

SISTEMA FOTOVOLTAICO DE CAPTAÇÃO DE ENERGIA PARA CARGA DE APARELHOS CELULARES EM AMBIENTES FECHADOS

Jayme Milanezi Junior – jmilanezi@gmail.com

João Paulo Carvalho Lustosa da Costa – joaopaulo.dacosta@ene.unb.br

Ronaldo Sebastião Ferreira Junior – ronaldojr@aluno.unb.br

Marco Antonio Marques Marinho – marco.marinho@ieee.org

Rafael Amaral Shayani – shayani@ene.unb.br

Rafael Timóteo de Sousa Junior – desousa@unb.br

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília

Resumo. Avanços da pesquisa em ciência de materiais tem melhorado gradualmente a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. No entanto, tais sistemas estão limitados a funcionar na presença de luz solar, e eles também dependem da localização geográfica e do período do ano, geralmente limitado a 6 a 8 horas por dia. A fim de tornar máximo o aproveitamento de painéis solares, é fundamental usá-los também em tempo nublado ou mesmo à noite. Portanto, neste artigo, propomo-nos a reciclar a energia de luz artificial para permitir que os sistemas fotovoltaicos sejam usados ao longo de 24 horas por dia. Nós validamos a nossa proposta, por meio de medições realizadas usando luz artificial em ambientes fechados. Como resultado prático, mostramos que seis horas de recarga em ambientes internos implica em 2,63% da capacidade total da bateria do telefone celular. Além disso, propomos um circuito para carregamento de uma bateria de um telefone celular.

Palavras-chave: Energia luminosa artificial, captação de energia artificial, circuito de carga

1. INTRODUÇÃO

Atualmente tem-se tornado significativamente importante explorar novas fontes de energia, uma vez que as demandas energéticas têm crescido mais que a produção, especialmente próximo aos grandes centros urbanos. Outro fato relevante é que a geração de energia próxima às áreas de consumo implica em benefícios no que diz respeito a infraestrutura. Como consequência, são adiados investimentos bem como são diminuídas perdas, já que toda a cadeia de suprimento de energia elétrica é composta de parcelas de investimentos obrigatórios ao longo de todos os ativos envolvidos em geração e distribuição de energia. Se residências e escritórios geram parcialmente a energia consumida por eles, é esperado que a demanda total energética do grid de suprimento comercial possa ser reduzido.

Existem muitas fontes de energia que não são, ou que são raramente, usadas para geração de energia. De acordo com Ali (2010) e Paradiso et al. (2005), aspectos técnicos possibilitam a energia luminosa ser um das mais promissoras fontes de energia, apesar da razão densidade de energia relativa com a área ou volume ser uma das maiores para ela. Em um ambiente aberto, ao meio-dia, a taxa de energia disponível para uma célula solar alcança 15 mW/cm^2 . Por exemplo, um pequeno gerador piezoelétrico usado para captar energia de movimentos de sapatos atinge $330 \text{ } \mu\text{W/cm}^3$; um gerador elétrico a ($10 \text{ }^\circ\text{C}$) produz em torno de $40 \text{ } \mu\text{W/cm}^3$; um gerador de ruído acústico (100 dB) alcança abaixo de $1 \text{ } \mu\text{W/cm}^3$ (Ali, 2010).

Neste artigo, nós avaliamos se a energia luminosa artificial constitui uma fonte explorável de energia em termos de sistemas de captação de energia. De acordo com (Afsar et al., 2012), a captação de energia envolvendo ambientes fechados provê energia com três ordens de magnitude menor do que em ambientes abertos. Em publicações recentes, (Afsar et al., 2012), (Gorlatova et al., 2011), (Weddell et al., 2011), (Yu et al., 2011), (Carvalho et al. 2012), (Somov et al., 2012), existe um interesse crescente em captação e energia em ambientes fechados. Entretanto, em (Gorlatova et al., 2011), (Weddell et al., 2011), (Yu et al., 2011), (Carvalho et al. 2012), (Huang et al., 2011), (Yu et al., 2010), (Park et al., 2012) e (Guilar et al., 2009), o objetivo era suprir um nó de uma rede de sensores. Devido a importância de recargar de dispositivos portáteis, neste artigo, nós realizamos medições a fim de verificar a possibilidade de suprir a bateria de um telefone celular usando luz artificial. Como uma contribuição adicional, nós também propomos um circuito de carga para um telefone celular usando luz artificial e nós mostramos a eficiência do nosso circuito proposto por meio de simulações.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: Seção 2 apresenta uma revisão do estado-da-arte. A Seção 3 reporta resultados sobre as medições realizados em ambientes fechados com um painel solar a fim de caracterizar as correntes de circuitos aberto e de curto circuito em baixos níveis de luminosidade. O perfil de armazenamento de energia, os ciclos de carga e de descargas do telefone celular são apresentados na Seção 4. A Seção 5 discute um experimento

em ambiente fechado para verificar a capacidade de carga de um aparelho celular utilizando um painel solar usando luz artificial e contando com um circuito conversor interposto de rajada. Este artigo é concluído na Seção 6.

2. REVISÃO DO ESTADO-DA-ARTE

De acordo com (Afsar et al., 2012), dispositivos fotovoltaicos são otimizados classicamente para o espectro da luz solar. A iluminação através de lâmpadas fluorescentes eficientes e de LEDs tem substituído lâmpadas incandescentes, de tal forma que o perfil do espectro da luz artificial alterou-se de espectro largo, originado por corpo negro, para espectro estreito e em pico. A Tab. 1 apresenta uma comparação entre os painéis de Silício cristalino (c-Si), de Silício amorfo (a-Si) e orgânico fotovoltaico (OPV) maciço P3HT/PCBM em experimentos com a luz solar, lâmpada fluorescente compacta (CFL), lâmpada fluorescente de catodo-frio (CCFL) e LED (Afsar et al., 2012). Baseado na Tab. 1, um painel de a-Si é mais indicado para luz artificial em ambientes fechados do que os outros painéis.

Tabela 1 - Valores máximos de eficiência para o silicone cristalino, silicone amorfo e células solares orgânicas BHJ sob diferentes espectros da luz incidente (Afsar et al., 2012).

MATERIAL FOTOVOLTAICO	FONTE LUMINOSA			
	Solar	CFL	CCFL	LED
Silicone Cristalino	49%	50%	52%	54%
Silicone Amorfo	37%	74%	70%	80%
OPV	28%	63%	59%	63%

Em (Yu et al., 2011), uma célula fotovoltaica amorfa (PV) tem uma eficiência relativamente alta em baixos níveis de luminosidades em comparação aos outros tipos de células. Tal propriedade faz com que estas células sejam mais indicadas para ambientes fechados e para ambientes com baixos níveis de energia luminosa. Outros tipos de painéis, como c-Si, tem um desempenho mais alto para ambientes abertos se comparados com ambientes fechados devido ao escasso espectro da luz artificial, conforme exemplificado na Fig. 1 (Afsar et al., 2012).

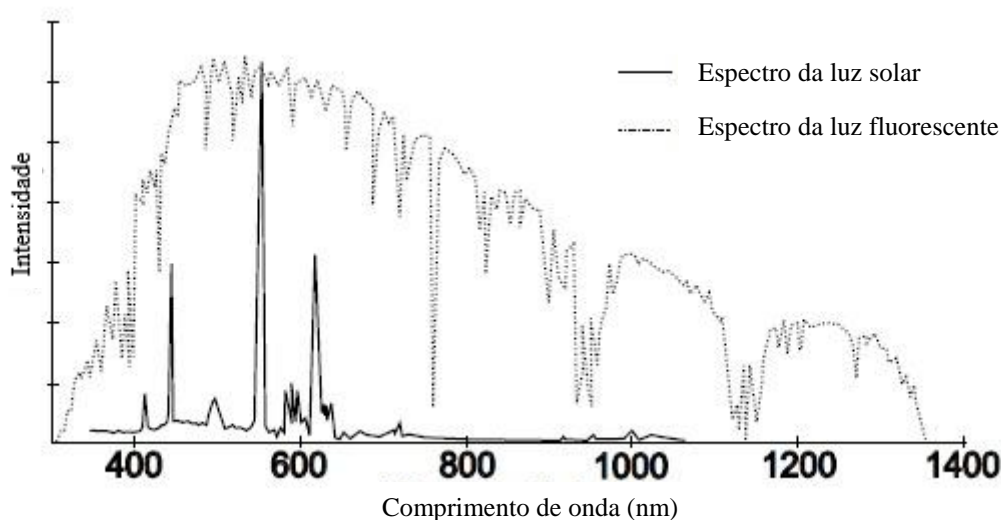


Figura 1 – Espectros típicos da luz solar em AM 1,5 e da luz emitida por uma lâmpada fluorescente a catodo frio.

3. MEDIÇÕES EM CURTO-CIRCUITO E EM CIRCUITO ABERTO PARA AMBIENTES FECHADOS COM O PAINEL SOLAR DE SILÍCIO AMORFO

Nesta seção, são apresentadas medições realizadas com o painel solar de Silício amorfo (a-Si) sem que houvesse carga a ele conectada. Nosso foco aqui é apenas observar o comportamento do painel a-Si utilizando-se uma fonte luminosa em ambiente fechado.

Dado que lâmpadas incandescentes estão caindo em desuso, neste artigo apenas lâmpadas fluorescentes e LED são consideradas. Como mostrado na seção anterior, este fator foi determinante para a escolha de um painel solar em Silício amorfo, por este oferecer maior eficiência para produzir potência a partir de tais espectros. Outra razão para se escolher

o painel a-Si foi o seu mais baixo custo. Deste ponto em diante, todos os resultados relatados neste artigo são aqueles obtidos por meio de medições realizadas em nosso laboratório.

Um painel solar a-Si com corrente máxima de $I_{max} = 200$ mA e máxima tensão $V_{max} = 6$ V, cujas dimensões são 95 mm x 110 mm foi empregado nos experimentos aqui apresentados. A medição abarcou 54 registros, tendo sido o painel solar submetido a várias intensidades de fluxo luminoso. As variáveis de interesse foram tensão de circuito aberto (V_{oc}) e corrente de curto-circuito (I_{sc}), em função dos lux incidentes. Uma lâmpada LED 8 W de bulbo branco (temperatura de cor 4.700 K) foi utilizada nestas medições. As Figs. 2 e 3 mostram as curvas obtidas. A intensidade e o espectro da luz emitida pelo LED foram mantidas constantes ao longo do processo, enquanto as distâncias entre o LED e o painel foram variadas, de modo a prover diferentes intensidades da luz incidente.

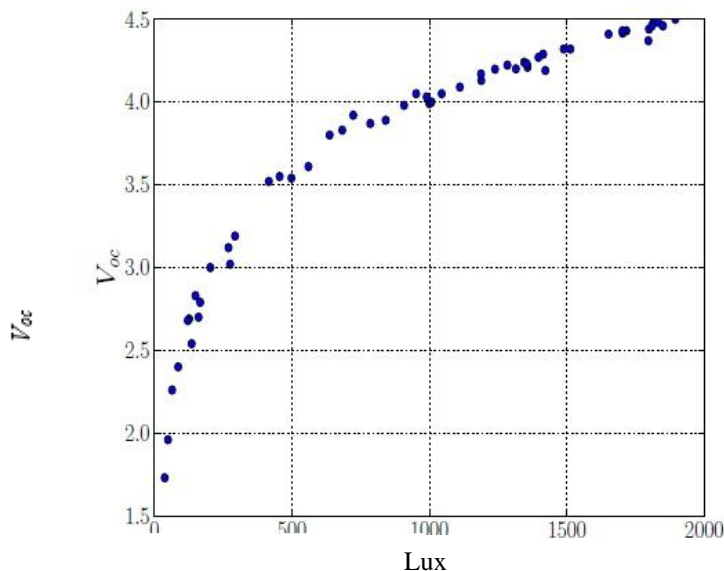


Figura 2 – Intensidade da luz absorvida (Lux) versus tensão, em Volts, de circuito aberto (V_{oc}) do painel solar 95 mm x 110 mm, iluminado por uma lâmpada LED de 8 W.

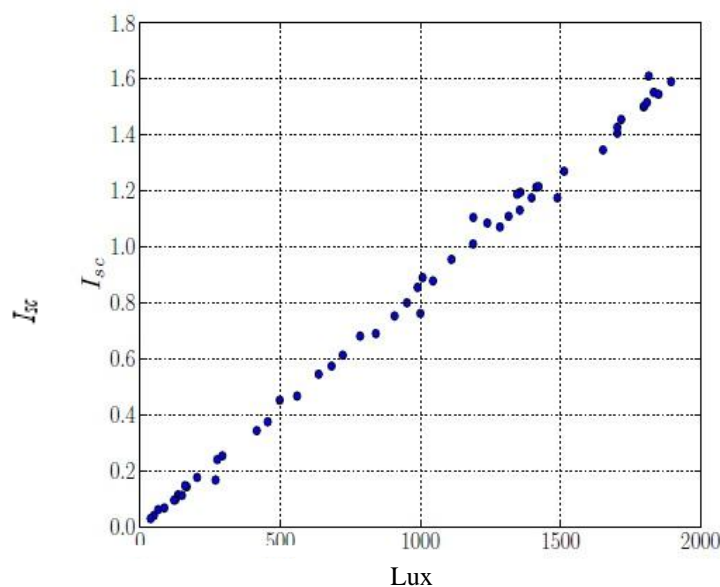


Figura 3 – Intensidade da luz absorvida (Lux) versus corrente, em miliampères, de curto-circuito (I_{sc}) do painel solar 95 mm x 110 mm, iluminado por uma lâmpada LED de 8 W.

Das curvas das Figs. 2 e 3, Eq. (1) e Eq. (2) podem ser escritas sobre as relações entre V_{oc} e Lux bem como entre I_{sc} e Lux , como se segue:

$$V_{oc} = -0.68789 + 0.68159 \ln(Lx), \quad (1)$$

$$I_{sc} = 0.00074 + 0.00084 Lx. \quad (2)$$

Da Eq. (1) e Eq. (2), obtivemos valores do Coeficiente de Determinação (R^2), respectivamente, de 99,52 % e 99,65 %. Portanto, ambas as equações apresentam uma ótima aproximação com as curvas das Figs. 2 e 3. A significância das variáveis independentes foram de 0,01 % em ambos os casos. Invertendo os termos da Eq. (1), encontra-se a expressão $Lx = 1,0092e^{1,46716.V_{oc}}$. Uma vez que as células fotovoltaicas são fontes de corrente limitadas à tensão, a relação entre intensidade da luz (Lx) versus corrente de curto-circuito (I_{sc}) é linear, tal como mostrado na Fig. 3.

4. PERFIL DE RECARGA DA BATERIA DO TELEFONE CELULAR

Nesta seção, medições foram feitas conectando o celular diretamente na tomada de energia residencial padrão. O foco aqui é determinar o comportamento da bateria ao ser carregada.

Os experimentos a seguir empregaram o aparelho celular Samsung B3210, o qual utiliza uma bateria recarregável de íons de lítio de 800 mAh. A bateria foi inicialmente descarregada por completo para que fosse então recarregada com ligação à tomada residencial, cujos valores de saída são 220 V a 60 Hz.

Apenas a corrente foi medida ao longo do tempo de recarga. A corrente é máxima no início do processo de recarga e permanece praticamente constante até o início do seu decaimento. Isso caracteriza um regime de recarga de dois estágios. A medições são realizadas a cada minuto e em cada medição os dados sobre corrente e tensão são coletados tornando possível o cálculo da potência instantânea transmitida. O celular permaneceu desligado durante todo o processo.

A curva da Fig. 4 apresenta dois perfis, primeiro um decaimento linear até o 84º minuto e apresentando um decaimento exponencial após essa marca. A expressão da corrente I em função do tempo t em minutos é dada pela Eq. (3) e Eq. (4).

$$\text{para } 0 \leq t < 84, I = -0.00052t + 0.4522, \quad (3)$$

$$\text{para } 84 \leq t \leq 138, I = 11.6674e^{-0.0412t}. \quad (4)$$

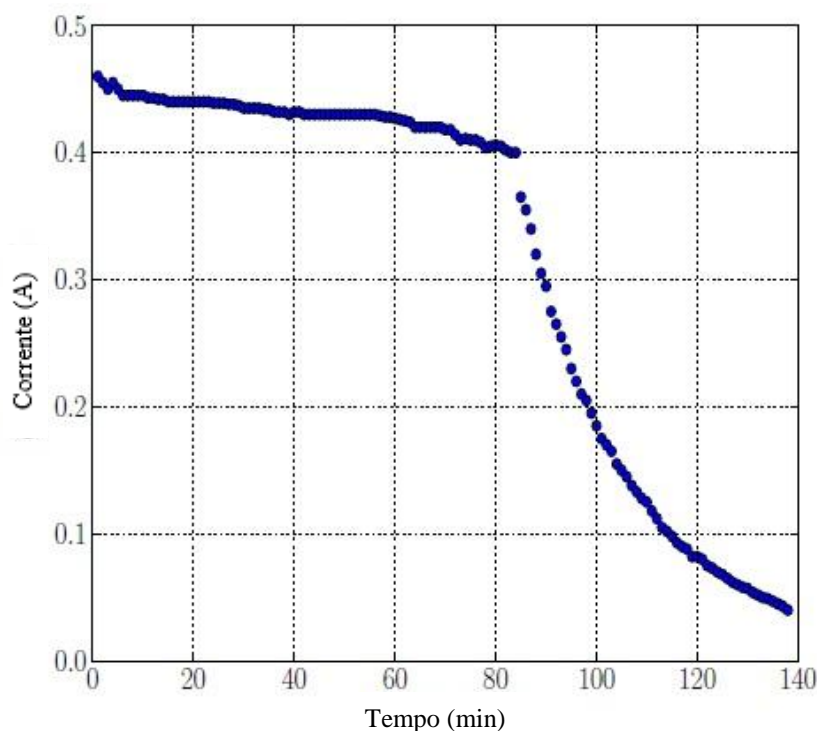


Figura 4 – Curva da corrente de carga do celular recebendo energia diretamente da tomada.

Os Coeficientes de Determinação R^2 para as Eq. (3) e Eq. (4) são, respectivamente, de 91,67 % e 99,77 %.

De acordo com (chargeall.com, 2013), há duas fases na recarga da bateria de lítio-íon: a primeira fase corresponde a uma carga rápida, ao passo que a segunda etapa, uma carga lenta, começa quando a tensão atinge o seu máximo. A carga na bateria varia, então, de 70 % a 100 %. Isto está de acordo com a Fig. 4.

Durante todo o ciclo de carregamento, foi transferido para a bateria do telefone celular 3,714 Wh de energia ao longo de 138 minutos. Considerando a quantidade de ampère hora de bateria, que é 800 mAh, e que 800 mAh de energia através de 138 minutos requer de cerca de 4,643 V, podemos ver que é bastante próximo da tensão nominal da célula de bateria, uma vez que 4,643 V corresponde a 97,75% de 4,75 V. Em seguida, esse montante de energia (3,714 Wh) é considerado como o valor médio de referência para a quantidade de energia necessária para carregar totalmente a bateria do dispositivo eletrônico.

A tensão ao longo de saída do conversor de energia permaneceu sempre entre 4,99 V e 5,11 V. Então, vale a pena caracterizar esta bateria como uma resistência variável vista pela fonte ao longo do tempo de recarga, o que é feito na Fig. 5. Valores instantâneos de impedância foram obtidos com o quociente da tensão sobre corrente. A curva da Fig. 5 é muito próxima ao inverso dos valores contidos na curva da Fig. 4. A expressão para a impedância da bateria R em função do tempo, na parte direita do gráfico (a partir do 84º minuto), é agora $R = 0,446215e^{0,040855t}$ correspondendo a o inverso de (4), multiplicado pela tensão. Em todo este trabalho, adotamos a premissa de que o comportamento da bateria é o mesmo de uma carga resistiva R .

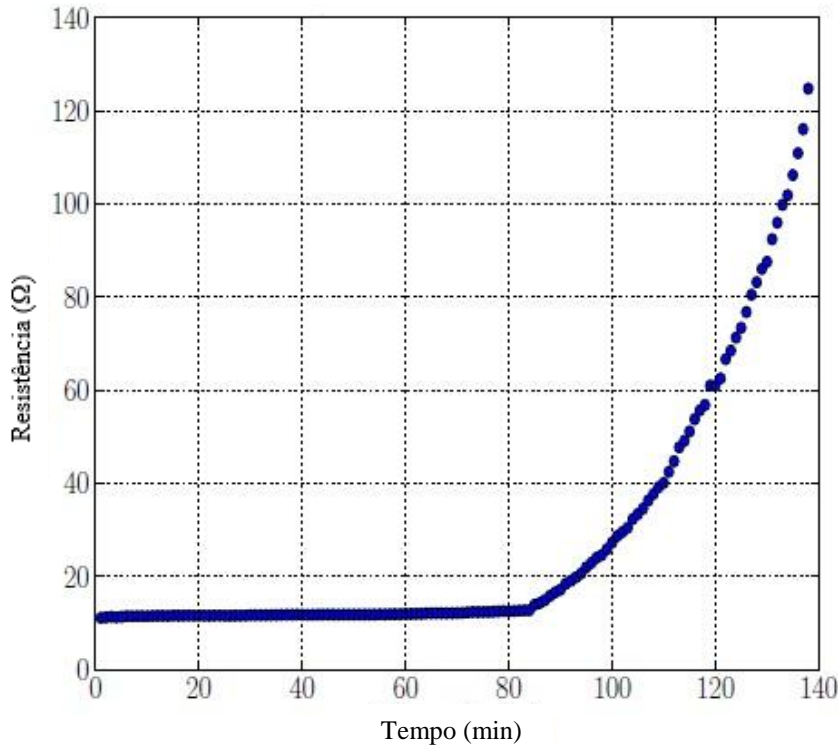


Figura 5 – Impedância (Ω) da bateria do celular vista pela fonte de energia.

5. EXPERIMENTOS INDOOR USANDO LUZ ARTIFICIAL

Neste experimento, o telefone celular é carregado utilizando luz artificial. A fim de executar as medições em nesse tipo de cenário, foi concebido o ambiente da Fig. 6, que mostra a escrivaninha de um escritório sobre a qual uma lâmpada é colocada. O painel a-Si foi instalado na parte inferior do suporte da lâmpada, uma lâmpada de LED de 8 W foi instalada para fornecer luz artificial. O centro da lâmpada de LED foi colocado a 13 cm de distância de uma das bordas do painel.

O telefone celular foi ligado ao painel solar usando-o como uma saída, da mesma maneira que durante a carga diretamente feita usando a luz solar. A corrente elétrica resultante no amperímetro foi de 3,3 mA. Note que os feixes de luz são dirigidos para o plano da mesa e não para o painel, uma vez que o processo não deve perturbar a utilização da escrivaninha para leitura e outras atividades.

As Figs. 7 e 8 mostram o circuito concebido para condicionar a entrada de energia, elevando os valores de tensão de entrada. Este simples conversor foi projetado com um indutor de 33 μH acoplado a uma fonte de corrente de 3,3 mA (a corrente observada no escritório com a escrivaninha). Um capacitor de 6 μF foi utilizada para acumulação de tensão.

Um IGBT com diodo de recuperação suave ultra-rápido foi usado para chavear o circuito com pulsos de 1 V sobre 0,7 μs e -1V sobre 0,3 μs .

Em (Priasmoro, 2005), um oscilador de potência muito baixa fornecendo 4 MHz consumindo apenas 7 μW com 10 mV de tensão de saída é proposto. Portanto, considerando um período de ciclo de 1 μs , um pulso de tensão durante 0,7 μs fica muito próximo da frequência mostrada na Fig. 6 de 4 MHz e é adequado como um parâmetro para a comutação do IGBT.

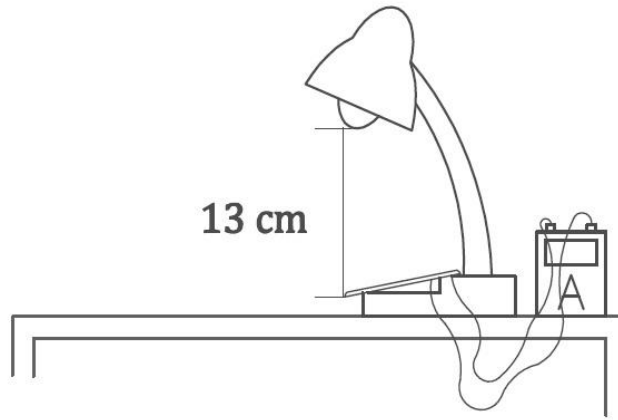


Figura 6 – Disposição geral do telefone celular, amperímetro (em série) e painel solar situados abaixo da luminária para medição da corrente elétrica.

A variação da tensão sobre o capacitor C é escolhida da maneira que não desvie 1% dos 3,3 mA fornecidos pelo painel. Com isso, Eq. (5) permite estimar o valor apropriado de C . Durante 0,7 segundos, quando o IGBT conduz, o capacitor se comporta como a fonte do circuito. No restante do período de tempo – 0,3 segundos – a resistência R e o capacitor C são alimentados pelo painel. Então, a condição menos vantajosa ocorre quando somente o capacitor é encarregado de fornecer a corrente ao circuito. Utilizamos a Eq. (5) para deduzir o valor mínimo a ser empregado pelo capacitor.

$$i_c = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (5)$$

Um resistor de 30Ω foi adotado por ser um valor próximo ao valor calculado de R , que representa a impedância da bateria. Esse valor é próximo da condição menos vantajosa, uma vez que a constante RC , apresentada em (5), requer um valor maior para C , a fim de evitar variações na tensão. Outro motivo é porque a baixa resistência da bateria sobrecarrega a função de reciclagem de energia devido à utilização de uma fonte de corrente, que transfere a quantidade de potência diretamente proporcional à corrente de carga.

A comparação da bateria do celular a uma resistência é viável apenas se se considerar que a energia será fornecida ao aparelho quando este estiver em seu quase pleno carregamento. Deste modo, o valor da tensão interna à bateria do celular permanecerá em um intervalo razoavelmente estreito, viabilizando a comparação desta bateria com R .

Estabelecendo $t = 0,7 \mu s$ e a queda máxima de corrente a 1 %, encontra-se $C = 2,32 \mu F$. Um capacitor de $6 \mu F$ é mais adequado para a nossa aplicação, tendo em vista que um valor maior para C melhora a robustez do sistema. Por exemplo, quando $R = 12 \Omega$, menor resistência observada na bateria, é necessário que C seja, pelo menos, igual a $5,804 \mu F$ para a operação, fato que comprova a escolha do valor de C .

O valor da indutância L depende da frequência de chaveamento (F_s), durante o período que a comporta do IGBT está ligada (D), a corrente pela carga (I_s) e a tensão sobre a fonte (V_e). De (Mello, 2011), a Eq. (6) mostra a relação entre L e o resto das variáveis descritas:

$$1 - D = \frac{2 \cdot L \cdot F_s \cdot I_s}{D \cdot V_e} \quad (6)$$

Na nossa adaptação de conversor *boost*, que utiliza uma fonte de corrente, ao invés de uma fonte de tensão, consideramos que $V_e = I_s$, tendo em vista que a resistência da bateria e o sistema é uma fonte de corrente. Rearranjando Eq. (6) a fim de expressar claramente L como função de D , F_s e R , encontra-se a Eq. (7).

$$L = \frac{D \cdot (D - 1) \cdot R}{2 \cdot F_s} \quad (7)$$

Considerado que $F_s = 1 \text{ MHz}$, $D = 0,7 \mu s$ e $R = V_e/I_s = 30 \Omega$, temos que $L = 3,15 \mu H$. Cruzando esse valor com a expressão de ressonância, $\omega = 1/\sqrt{LC}$, é observável que a ressonância do arranjo LC ocorre quando o valor de R é baixo e L se aproxima da região de ressonância. Tendo em vista que a função de L é estabilizar a corrente em torno de um valor constante, independente da variação da carga, é uma boa medida de segurança aumentar o valor da indutância. Entretanto, É importante evitar a utilização de um valor muito alto para L , que poderia atrasar o ponto de estado estacionário do circuito. Uma verificação do termo mostra que ele não varia muito se $L = 33 \mu F$: em $0,7 \mu s$ esse

termo se iguala a 0,0969, abaixo de 10%, quando $R = 110 \Omega$, o principal valor de operação. Mesmo quando os valores de R são baixos, na pior das hipóteses de carregamento, atinge-se o estado estacionário em não mais que 70 segundos.

A Fig. 7 mostra o circuito deste conversor *boost* simples, primeiramente sem a carga representada. Uma resistência R é inserida na Fig. 8, com o restante do circuito permanecendo igual. Antes da inserção de R , a tensão atinge mais que 17,5 V; então, com uma impedância resistiva de 110Ω , a tensão decai para aproximadamente 0,363 V. Enquanto a resistência ocasiona queda de tensão sobre o capacitor, a potência dissipada em R foi de 1,2 mW. É tido que essa quantidade de potência foi transferida para a bateria do nosso dispositivo. Todos os valores de tensão e potência foram anotados no estado estacionário.

Enquanto o celular está carregando, as tensões instantâneas não foram observadas por fontes externas. Esse fato permitiu que tensões inferiores fossem transferissem potência para o celular. Contudo, se as tensões da bateria se comunicassem com os terminais externos, as tensões de entrada se sobressairiam a estes valores, carregando a bateria. A inserção de uma fonte DC em série com R representa esse comportamento hipotético da bateria do celular.

A Fig. 8 representa essa fonte de tensão DC se contrapondo à tensão externa oriunda do capacitor. Um diodo previne que haja fluxo contrário de corrente, ou seja, da bateria para o conversor *boost*. Quando a tensão do capacitor ultrapassa o valor da tensão da bateria, a corrente flui pela resistência.

Neste caso, a mesma quantidade de potência é enviada para a bateria no final do processo, após um longo período de tempo, que não durou mais que 75 segundos, no pior caso. Esse fato prova a presteza de nosso conversor *boost*, que possibilita o carregamento da bateria, mesmo considerando os casos que tensões superiores da bateria bloqueariam o tensões oriundas do painel solar.

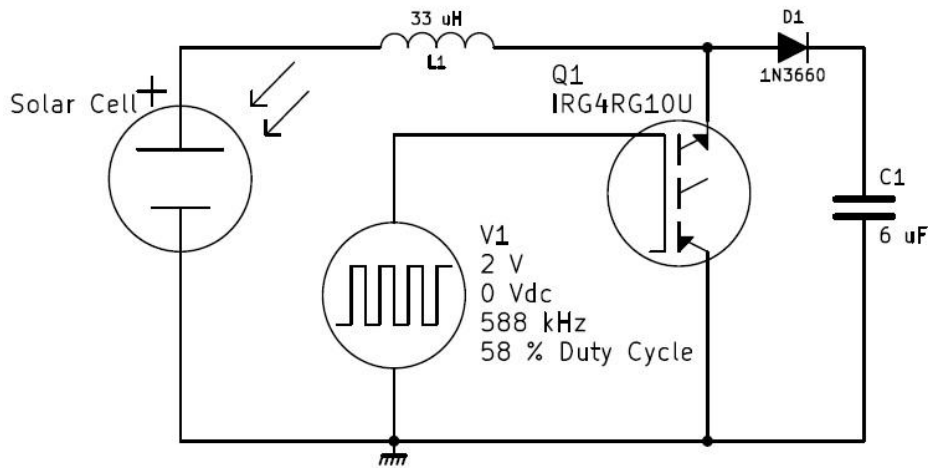


Figura 7 – Conversor *boost* projetado no software MULTISIM, produzindo 17,545 V em estado estacionário, sem carga após o capacitor de 6 μ F.

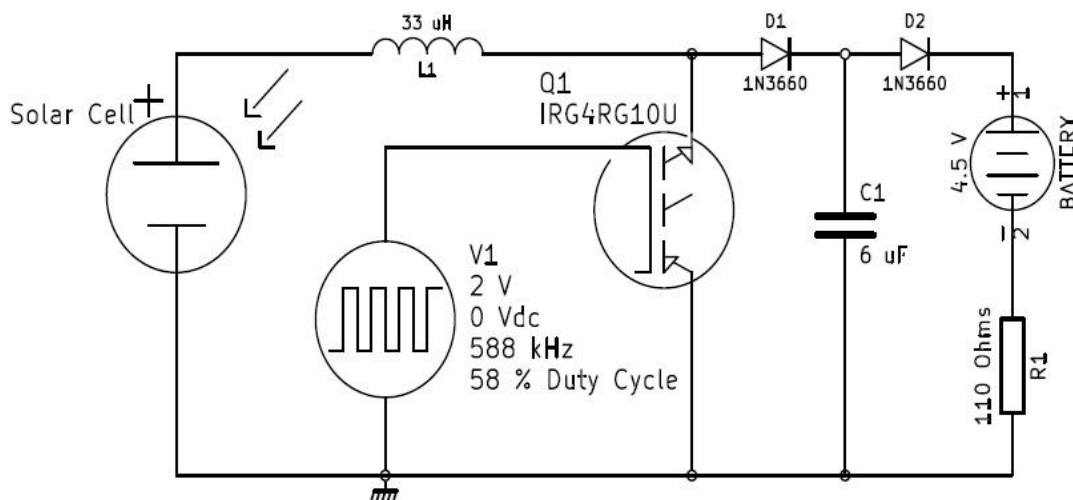


Figura 8 – Conversor *boost* projetado no software MULTISIM, fornecendo 1,197 mW em estado estacionário para um resistor de 110Ω .

Quanto maior a resistência acoplada, mais elevada é potência transferida para a carga devido ao emprego de uma fonte de corrente. Se a potência é RI^2 , então é interessante suprir a carga com valores mais elevados de resistência. De

acordo com a Fig. 5, isto acontece quando a bateria do telefone celular está perto de ficar a plena carga. A Fig. 9 repete a Fig. 5 para mostrar que durante o período 'A', a bateria irá receber menos energia do que o período 'B', considerando durações iguais.

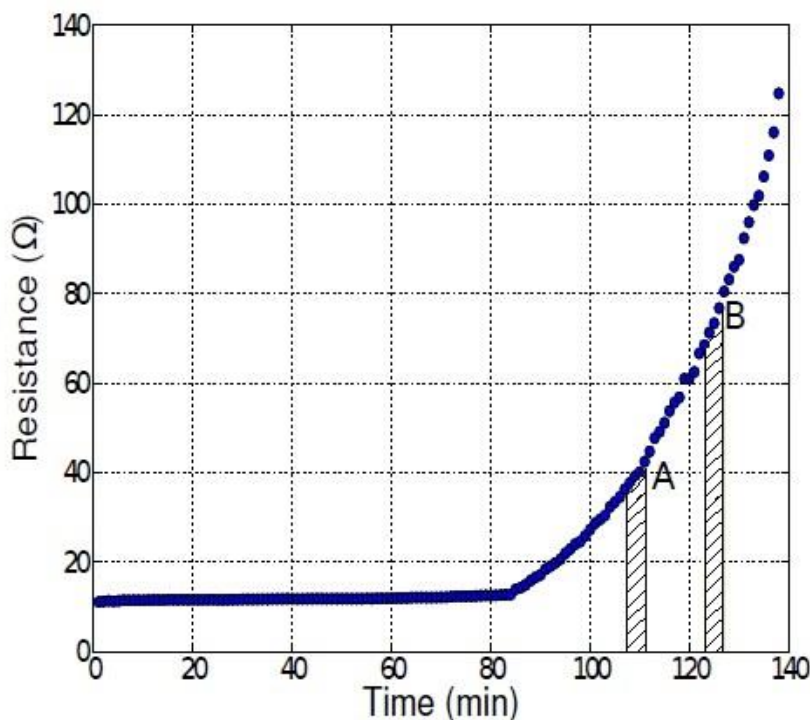


Figura 9 – Fig. 5 com barras indicando iguais períodos de tempo A e B como demonstração de que a potência transferida é influenciada pela resistência ($P_B > P_A$)

Um valor aceitável de resistência pode ser tomado é 90Ω , dado que o intervalo entre 60Ω e 120Ω cobre uma parte expressiva do telefone celular perto da plena carga. A expressão de transferência de potência para a resistência R é $P = 0,0109 R$, pois $I = 3,3 \text{ mA}$ e a potência é dada em mW.

De acordo com isto, aproximadamente 1 mW pode ser transmitido para a bateria continuamente dia e noite, uma vez que a iluminação durante as horas do dia são bem mais intensas do que as horas noturnas. Nota-se que em apenas um dia (24 horas) o sistema proposto pode retornar 24 mWh para a bateria, a qual significa até $0,65 \%$ de uma energia total necessária para a plena carga. Muitas mais que isto pode ser alcançado apenas diminuindo a distância entre a lâmpada e o painel a-Si: com $1,5 \text{ cm}$ menos entre o painel e o lâmpada de LED, faz a corrente aumentar para $4,5 \text{ mA}$, um aumento de $36,36 \%$ e, conseqüentemente, 86% na potência. Cruzando esta informação com o fato de que somente um valor médio de resistência foi adotado, em melhores circunstâncias é esperado certa de $1,5 \%$ do total de energia do celular por dia, ou seja, $2,33 \text{ mW}$.

Por exemplo, uma corrente de $4,7 \text{ mA}$ provê $2,43 \text{ mW}$ em 110Ω . Este novo nível de produção de potência corresponde a $0,304 \%$ de lâmpada LED de 8 W , um fato que constitui um aumento na eficiência energética de todo o sistema. Considerando novamente que a energia recebida no aparelho celular, se apenas noites são consideradas, no final de uma semana recarregando ao longo de 12 horas a cada noite, a energia enviada alcança $195,8 \text{ mWh}$, significando $5,26 \%$ da energia total necessária para o dispositivo. Considerando locais fechados que mantém a iluminação 24 horas ao dia, um ganho total de $2,63 \%$ da recarga da bateria total pode ser, para situações gerais obtida em apenas 6 horas de iluminação artificial.

6. CONCLUSÕES

Existem na literatura trabalhos relacionados a reciclagem da luz artificial em ambientes fechados a fim de recarga de nós de redes de sensores. De acordo com o melhor do nosso conhecimento, nenhum experimento tem sido conduzido até agora a fim de recarregar baterias de dispositivos eletrônicos usando luz artificial em ambientes fechados ou à noite. Neste artigo, nós propomos reciclar a energia luminosa de lâmpadas e outras fontes de luz artificial usando desta forma sistemas fotovoltaicos 24 horas ao dia. Nós validamos nossa proposta comparando medições realizadas usando a luz solar e usando luz artificial de ambientes fechados.

Como um resultado prático, nós mostramos que 6 horas de carga em um ambiente fechado resulta em $2,63 \%$ de carga na capacidade total de uma bateria de celular. A eficiência do nosso circuito proposto é demonstrada através de simulações.

REFERÊNCIAS

- Afsar, Y., Sarik, J., Gorlatova, M., Zussman, G., Kymissis, I., 2012. Evaluating photovoltaic performance indoors, em: 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), pp. 1948–1951
- Ali, Q. I., 2010. Design & implementation of a mobile phone charging system based on solar energy harvesting, em: EPC-IQ 2010, pp. 264–267.
- Carvalho, C., Oliveira, J. P., Paulino, N., 2012. Survey and analysis of the design issues of a low cost micro power dc-dc step up converter for indoor light energy harvesting applications, in: Proceedings of the 19th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES), pp. 455–460.
- chargeall.com/cellphonebatterycharge/tips/, How to properly charge your cell phone battery (February 2013).
- de Mello, L. F. P., 2011. Projetos de Fontes Chaveadas, Erica.
- Gorlatova, M., Wallwater, A., Zussman, G., 2011. Networking low-power energy harvesting devices: Measurements and algorithms, em: Proceedings IEEE INFOCOM, pp. 1602–1610.
- Guilar, N. J., Kleeburg, T. J., Chen, D. R. Y. A., Amirtharajah, R., 2009. Integrated solar energy harvesting and storage, IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems 17, pp. 627–637.
- Ha, D. S., 2011. Small scale energy harvesting - principles, practices and future trends, em: IEEE 14th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits & Systems (DDECS), p. 1.
- Huang, L., Rieutort-Louis, W., Hu, Y., Sanz-Robinson, J., Wagner, S., Sturm, J. C., Verma, N., 2012. Integrated all-silicon thin-film power electronics on flexible sheets for ubiquitous wireless charging stations based on solar energy harvesting, em: Symposium on VLSI Circuits (VLSIC), 2012, pp. 198–199.
- Paradiso, J. A., Starner, T., 2005. Energy scavenging for mobile and wireless electronics, Pervasive Computing, IEEE 4, pp. 18–27.
- Park, K.-J., Kang, S.-M., Kim, H. S., Baek, C.-W., Chung, T. K., 2012. Energy scavenging system utilizing mems switch for power management, Electronics Letters 48, pp. 948–949.
- Priasmoro, A., 2005. Ultra low power oscillators, Advanced Linear Devices, Inc., pp. 1–8.
- Somov, A., Ho, R. P. C. C., Evans, J. W., Wright, P. K., 2012. Printed electrochemical capacitors for energy scavenging sensor networks, in: Networked Sensing Systems (INSS), Ninth International Conference on, pp. 1–6.
- Tan, Y. K., Panda, S. K., 2011. Energy harvesting from hybrid indoor ambient light and thermal energy sources for enhanced performance of wireless sensor nodes, IEEE Transactions on Industrial Electronics 58, pp. 4424–4435.
- Weddell, A. S., Merrett, G. V., Al-Hashimi, B. M., 2011. Ultra low-power photovoltaic mppt technique for indoor and outdoor wireless sensor nodes, em: Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), pp. 1–4.
- Yu, H., Yue, Q., Wu, H., 2011. Power management and energy harvesting for indoor photovoltaic cells system, em: 2011 Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), pp. 521–524.
- Yu, H., Wu, H., Wen, Y., 2010. An ultra-low input voltage power management circuit for indoor micro-light energy harvesting system, em: Sensors, IEEE, 2010, pp. 261–264.

Abstract. *Research advances in materials science improved gradually photovoltaic systems efficiency. However, such systems are limited to work in the presence of sun light, and they also depend on the geographic localization and on the period of the year, usually limited to 6 to 8 hours a day. In order to take maximum advantage of solar panels, it is crucial to use them also in cloudy weather or even at night. Therefore, in this paper, we propose to recycle light energy from artificial light sources to enable the use photovoltaic systems along 24 hours a day. We validate our proposal by means of measurements performed using artificial light in indoor environments. As a practical result, we show that 6 hours recharging in indoor environments implies in 2.63 % of the overall cell phone battery capacity. Furthermore, we also propose a circuit for charging of a battery of a cell phone.*

Key words: *Indoor light energy, light energy recycling, charge circuit*