

## LANTERNAS PARA MERGULHO: AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Fernando Reiszal Pereira  
ESDI - Escola Superior de Desenho Industrial - UERJ

### INTRODUÇÃO:

Lanternas são equipamentos fundamentais para um bom mergulho noturno. Existem no mercado várias marcas e modelos de lanternas para mergulho, porém também existem vários mitos e dúvidas sobre as mesmas. Qual seria o tipo de pilha mais adequado, a alcalina ou a recarregável? Qual a melhor tecnologia, a de lâmpadas incandescentes ou a de diodos emissores de luz (LEDs)? Neste texto pretende-se fazer uma avaliação comparativa entre LEDs e lâmpadas funcionando com pilhas alcalinas e recarregáveis. Alguns resultados surpreendem e podem ser usados para a programação de um bom mergulho noturno, para que não haja a frustração de terminá-lo “na penumbra”.

### LÂMPADAS x LEDs:

Lanternas são tradicionalmente projetadas para usar lâmpadas incandescentes. Porém, recentemente surgiram no mercado LEDs de alta eficiência e luminosidade que podem apresentar um desempenho bastante superior ao das lâmpadas. Este texto mostra a avaliação do desempenho da lâmpada *KRYPTON LK13 4,8V 0,75A*, fabricada pela RAYOVAC® e do LED *LXHL-PW09* da LUXEON®, mostrados na figura 1. Estas duas fontes luminosas foram escolhidas por apresentarem uma potência elétrica semelhante, de aproximadamente 4 W. No entanto será demonstrado que devido à eficiência das fontes luminosas, a potência luminosa emitida pelo LED é bastante superior à da lâmpada.



Figura 1 – LED *LXHL-PW09* e lâmpada *KRYPTON LK13 4,8V 0,75A*.

Entende-se por eficiência de uma fonte luminosa como sendo a capacidade que a mesma tem de transformar a potência elétrica fornecida para ela em potência luminosa *visível*. A palavra “visível” neste caso é importante para entender o conceito, pois é possível que uma fonte irradie energia em comprimentos de onda que o olho humano não tem capacidade de detectar. Uma avaliação preliminar qualitativa da eficiência pode ser feita aplicando-se a mesma potência elétrica de 4 W no LED e na lâmpada. Observando-se o brilho destas duas fontes simultaneamente, como mostrado na figura 2, a superioridade do LED torna-se evidente. Nesta figura, mostra-se a mesma imagem obtida com uma câmara digital ajustada para tempos de exposição distintos.

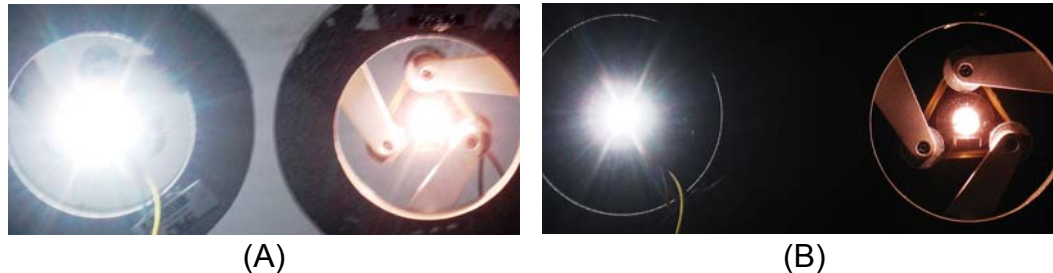


Figura 2 – Comparação qualitativa entre o brilho do LED (à esquerda) e da lâmpada. A) tempo de exposição longo. B) tempo de exposição reduzido.

Com o teste mostrado na figura 2 pode-se fazer outra observação importante: ao colocarmos a mão próxima a cada uma das fontes luminosas, a sensação de calor produzida pela lâmpada é bem mais intensa que a sensação de calor produzida pelo LED. Conclui-se portanto que a lâmpada transforma parte da potência elétrica entregue a ela em radiação não-visível, que é a responsável pela sensação de calor que sentimos. Na verdade, a maior parte da radiação emitida por uma lâmpada incandescente é na faixa não-visível, como mostrado na figura 3. Nesta figura, a curva em preto mostra a potência irradiada pela lâmpada e a curva em vermelho mostra a sensibilidade do olho humano, ambos em função do comprimento de onda. A radiação com comprimentos de onda de  $0,7 \mu\text{m}$  corresponde à luz vermelha, e acima disso é conhecida como radiação infra-vermelha. A radiação com comprimentos de onda de  $0,4 \mu\text{m}$  corresponde à luz violeta, e abaixo deste comprimento é designada por radiação ultra-violeta. Somente a região achurada, dada pela intersecção das duas curvas, corresponde à radiação luminosa que nosso olho é capaz de detectar. Aproximadamente 90% da potência consumida por uma lâmpada incandescente é transformada em radiação infravermelha, ou seja, calor !

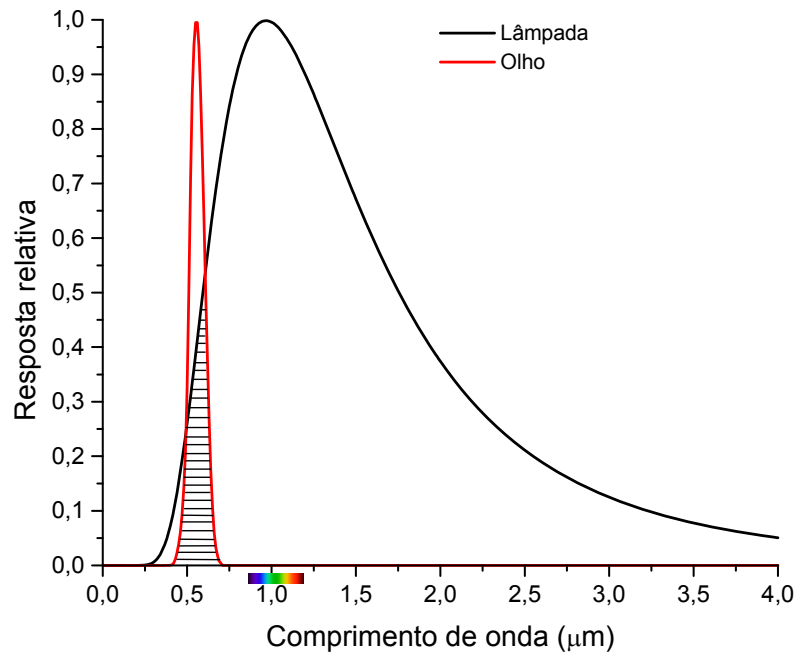


Figura 3 – Resposta relativa da visão humana e da emissividade de uma lâmpada incandescente.

A eficiência de um LED é maior do que a de uma lâmpada incandescente porque a maior parte da energia elétrica entregue a ele é transformada em radiação visível. Fazendo um “zoom” da região do espectro visível da figura 3 e superpondo o resultado à emissividade relativa do LED, fornecida pelo fabricante [1], tem-se o resultado mostrado na figura 4. Por esta figura observa-se que sempre há alguma superposição da radiação luminosa emitida pelo LED com a sensibilidade do olho humano, portanto, toda a radiação emitida é visível. Não há nenhum desperdício de potência elétrica sendo transformada em radiação não-visível, como ocorre na lâmpada incandescente.

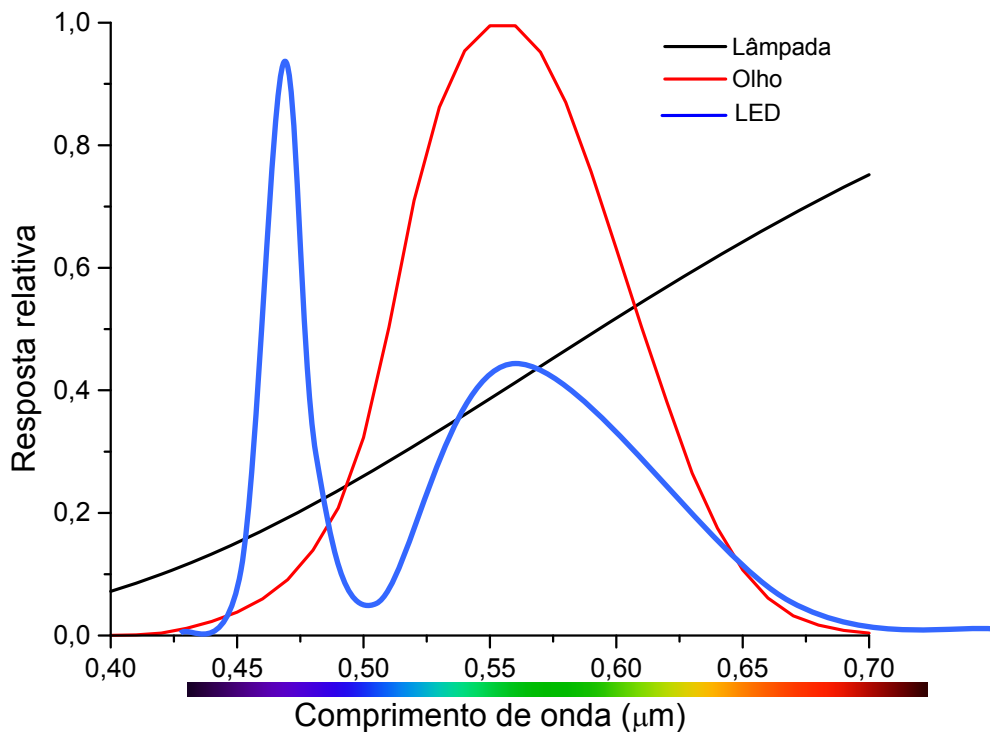


Figura 4 – Emissividade relativa do LED superposta ao gráfico da figura 3.

Se os LEDs são tão mais eficientes assim, por qual motivo as lâmpadas ainda continuam no mercado ? O motivo talvez seja simplicidade, pois para uma lâmpada basta aplicar diretamente a tensão das pilhas sobre a mesma para que ela funcione, como mostrado no diagrama esquemático da figura 5A. Caso isso seja feito com o LED, o mesmo queimarão quase que instantaneamente. Na verdade, LEDs são elementos que trabalham com *corrente* constante, e não com *tensão* constante como uma lâmpada. Isso impõe a necessidade de transformar a tensão das pilhas em uma corrente constante, o que exige um circuito conhecido como *conversor tensão/corrente*, como mostrado na figura 5B. Não é um circuito muito complexo, mas mesmo assim contribuiu para o encarecimento e aumento da complexidade da lanterna. Ainda mais, estes circuitos também causam alguma perda de potência, pois a eficiência dos mesmos está ao redor de 85% (ou seja, dos 4 W extraídos das pilhas, o circuito consome 0,6 W e o LED fica com 3,4 W). Mesmo com esta pequena perda, o ganho de eficiência proporcionado pelo LED compensa largamente seu uso. O conversor tensão/corrente desenvolvido para este estudo transforma uma tensão entre 3,4 V e 6 V em uma corrente constante de 1 A aplicada ao LED, o que é uma grande vantagem sobre a lâmpada: um conjunto de 4 pilhas novas ligadas a uma lâmpada possui uma tensão inicial de 6 V, mas à medida que o tempo passa e a tensão cai, o brilho da lâmpada diminui. Com o conversor tensão/corrente a corrente através do LED permanece constante e igual a 1A, mesmo com a tensão das pilhas caindo de 6 V para 3,4 V, como será visto adiante nos resultados.

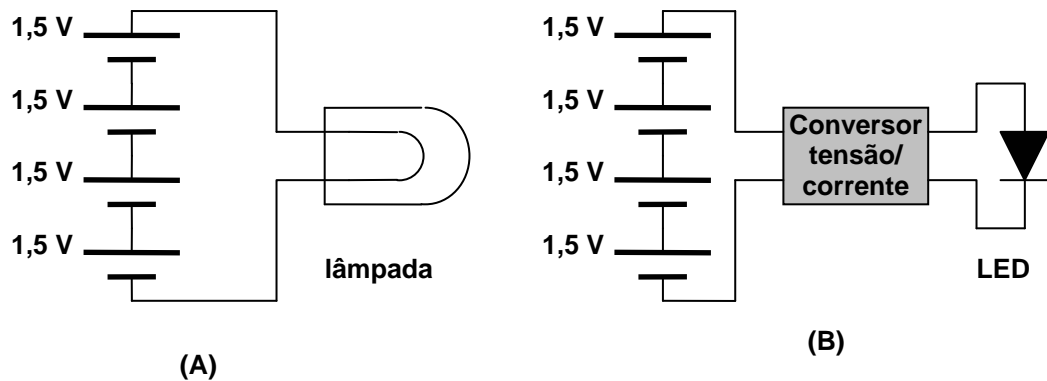


Figura 5 – Conjunto de 4 pilhas ligado à lâmpada (A) e ao LED/conversor (B)

Portanto, não há como usar o LED sem que esteja acompanhado de seu respectivo conversor tensão/corrente. Portanto, uma lâmpada incandescente só pode ser substituída por um conjunto que doravante será designado como *conversor + LED*.

#### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

A figura 2 fornece uma comparação qualitativa entre o brilho do LED e da lâmpada. Para se ter números mais exatos é necessário usar um trilho óptico, sobre o qual são montados um detector (medidor de iluminância) e a fonte luminosa a ser analisada (LED ou lâmpada), como mostrado na figura 6. O trilho óptico permite um posicionamento preciso do conjunto detector/fonte, mantidos a uma distância de 0,5 m um do outro. O detector é sensível à iluminância (em lux) e sua sensibilidade é de 10 mV/lx.

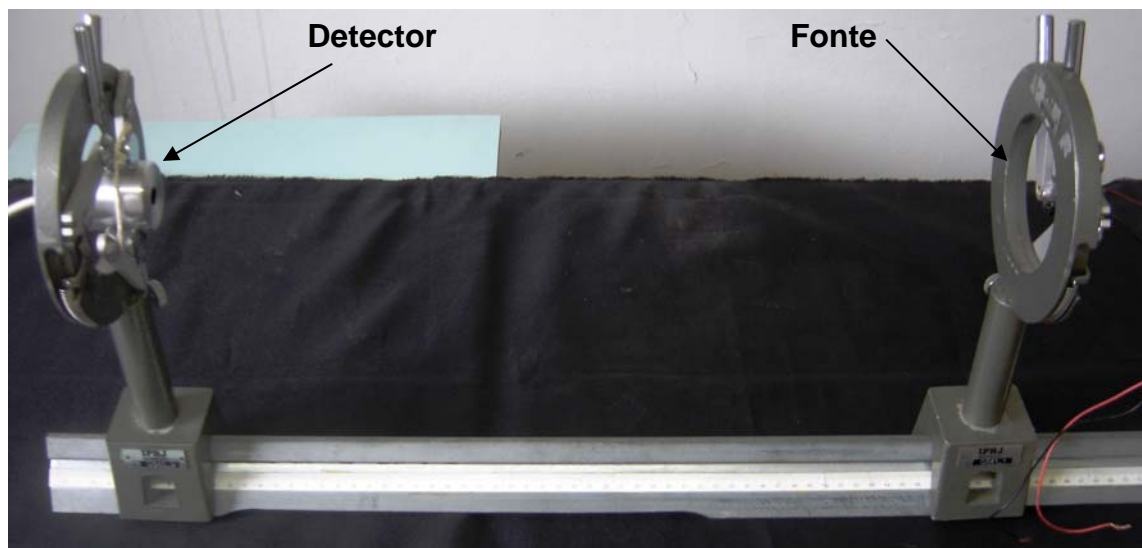




Figura 6 – Detector de iluminância e fonte de luz.

Para esclarecer um pouco, a energia emitida por fontes luminosas que coincide com o espectro visível mostrado na curva vermelha da figura 4 é expressa em unidades *fotométricas*. A energia total, que abrange todos os comprimentos de onda é expressa em unidades *radiométricas*. Supondo que uma pequena fonte luminosa emita radiação igualmente para todos os lados, a potência do fluxo luminoso *visível* que atravessa uma superfície esférica imaginária que contenha a fonte é expressa em *lumens* (lm). Dividindo a quantidade de lumens contida em um ângulo sólido desta esfera tem-se a *candela*. A iluminância é a quantidade de lumens dividida pela área total desta superfície ( $\text{lm}/\text{m}^2$  ou lux). Uma boa recordação destas unidades e demais conceitos sobre fotometria é dada por [2].

## RESULTADOS:

Os resultados são gerados ligando-se um conjunto de quatro pilhas em série à fonte luminosa, como mostrado na figura 5. Imediatamente após a ligação, monitora-se a tensão e corrente das pilhas e a iluminância da fonte ao longo do tempo. O primeiro resultado a ser mostrado são as medidas de tensão e corrente fornecidas por um conjunto de quatro pilhas alcalinas DURACELL<sup>®</sup> tamanho AA ligadas diretamente à lâmpada KRYPTON LK13. Os valores de tensão e corrente ao longo do tempo são mostrados na figura 7. Como é de se esperar de uma pilha alcalina, a tensão inicial de cada pilha é de  $5,7/4 = 1,4$  V e em menos de duas horas cai para 0,8 V, tensão para a qual a pilha é considerada esgotada. Este resultado concorda com os dados da pilha fornecidos pelo próprio fabricante [3]. A corrente acompanha a queda da tensão, com um valor inicial de 0,8 A e terminando em 0,6 A. Relembrando das aulas de física que a potencia elétrica é dada pelo produto tensão x corrente, deduz-se que a potência inicial entregue à lâmpada é de 4,5 W, caindo para menos de 2 W ao término da carga da pilha.

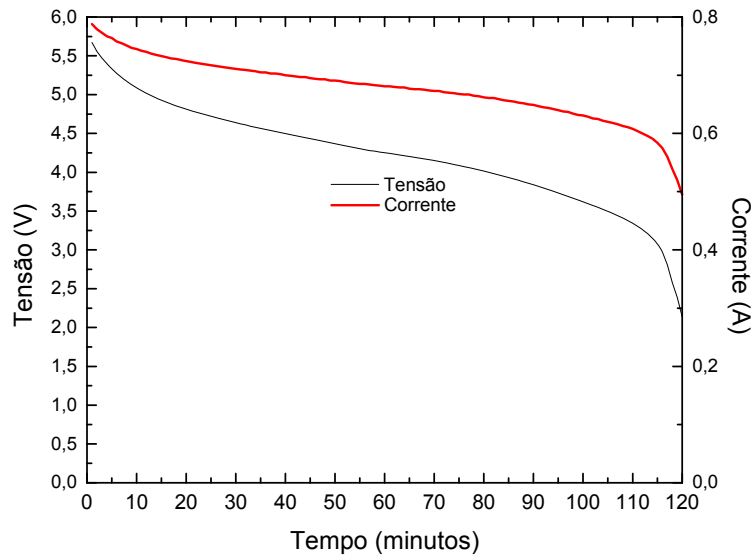


Figura 7 - Tensão e corrente de quatro pilhas alcalinas ligadas à lâmpada *KRYPTON LK13*.

Como a iluminância é uma parcela da potência elétrica entregue à lâmpada, pode-se prever uma queda acentuada da mesma. O gráfico da figura 8 mostra a iluminância e a potência elétrica correspondentes. De fato, ao ligar a lâmpada, tem-se uma iluminância inicial de quase 40 lx, que decai para a metade de seu valor em cerca de meia hora. A partir daí a iluminância torna-se cada vez menor, e tem-se aquele caso de uma da lanterna fraca, com luz amarelada e baixa intensidade.

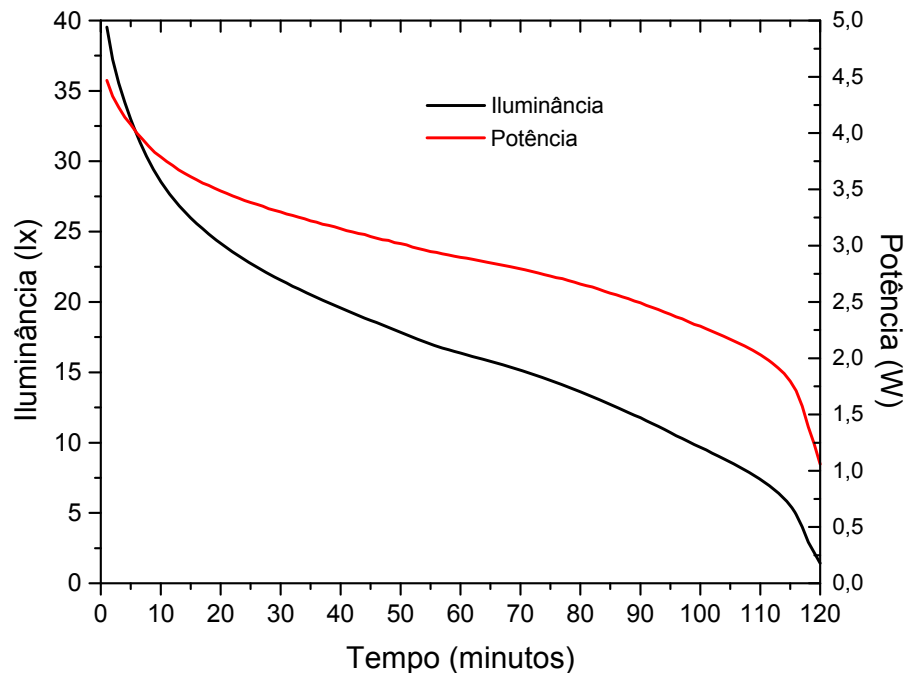


Figura 8 - Potência elétrica de quatro pilhas alcalinas ligadas à lâmpada *KRYPTON LK13* e sua respectiva iluminância.

A queda brusca da iluminância deve-se à notória característica de pilhas alcalinas de apresentarem uma grande variação de tensão ao longo do tempo de descarga. A iluminância poderia se manter relativamente constante caso houvesse um tipo de pilha com capacidade para manter seu valor de tensão o mais constante possível ao longo do tempo. As novas tecnologias empregadas na fabricação de pilhas recarregáveis a base de Níquel-Hidreto Metálico (Ni-MHi) permitiram o surgimento de tal pilha. Atualmente, o desempenho de pilhas recarregáveis de Ni-MHi supera com vantagens o de pilhas alcalinas. Para comprovar isso realizou-se o mesmo ensaio descrito anteriormente, só que desta vez com quatro pilhas recarregáveis de Ni-MHi da marca *POWERBASE®* 2700 mAH (esta marca revelou-se muito boa, e como é pouco conhecida, é menos sujeita à falsificações). Como resultado, mostra-se na figura 9 os gráficos da tensão e corrente fornecidas pelas pilhas e na figura 10 o gráfico da Iluminância e potência. Pela figura 9 observa-se que a tensão de cada pilha permanece estável em 1,2 V por mais de duas horas e meia, acarretando uma conseqüente estabilidade na iluminância, como visto na figura 10.

Há alguma relutância em usar pilhas recarregáveis devido a sua tensão inicial ser de 1,2 V. O senso comum diz que se as alcalinas possuem uma tensão inicial de 1,5 V, a iluminância será maior. Pelo gráfico da figura 7 observa-se que a tensão das pilhas alcalinas só é maior que a das recarregáveis durante os 10 primeiros minutos. A sensação inicial de satisfação com o brilho intenso da lanterna rapidamente acaba,

sendo preferível usar as recarregáveis, que mantiveram a iluminância elevada durante duas horas e meia.

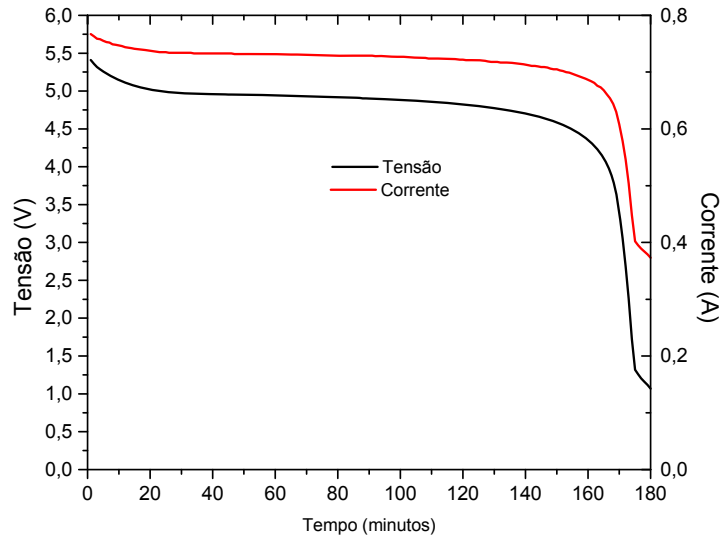


Figura 9 - Tensão e corrente na lâmpada, fornecidas por quatro pilhas recarregáveis de Ni-MHi.

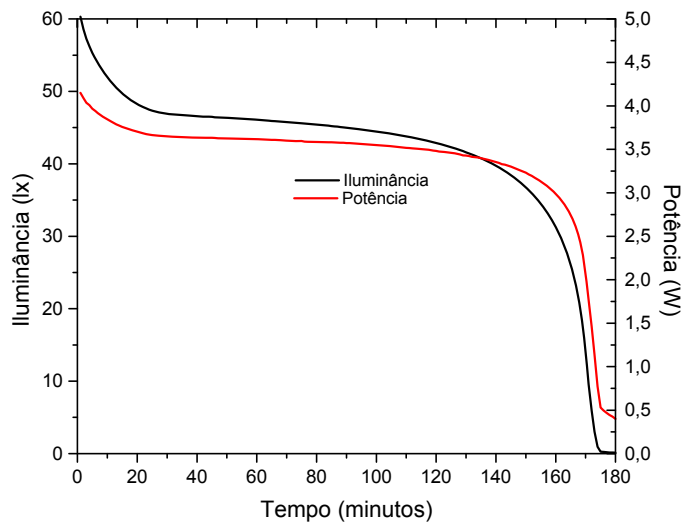


Figura 10 - Potência elétrica de quatro pilhas recarregáveis de Ni-MHi ligadas à lâmpada *KRYPTON LK13* e sua respectiva iluminância em função do tempo.

O mesmo procedimento será feito usando agora o conversor + LED como fonte luminosa. Com as quatro pilhas alcalinas, obteve-se o resultado mostrado na figura 11.

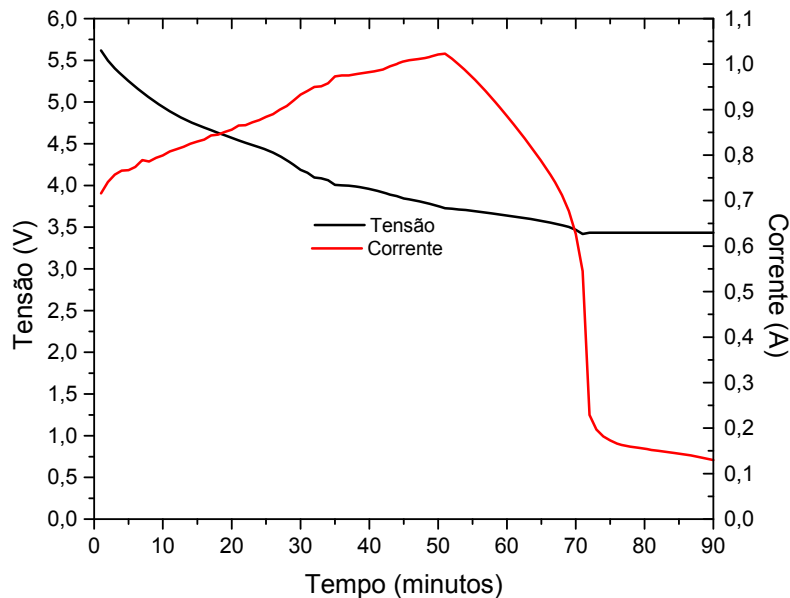


Figura 11 - Tensão e corrente no conversor + LED, fornecidas por quatro pilhas alcalinas.

O gráfico da figura 11 permite algumas interpretações interessantes: Assim como no gráfico mostrado na figura 7, a tensão das pilhas também cai com o tempo. No entanto, a corrente agora cresce. Este comportamento é típico dos conversores tensão/corrente, que trabalham no sentido de manter constante a potência fornecida à fonte luminosa. Para confirmar isso, basta lembrar que a potência é dada pelo produto tensão x corrente: se a tensão cai, a corrente deve subir. O comportamento da tensão mostrado na figura 11 é uma descarga sob potência constante, e concorda mais uma vez com os dados fornecidos pelo fabricante [3].

Uma vez que o conversor entrega uma potência constante ao LED, a iluminância também será constante, como comprovado no gráfico da figura 12. De fato, durante pouco mais de 50 minutos a potência fica estável ao redor de 3,8 W e a iluminância se estabiliza em 100 lx, valor maior que o máximo de 40 lx da figura 8, obtidos com a lâmpada. Nota-se pela figura 11 que depois de uma hora e meia ainda há uma luminância de 20 lx. No caso da lâmpada (figura 8) este valor é atingido logo aos 35 minutos ! Fica evidente então a superioridade do uso do LED.

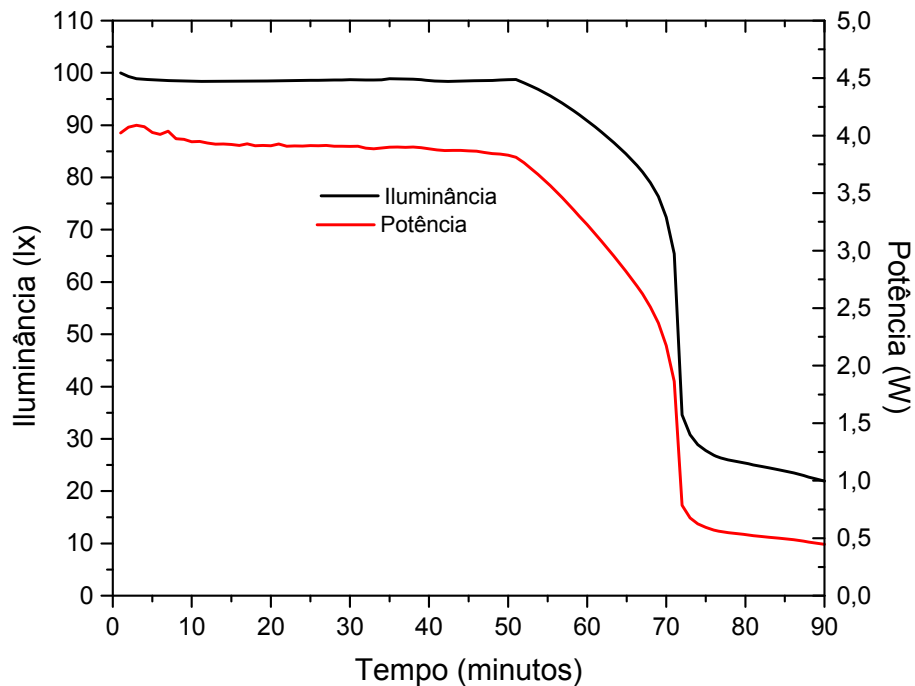


Figura 12 - Potência elétrica de quatro pilhas alcalinas ligadas ao conversor + LED e sua respectiva iluminância em função do tempo.

Usando o conversor + LED com as pilhas recarregáveis, os resultados são ainda mais notáveis. O gráfico da figura 13 apresenta as tensão e corrente das pilhas. Como já foi dito, as pilhas recarregáveis são capazes de sustentar uma tensão constante durante um tempo bem maior que pilhas alcalinas. Pelo gráfico da figura 13, a tensão permanece praticamente constante durante duas horas ! O resultado da Iluminância obtida e a respectiva potência elétrica está mostrado na figura 14. Observa-se que tem-se duas horas e meia de iluminância igual a 100 lx e constante ! Isso permite dois mergulhos noturnos sem perda alguma de intensidade da luz emitida pela lanterna. Deve-se lembrar que estão sendo usadas nos testes pilhas tamanho AA. Só as lanternas maiores, com pilhas grandes conseguem um desempenho semelhante ! Comparando-se a iluminância da figura 14 com a da figura 8 observa-se o grande salto entre uma lanterna com lâmpada e pilhas alcalinas e outra com LED e pilhas recarregáveis.

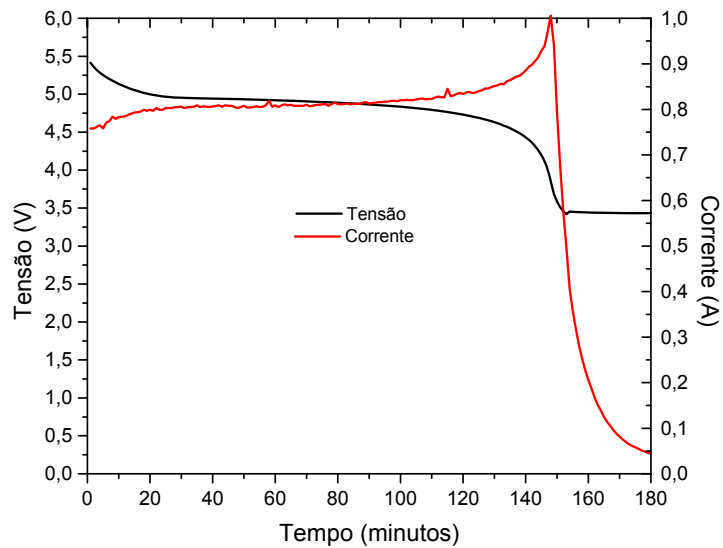


Figura 13 - Tensão e corrente no conversor + LED, fornecidas por quatro pilhas recarregáveis.

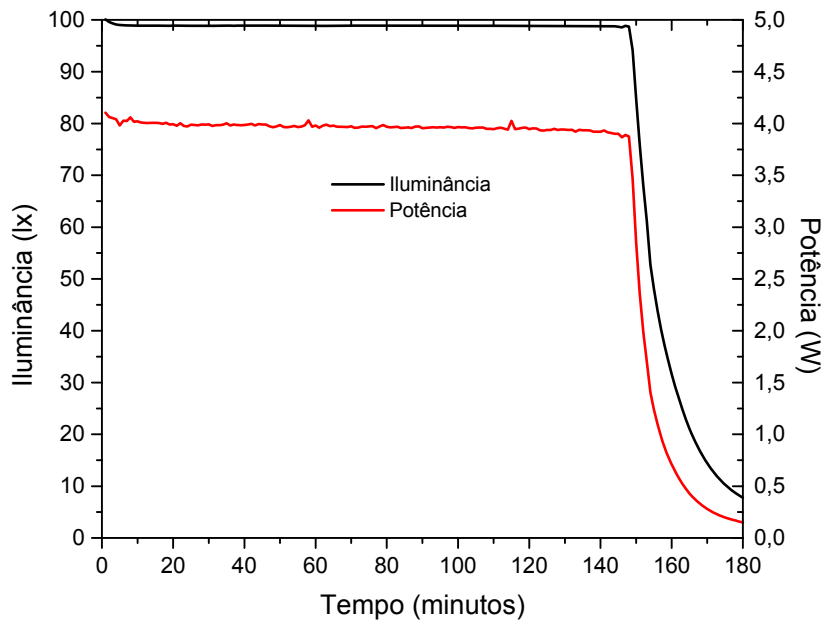


Figura 14 - Potência elétrica de quatro pilhas recarregáveis ligadas ao conversor + LED e sua respectiva iluminância em função do tempo.

Para avaliar melhor os resultados, podemos resumi-los em uma tabela. Para isso adota-se o seguinte critério: a lanterna é considerada sem serventia quando sua iluminância cair para a metade do valor inicial. Com isso pode-se recorrer aos gráficos e determinar o tempo  $T_{50\%}$  no qual isso acontece.

Também será inserida na tabela uma grandeza que mede a quantidade de energia luminosa fornecida pela lanterna. Assim como na conta de luz a quantidade de energia fornecida é calculada pelo produto kW·h, pode-se definir uma medida de energia luminosa dada pelo produto lx·h. Como o valor da iluminância pode variar, a estimativa deste produto é feita usando-se cálculo integral, e o resultado é mostrado na tabela 1.

	T <sub>50%</sub> (h:m)	lx·h
Lâmpada com pilha alcalina	0:38	15,8
Lâmpada com pilha recarregável	2:42	119,0
LED com pilha alcalina	1:11	115,5
LED com pilha recarregável	2:34	250,0

Tabela 1 – Resultados comparativos. T<sub>50%</sub> é o tempo no qual a iluminância cai para a metade do valor inicial, e lx·h é a energia luminosa total fornecida pela lanterna.

## CONCLUSÕES:

Os resultados mostrados na tabela não deixam dúvidas: lanternas feitas com LEDs e pilhas recarregáveis são muito superiores às feitas com lâmpadas e pilhas alcalinas. Mas não é por isso que jogarei fora minha “Toshibinha”. Estas lanternas são as mais baratas do mercado, e usam quatro pilhas alcalinas com uma lâmpada *KRYPTON PR3 3,8V 0,5 A*. Reparem para quatro pilhas deveria-se usar uma lâmpada com uma tensão especificada próxima a 6 V ou 5 V. Propositadamente, esta lanterna vem com uma lâmpada com tensão mais baixa, para que forneça uma iluminância maior, porém isso reduz drasticamente a vida útil da lâmpada. Com pilhas alcalinas rapidamente a tensão cai para níveis que não colocam a lâmpada em risco, porém usando pilhas recarregáveis, a tensão se mantém elevada durante um longo tempo, ocasionando a rápida queima da lâmpada. A solução é usar pilhas recarregáveis e trocar a lâmpada por uma de 4,8V 0,75A, obtendo com isso um desempenho melhor que a proposta original do fabricante.

## REFERÊNCIAS:

[1] <http://www.philipslumileds.com/pdfs/DS45.pdf>

[2] Ryer, A. D., “The Light Measurement Handbook” International Light, Newburyport, MA, 1977.

[http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL\\_COPIES/LIGHTMEASUREMENT/handbook.pdf](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/LIGHTMEASUREMENT/handbook.pdf)

[3] [http://www.duracell.com/oem/Pdf/new/MN1500\\_US\\_CT.pdf](http://www.duracell.com/oem/Pdf/new/MN1500_US_CT.pdf)