL_{on} = P_{on} / P_{on, bc} \quad (1)$$

Onde:

- P_{on} é a potência consumida no modo normal de funcionamento.
- $P_{on, bc}$ é o valor base do consumo de energia da TV calculado de acordo com a fórmula:

$$P_{on, bc} = 16 + 16 \cdot idd + \frac{0.75 \cdot f \cdot ss + d \cdot 0.33 + 0.38 \cdot sa}{0.825} \quad (2)$$

- d está para *digit* é igual a 1 se a TV possui processamento digital para a varredura da tela e 0 em caso contrário.
- f está para *format* e é igual a 0,80 para uma tela padrão (formato 4:3), e 0,87 para tela larga (formato 16:9).
- ss está para *scrnsize* e é a diagonal da tela em cm.
- sa está para *scrnarea* e é a área da tela em dm^2 .
- idd é igual a 1 se a TV um decodificador digital integrado para sinais de TV digital, e 0 em caso contrário.

Para a solicitação do selo *Eco-Label* o fabricante deve um relatório de teste que indique os consumos nos modos de *standby* ativo, passivo e em operação normal, de acordo com os procedimentos da EN 50301 (“Methods of measurement on receivers for TV broadcast transmission”). O relatório deve conter também o valor base dado por (2).

B. Resultados experimentais para consumo no modo de operação normal

Os resultados medidos para operação normal e para o valor base, de acordo com (2), são mostrados na Tabela V. Os aparelhos verificados não possuem processadores digitais e suas telas são de 20 polegadas. São os seguintes os parâmetros:

- $d=0$;
- $f=0,8$;
- $ss=48cm$;
- $sa=1,06dm^2$;
- $idd=0$.

O valor base resulta $P_{on, bc}=58,18W$.

Como se pode verificar, a potência em *standby* (Tabela IV) e EEL_{on} (Tabela V) é clara a não-conformidade de todos os aparelhos com o padrão *Eco-Label*. O modelo 20PT3331, que apresentou $EEL_{on}=0,68$ e uma potência de *standby* de 1,96W (230V – tensão padrão européia), é o que mais se aproxima. Em relação ao *Energy Star*, este aparelho teve um consumo em *standby* de 1,78W (115V – tensão padrão norte-americana) o que satisfaria o limite de 3W, válido até julho de 2005.

TABELA V
Índice de Eficiência Energética *Eco-Label*

Modelo	“On mode” (P_{on}) [W]		Caso base ($P_{on, bc}$) [W]	EEL_{on}	
	115V	230V		115V	230V
20PT3331	39,6	--	58,18	0,68	--
RP 20CB20A	67	72		1,15	1,23
HPS 2023	41	43,2		0,70	0,74

*Foram omitidos os nomes dos fabricantes

Na seção seguinte são indicados alguns procedimentos atualmente já disponíveis para obtenção de baixo consumo no modo *standby* e que poderiam ser incorporados a qualquer aparelho de TV.

VI. PERDAS NAS FONTES DE ALIMENTAÇÃO E TECNOLOGIAS EMERGENTES DE *STANDBY*

Os fabricantes de semicondutores informam que 25% da potência consumida das fontes de alimentação chaveadas ocorrem quando o equipamento alimentado está no modo de espera, enquanto 75% deve-se à operação normal. Além disso, melhorias de desempenho das fontes poderiam aumentar a eficiência global do sistema de alimentação de 60% para 75%, implicando numa economia de energia de 15% [16].

A Figura 4 ilustra, para o conversor *fly-back*, que é o mais utilizado em aparelhos de TV e de áudio, as origens das perdas tanto no modo de operação normal quanto em *standby*.

Há diversos aspectos de uma fonte chaveada que podem ser melhorados a fim de reduzir o consumo em *standby*. As perdas podem ser divididas em duas categorias: perdas por condução e por comutação [17].

As perdas em condução no transistor (normalmente um MOSFET) são relacionadas à resistência dreno-fonte $R_{DS(on)}$. A redução desta perda ocorrerá com a seleção adequada do componente. Por outro lado, a redução da resistência normalmente se dá em componentes que apresentam maiores capacitâncias, o que aumenta as perdas de comutação. Deve-se, pois, buscar uma solução de compromisso para a redução global das perdas.

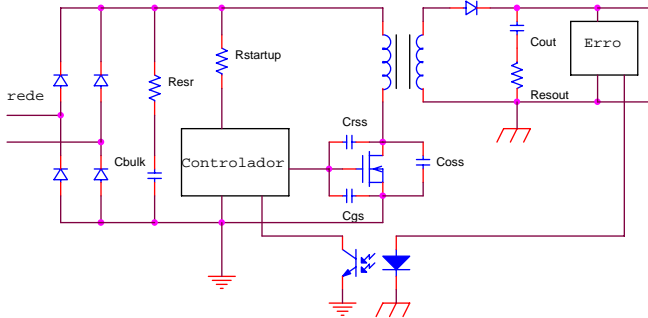


Fig. 4. Conversor *fly-back* e principais origens de perdas.

De uma maneira geral, a potência processada pelo conversor é dada por:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{pk}^2 \cdot f_{sw} \quad (3)$$

Esta equação considera que, em cada período de comutação, a energia acumulada na indutância (L) do enrolamento de entrada do transformador durante a condução do transistor é entregue à saída, no intervalo de condução do diodo. I_{pk} é o valor de pico da corrente, no momento em que o transistor desliga e f_{sw} é a frequência de comutação.

Numa situação em que não se procure reduzir as perdas no modo de espera, o conversor continua a operar na mesma frequência de trabalho, com uma redução no valor de pico da corrente (devido à diminuição do tempo de condução do transistor, supondo uma regulação da tensão de saída). No entanto, outros elementos de perdas continuam a atuar, como as perdas associadas às capacitâncias do transistor (genericamente designadas por C), que dependem da tensão de alimentação:

$$P_{cap} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_{dc}^2 \cdot f_{sw} \quad (4)$$

A minimização destas perdas não se dá com a operação normal do conversor e necessita de alguma estratégia adicional, relacionada à redução da frequência de comutação.

A. Operação intermitente

Neste modo de funcionamento o comando para transistor é aplicado de modo intermitente. Isto pode ser feito monitorando-se o sinal de realimentação da tensão de saída, ou o sinal de referência para geração da largura do pulso. Quando se ultrapassa um certo limiar destes sinais, o envio dos pulsos para o transistor deixa de ser contínuo e se dá em

pequenos grupos, como ilustra a Figura 5, na qual $P1 < P2 < P3$ [18].

B. Redução da frequência de comutação

Neste caso o sistema de controle do conversor, ao detectar uma situação de carga leve, reduz a frequência de comutação. Deste modo consegue-se minimizar as perdas quando a carga é reduzida mas não se perde o desempenho desejado na situação de carga elevada, quando se tem comutação na frequência de projeto.

Considere-se um conversor *fly-back* controlado no modo corrente, com frequência de trabalho variável. Observe na Figura 6 que o ajuste de frequência não é contínuo. A variação da frequência é feita monitorando o pino do CI no qual se tem o sinal de realimentação do valor da corrente no primário do transformador [19]. Se tal valor diminui (como consequência da redução da demanda de potência) a tensão neste pino diminui. Ao atingir o valor V_{T1} ocorre uma diminuição da frequência, passando a seguir a curva f_{SB} . O aumento na demanda faz com que a tensão na entrada de sensoramento do CI aumente. Ao atingir o valor V_{T2} a curva de variação da frequência é alterada para a indicada por f_{OSC} , que corresponde à operação normal do conversor e que sempre tem um valor mais elevado que o definido na outra curva, a qual é seguida no modo *standby*. A redução nas perdas depende da relação entre a frequência máxima e a mínima. Existe um contínuo ajuste de frequência de modo a acompanhar a demanda de potência da carga. A histerese presente entre as curvas serve para evitar que se altere muito frequentemente a curva de regulação quando a potência está perto do limiar considerado de *standby*.

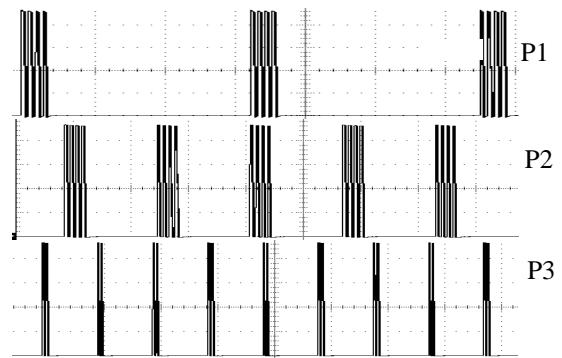


Fig. 5. Operação em modo intermitente para diferentes potências de saída. Horiz.: $5\mu s/div$.

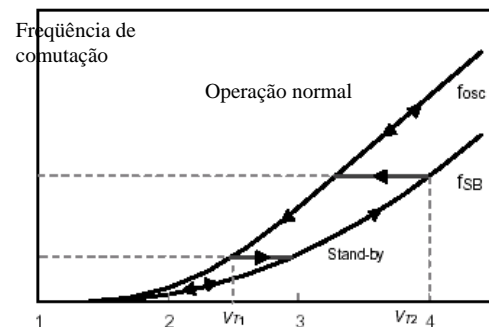


Fig. 6. Controle da potência por variação da frequência. Frequência de comutação (eixo vertical) x tensão do sensor (eixo horizontal).

C. Outros fatores para redução das perdas

Um componente responsável por significativas perdas é o capacitor de entrada. Trata-se de um capacitor eletrolítico e que apresenta, especialmente na frequência de comutação, uma importante resistência série equivalente. O uso de capacitores apropriados para alta frequência, ou a associação de capacitores é importante para minimizar este efeito.

Em relação aos circuitos integrados que realizam o controle e o comando do conversor, além de terem a capacidade de operar no modo de espera com baixo consumo (utilizando um dos métodos apresentados anteriormente), é preciso que o próprio controlador, que sempre está em operação, seja de baixo consumo. Este CI deve ser alimentado diretamente do barramento de tensão alta, evitando a necessidade de outros enrolamentos no transformador [18].

VII. ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA

Esta análise estima a redução anual no consumo de energia e na emissão de CO₂ (considerando geração de energia a partir de uma central a gás natural, para 48gCO₂/Wh [20]) associadas ao uso de aparelhos de TV com maior eficiência energética.

A análise em termos de emissão de CO₂ é pertinente pois todas as medidas de consumo de energia, em termos mundiais, são feitas neste equivalente em virtude dos impactos ambientais globais.

Mesmo que a geração de eletricidade no Brasil seja predominantemente hidráulica, na matriz energética esta parcela corresponde apenas a 13% do total de energia consumida. Quase 50% da energia provém do petróleo, enquanto 7% vem do carvão [21]. Desta forma, uma economia de energia elétrica (mesmo que de fonte hidráulica) representa, pela substituição, a possibilidade de redução de consumo de outros insumos energéticos que gerem CO₂ de maneira direta.

O mercado anual nacional de aparelhos de 20 polegadas (2004) é de aproximadamente 2.250.000 unidades [11].

Muitos fatores devem ser levados em consideração para as estimativas desta seção, quais sejam:

- Tempo em *standby*: Para o conjunto dos grupos sociais, o tempo médio de uso de TV é de 6,6 horas por dia, de modo que o aparelho permanece em *standby* por 17,4 horas [11].
- Divisão de mercado: A participação de cada fabricante está indicada na Tabela VI. Uma vez que o consumo varia entre os fabricantes, é preciso fazer esta ponderação.
- Consumo em *standby*: Quando possível, os valores foram calculados a partir de valores medidos e não dos indicados nos manuais dos fabricantes. Quando não disponível, considerou-se o valor do manual ou, na ausência deste, a situação mais conservadora (em termos de economia de energia). Para uma alimentação em 220 foi estimado um aumento de 10% no consumo.
- Aumento de vendas de 15% foi estimado para 2005 [22].

Decorrente destes dados, tem-se uma potência média ponderada em *standby* de 3,45W @ 115V e de 4,37 W @ 230 V. Considerando que é desejável (de acordo com as normas) um consumo inferior a 1W, pode-se estimar a

redução de consumo destes aparelhos, apenas no estado de espera em 5,32 MW em 115 V ou 7,32 MW em 230V.

TABELA VI
Divisão do Mercado Nacional

Modelo	Standby (valor do manual) [W]	Standby medido [W]		Participação
		115V/230V	115V 230V	
TV 2090AV	3,0/3,3			23%
20PT3331	< 3,0 (220V)	1,78	1,96	21%
HPS 2023	Não declarado	5,85	8,1	14%
RP 20CB20A	10	5,3	7,8	13%
TP-2053	< 2,5/2,75			13%
Outros fabricantes	Não fornecido	(assumido como <1W)		16%

*Foram omitidos os nomes dos fabricantes

Note que esta estimativa considera 84% do mercado de TVs de 20 polegadas, já que para os 16% faltantes foi assumido que já estivessem atendendo às normas. Conforme já informado, o mercado destas TVs representa pouco mais de 1/3 do total.

A Tabela VII apresenta um sumário das reduções de potência, energia e emissão de CO₂.

TABELA VII
Impacto da conformidade com as normas de consumo em standby em aparelhos de TV de 20 polegadas

Tensão [V]	Dados técnicos e econômicos			Resultados		
	Potência [W]	Vendas 2005	Tempo em <i>standby</i> [h]	Redução de potência [MW]	Economia de energia [GWh]	Redução de CO ₂ [Gg]
115	3,45	2.590.000	17,4	5,32	33,85	16,25
230	4,37	2.590.000	17,4	7,32	46,56	22,35

VIII. CONCLUSÕES

A implementação de uma regulamentação que leve à redução de consumo de aparelhos eletro-eletrônicos operando no modo de espera, combinada com outras medidas de aumento da eficiência energética em aparelhos eletro-eletrônicos pode representar significativo impacto em termos de redução de consumo.

Considerando apenas o caso de aparelhos de TV de 20 polegadas, utilizando valores medidos ou fornecidos pelos fabricantes, assim como a divisão do mercado brasileiro, a definição de um consumo máximo de 1W leva a uma redução de consumo de 33,85 GWh (alimentação em 115V), o que representa (em 2005) um valor de aproximadamente R\$8.530.000,00 (para um custo de R\$252/MWh). De significativo impacto social e econômico, considerando o Protocolo de Kyoto, tem-se uma não-emissão de CO₂ de 16,25Gg. Resultados ainda mais expressivos são obtidos considerando a alimentação dos aparelhos em 220/230V.

Tomando-se um valor médio entre os resultados para estas tensões, chega-se a uma economia de 6,32 MW e 40,2 GWh.

Algumas soluções tecnológicas a serem incorporadas nestes aparelhos já estão disponíveis e o não uso das mesmas deve-se à ausência de regulamentação específica.

Melhorias adicionais nos projetos das fontes de alimentação que permitam elevar o rendimento global (em

operação normal) em alguns valores percentuais terão impacto também nesta ordem de grandeza, o que serve como estímulo contínuo ao aperfeiçoamento destes circuitos.

Finalmente, dada a crescente presença de aparelhos eletroeletrônicos em ambientes residenciais é importante que sejam estabelecidas normas específicas no país sobre este tema, a exemplo do que vem ocorrendo em muitos outros países, demonstrando a importância desta ação [23-26].

REFERÊNCIAS

- [1] Lei 10.295/2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Subsecretaria de Informações do Senado Federal, 17/outubro/2001. Decreto 4.059 - Regulamenta a Lei no 10.295. Subchefia para Assuntos Jurídicos da Casa Civil da Presidência da República, 19/dezembro/2001.
- [2] S. Wiel and J. E. McMahon, *Energy-Efficiency Labels and Standards: A Guidebook for Appliances, Equipment, and Lighting*. Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP), 2001, 205p.
- [3] Energy Star – Government-backed program helping businesses and individuals protect the environment through superior energy efficiency. <http://www.energystar.gov/>
- [4] European Environmental Labeling Program -ECO-LABEL http://europa.eu.int/comm/environment/Eco-Label/index_en.htm
- [5] Projeto de Lei - PL-3893/2004. “Altera o art. 2º da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, estabelecendo limite para o consumo de eletricidade por aparelhos operando em modo de espera”. http://www.camara.gov.br/Internet/sileg/Prop_Detalhe.asp?id=259696
- [6] G. M. Jannuzzi, G. C. Queiroz, E. A. Vendrusculo, T. Borges, J. A. Pomilio. “A life-cycle cost analysis (LCCA) for setting energy-efficiency standards in Brazil: The case of residential refrigerators.”, *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry 2003 Sustainability and Industry: Increasing Energy Efficiency and Reducing Emissions*. Julho de 2003.
- [7] A. Meier; “Research Recommendations to achieve energy savings for electronic equipment operating in low power modes”, Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), September 30, 2002. <http://www.standby.lbl.gov/>
- [8] CENELEC - European Committee for Electrotechnical Standardization <http://www.cenelec.org/Cenelec/Homepage.htm>
- [9] “IEC 62301 Ed 1 – Measurement of Standby Power”, IEC (International Electrotechnical Commission). Novembro, 2003. <http://www.energyrating.gov.au/library/detailsiec-standbydraft2003.html>.
- [10] Lawrence Berkeley National Laboratory - LBNL, “Standby Power Home Page”, 2002. Disponível em: http://www.standby.lbl.gov/Measuring/PLM1_LP.html
- [11] Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL: “Projeto Modelo de Implantação da TV digital no Brasil – Relatório Produto III, Análise das Condições Brasileiras para a Introdução da Tecnologia Digital na Transmissão Terrestre de Televisão”, Disponível em: http://www.anatel.gov.br/radiodifusao/tv_digital/analise_030_2002.pdf
- [12] Ministério de Minas e Energia, Oferta e demanda de energia por fonte 1987/2002. Balanço Energético Nacional 2003. Brasília: MME, 168p, 2003. Disponível online no site: <http://www.mme.gov.br/paginasInternas.asp?url=../ben/>
- [13] K. B. Rosen e A. K. Meier, “Energy Use of Televisions and Videocassette Recorders in the U.S.”, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory. <http://eetd.lbl.gov/ea/reports/42393/>, 1998.
- [14] Lawrence Berkeley National Laboratory - LBNL, “Standby Power Tours”, 1999. Disponível em: <http://www.standby.lbl.gov/HomeTours/HomeTours.html>
- [15] J. Poll, P Dolley, Dr N Varey; “Development of EU Eco-Label criteria for televisions. Report produced for Department for Environment, Food & Rural Affairs”, *AEA Technology Environment*, January, 2002.
- [16] Dhaval Dalal, “Enabling Efficient Solutions for Power Supplies”, ON Semiconductor, Junho 2004, disponível em: http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/power_supplies/OnSemiPresentation.pdf
- [17] M. Rayabhari, “Cutting Stand-by Power”, *IEE Power Engineer Magazine*. Volume 17, Issue 2, pp. 38-40. Abril 2003.
- [18] On Semiconductor Components Industries, “PWM Current-mode controller for high-power Universal off-line supplies” NCP1216/D, Setembro de 2004. Disponível em: <http://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=NCP1216>
- [19] ST Microelectronics: “Primary Controller with Standby (L5991:High Performance Pwm Controllers)”. Disponível em: <http://www.st.com/stonline>
- [20] United Nations Environment Programme (UNEP): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Londres, 1996. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>
- [21] Eletrobrás S.A., *Matriz Energética Brasileira*, disponível em <http://www.eletobras.gov.br>, 2001.
- [22] Brazil Focus – Datamark. <http://www.datamark.com.br>
- [23] K. Jones, “Australian Mandatory Standards for Consumer Electronic Equipment”, *CD-ROM of International Energy Efficiency in Domestic Appliances & Lighting Conference*, EEDAL 2006, Londres, Junho de 2006.
- [24] T. Ueno, “Evaluation of the Influence of Energy Saving Activities on Benefit in the Residential Buildings”, *CD-ROM of International Energy Efficiency in Domestic Appliances & Lighting Conference*, EEDAL 2006, Londres, Junho de 2006.
- [25] E. Gudbjerg, “Standby consumption in private homes socio-economic studies, mapping and measuring

reduction? What works: campaigns or hardware solutions?”, *CD-ROM of International Energy Efficiency in Domestic Appliances & Lighting Conference*, EEDAL 2006, Londres, Junho de 2006.

- [26] A. Fanara The Proliferation of Miscellaneous Products in the Residential Electricity Sector and Initiatives to Address Them, *CD-ROM of International Energy Efficiency in Domestic Appliances & Lighting Conference*, EEDAL 2006, Londres, Junho de 2006.

DADOS BIOGRÁFICOS

Edson Adriano Vendrusculo é Engenheiro Eletricista pela UDESC, Santa Catarina (1993), mestre (1996) e doutor (2001) em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas.

Com experiência no ensino superior, atualmente é pesquisador junto ao Laboratório de Condicionamento de Energia Elétrica do DSCE-FEEC-UNICAMP e membro do International Energy Initiative. Foi membro do Comitê Técnico do COBEP 2005. Suas áreas de pesquisa referem-se à eficiência energética de equipamentos eletro-eletrônicos, controle digital aplicado a conversores eletrônicos e acionamentos elétricos.

Dr. Vendrusculo é membro da SOBRAEP.

José Antenor Pomilio, é engenheiro eletricista, mestre e doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas.

De 1988 a 1991 foi chefe do grupo de eletrônica de potência do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron.

Realizou estágios de pós-doutoramento junto à Universidade de Pádua e à Terceira Universidade de Roma, ambas na Itália. Foi presidente da Associação Brasileira de Eletrônica de Potência – SOBRAEP e membro do comitê administrativo da IEEE Power Electronics Society. Foi editor da revista Eletrônica de Potência. Atualmente é editor associado da IEEE Trans. on Power Electronics e da revista Controle & Automação e membro do Conselho Superior da SBA. É professor Titular da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp, onde é docente desde 1984.

Dr. Pomilio é membro da SOBRAEP, da SBA, da SBPC e Senior Member do IEEE.

Gilberto de Martino Jannuzzi é professor associado da Faculdade de Eng. Mecânica da Universidade Estadual de Campinas. Obteve o grau de Ph.D. em 1985, no grupo de pesquisas em Energia da Universidade de Cambridge, Reino Unido.

Foi cientista visitante do Lawrence Berkeley National Laboratory, Califórnia (1988, 1990 e 1999). Atua na área de Eficiência Energética, tendo sido consultor do PROCEL, da ANEEL, de diversas empresas da área de energia e de organismos internacionais, como UNDP, UNEP, Banco Mundial, IIEC, OLADE, IEA, USAID. Foi coordenador técnico do CTENERG. Possui mais de 40 artigos publicados em revistas internacionais, 4 livros e mais de 100 outros artigos e relatórios. Orientou 16 dissertações de mestrado e 6 teses de doutorado.

Dr. Jannuzzi é diretor para a América Latina da International Energy Initiative.