



Construção de um luxímetro de baixo custo

Construction of a low-cost luximeter

Luciano Soares Pedroso¹, Josué Antunes de Macêdo^{*2}, Mauro Sérgio Teixeira de Araújo³,
Marcos Rincon Voelzke³

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, Januária, MG, Brasil

³Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 12 de setembro de 2015. Aceito em 28 de novembro de 2015

Este artigo propõe a construção de um instrumento eletrônico denominado luxímetro digital, aliando a simplicidade e o baixo custo, o que o torna mais simples e barato do que aqueles que se encontram no mercado. A sua construção tende a facilitar a difusão e o acesso a este tipo de instrumento de medidas entre professores do ensino médio e instituições de ensino, sendo ideal para constituir um laboratório de ciências. **Palavras-chave:** luz, efeito fotoelétrico, atividade experimental.

This paper proposes the construction of an electronic instrument called digital luximeter, combining simplicity and low cost, making it simpler and cheaper than those on the market. Its construction tends to facilitate dissemination and access to this type of measuring instrument between high school teachers and educational institutions, making it ideal to be a science lab.

Keywords: light, photoelectric effect, experimental activity.

1. Introdução

A luz que reflete nos objetos sensibiliza a retina e é transformada em impulsos nervosos conduzidos ao cérebro, onde ocorre a análise e interpretação destes sinais, permitindo-se enxergar os objetos [1]. As condições de iluminação condicionam o conforto visual, podendo provocar fadiga visual, irritabilidade ocular, dores de cabeça, dores musculares e dificuldade de concentração [2]. Para contornar estes problemas é possível empregar medidores de iluminação nos vários ambientes, o que caracteriza a sua importância.

O luxímetro é um instrumento utilizado para medir a densidade da intensidade de luz presente em um determinado local. Sua unidade de medida é o lux, sendo que um lux corresponde a um watt por metro quadrado ($1 \text{ lux} = 1 \text{ W/m}^2$). Este tipo de equipamento é adequado para ser usado em indústrias, escritórios, hospitais, residências, escolas, restaurantes, entre outros espaços. Ele consiste basicamente

de uma célula fotoelétrica e de um miliamperímetro. A célula fotoelétrica é um material semicondutor, sensível à luz. Quando a luz incide sobre a fotocélula, ocorre a formação de corrente no semicondutor, que depois de amplificada é medida no amperímetro, utilizando-se uma escala graduada adequadamente para medir o nível de iluminância, que é proporcional à radiação luminosa incidente no local [3].

Durante a construção do luxímetro digital sugerido neste trabalho podem ser explorados conhecimentos relacionados a unidades de medidas, óptica, radiação luminosa, eletricidade, semicondutores e física moderna, podendo ser útil também em trabalhos e projetos interdisciplinares. Existem vários tipos de luxímetros disponíveis, variando basicamente no modo de leitura, podendo ser analógicos ou digitais, sendo que os digitais geralmente apresentam maior facilidade e precisão de leitura. Desta forma, optou-se neste trabalho por construir um luxímetro digital, tendo por base um multímetro digital e um transistor 2N3055 (Fig. 1).

*Endereço de correspondência: josueama@gmail.com.



Figura 1: Transistor 2N3055 em encapsulamento metálico (TO-3). Fonte: foto dos autores.

O 2N3055 é um transistor do tipo NPN (Negativo-Positivo-Negativo) de alta potência, fabricado em silício, que é o material semiconductor mais abundante na natureza. Ele é utilizado em fontes de alimentação, amplificadores de áudio, controles de potência e em muitas outras aplicações que trabalham com corrente contínua e é apresentado em vários tipos de encapsulamento. Utilizou-se na construção do luxímetro o transistor 2N3055 por apresentar um encapsulamento metálico cuja tampa pode ser facilmente removida. Além disso, este transistor pode ser encontrado facilmente em lojas de componentes eletrônicos a um preço bastante acessível, em geral da ordem de cinco reais. O 2N3055 é constituído de duas junções PN de silício que funcionam como diodos que uma vez expostos à luz comportam-se como fotodiodos ou fotocélulas. A Fig. 2a mostra as junções NP e PN e a Fig. 2b mostra o símbolo do transistor NPN em circuitos eletrônicos.

2. Construindo o luxímetro de baixo custo – LBC

A construção do luxímetro sugerido neste trabalho (LBC) é bastante simples, sendo necessários os materiais mostrados na Fig. 3, ou seja, um multímetro digital que será usado para fornecer a leitura da

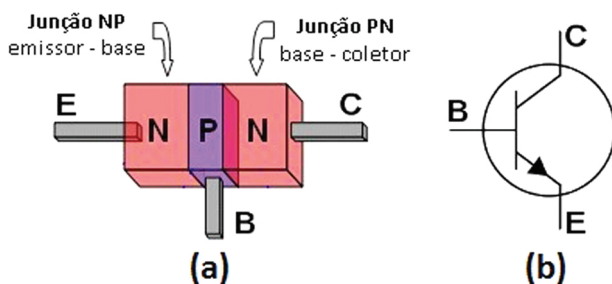


Figura 2: Junção NPN (a) e simbologia do transistor (b). Fonte: acervo dos autores.



Figura 3: Materiais necessários para a construção do luxímetro. Fonte: foto dos autores.

intensidade da luz, um transistor 2N3055 com encapsulamento metálico que funcionará como sensor de luz e cabos de fios para se efetuar as conexões.

Uma vez que é necessário deixar exposto o silício da junção PN, deve-se retirar a tampa da parte superior do transistor 2N3055, o que pode ser realizado facilmente com um arco de serra metálica, conforme mostra a Fig. 4, tendo o cuidado para não danificar a pastilha de silício do transistor.

Os terminais deste transistor são de fácil identificação, sendo que a cápsula é o coletor e os outros dois terminais são a base e o emissor, conforme mostram as Fig. 5a e Fig. 5b. Em seguida, deve-se soldar os fios na base e no coletor do transistor 2N3055, conforme mostra a Fig. 5c.



Figura 4: Retirando a tampa do 2N3055. Fonte: foto dos autores.

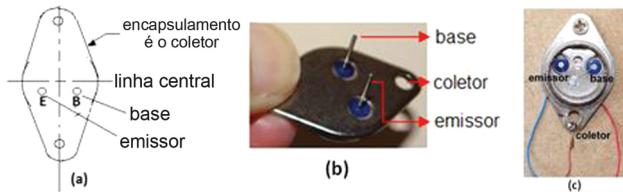


Figura 5: Transistor 2N3055 visto por baixo para se identificar os terminais (a) e (b). Mesmo transistor sem a tampa para ligação dos fios (c). Fonte: acervo dos autores.

Finalmente, ligam-se os terminais do multímetro nos fios que foram soldados no 2N3055 (Fig. 6a), cujo circuito elétrico equivalente pode ser visualizado na Fig. 6b. O multímetro deve ser ajustado para a medida de voltagem em corrente contínua (V_{CC}) e a leitura observada é da ordem de milivolts (mV), pois o transistor está funcionando como uma célula fotovoltaica. O multímetro utilizado neste experimento foi ajustado para a escala de 2.000 mV. Caso a medida da tensão indicada no multímetro for negativa, invertem-se os fios ou se considera apenas o valor em módulo da medida. Deste modo está pronto o LBC, que é didaticamente similar a um luxímetro profissional, conforme o mostrado na Fig. 6c. O próximo passo é aprender a utilizá-lo.

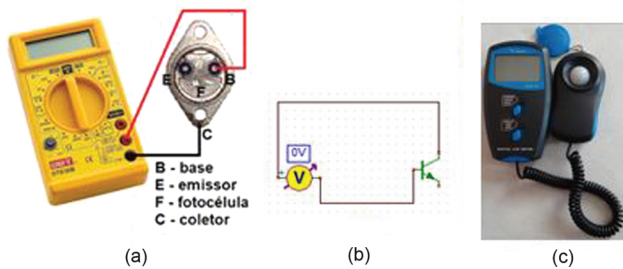


Figura 6: Ligando o multímetro nos terminais do 2N3055 (a), circuito elétrico (b) e luxímetro profissional (c). Fonte: acervo dos autores.

3. Calibrando o luxímetro de baixo custo LBC

Para calibrar o LBC, utilizou-se um luxímetro profissional modelo MLM-1011 (Fig. 6c), da marca Milipa®, que é um luxímetro digital portátil, com LCD de 3 1/2 dígitos, precisão básica 4,0% da leitura, com mudança de faixa manual e sensor tipo foto diodo de silício [4].

Montou-se um aparato, conforme mostrado nas Fig. 7a e Fig. 7b, onde foi instalada uma lâmpada led de 0,04 W, em um suporte com altura ajustável, de tal forma que ao variar a altura, variava-se a intensidade luminosa nas células fotovoltaicas do 2N3055 e do luxímetro MLM-1011. Em um ambiente escuro, livre da luz ambiente, ajustando-se a altura da lâmpada foram realizadas medidas simultâneas no multímetro, utilizando-se três marcas distintas de transistores (ST, GE e ISCSEMI) e no luxímetro, sendo os valores encontrados tabelados, os quais são mostrados na Tabela 1.

Os testes com as três marcas distintas de transistores 2N3055 (ST, GE e ISCSEMI) apontaram resultados muito próximos com desvio padrão de 0,01457 ou seja $1,457 \times 10^{-2}$, como se observa no comparativo entre as três marcas testadas mostrado no gráfico da Fig. 8.

De posse das medidas realizadas com ambos os instrumentos e usando uma planilha de cálculo,

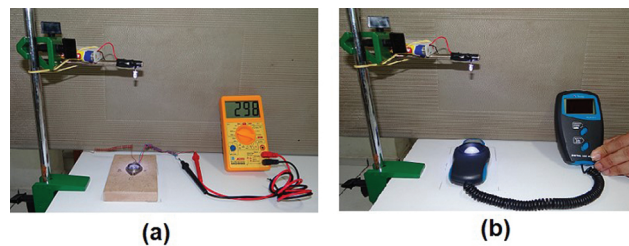


Figura 7: Calibrando o LBC com o auxílio do luxímetro. Fonte: foto dos autores.

Tabela 1: Medidas realizadas com o LBC e com o luxímetro profissional. Fonte: resultados obtidos pelos autores.

Medida	LBC Fotocélula do transistor (mV)				Luxímetro (lux)
	Fabricante			Média	
	ST	GE	ISCSEMI		
1	131	126	129	129	60
2	141	142	139	141	68
3	183	182	181	182	139
4	226	225	225	225	308
5	263	259	261	261	610
6	269	265	263	266	712

Comparativo entre as três marcas de transistores

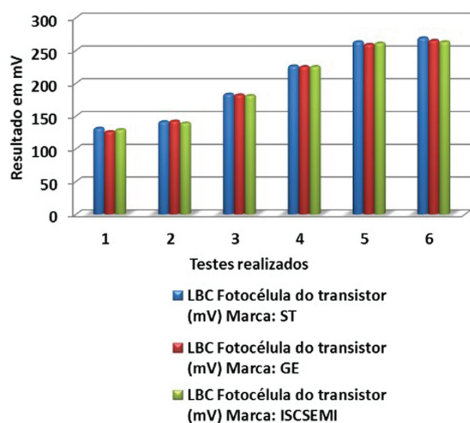


Figura 8: Medidas realizadas com três marcas distintas de transistores. Fonte: resultados obtidos pelos autores.

construiu-se o gráfico mostrado na Fig. 9, sendo que no eixo das abscissas (eixo horizontal (x)) estão os valores médios medidos com o multímetro (mV) e no eixo das ordenadas (eixo vertical (y)), as medidas realizadas com o luxímetro (lux). Percebeu-se que o gráfico gerado é uma função exponencial representada pela equação $y = 5,4539 e^{0,0181x}$, em que $e = 2,71828...$ representa o número de Euler. O coeficiente de determinação (R^2) das amostras foi determinado, chegando-se ao valor de $R^2 = 0,9975$. O R^2 varia entre 0 e 1, indicando, em porcentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Neste caso, a linha de tendência determinada, explica 99,75% dos valores medidos, o que é um resultado bastante expressivo.

Percebe-se que nesta função y cresce exponencialmente em função de x , ou seja, os valores da densidade da luz em lux (y) crescem exponencialmente em função dos valores medidos pelo voltímetro (x). A medida em lux é encontrada substituindo, na função acima, o valor medido no multímetro em milivolts. Para facilitar o trabalho do professor, foi disponibilizado para *download* no *blog* guiadafisica.wordpress.com um aplicativo elaborado pelos autores deste trabalho, em que basta entrar com os valores medidos com o luxímetro de baixo custo (LBC) e encontra-se os valores em lux.

4. Grandezas e unidades envolvidas

Baseado nos trabalhos desenvolvidos nas Refs. [5, 6], apresenta-se a seguir algumas grandezas relacionadas com a óptica física que podem ser exploradas

pelo professor em atividades didáticas envolvendo o uso do LBC.

4.1. Intensidade luminosa

A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e que tem uma intensidade radiante nessa direção de $1/683$ W por esferorradiano. Essa definição é baseada na correlação entre o fluxo de radiação emitido pela fonte e o fluxo luminoso que gera uma resposta do observador, nesse caso o próprio olho humano.

4.2. Fluxo luminoso

Um (1) lúmen = $1/683$ W no comprimento de onda de 555 nm, em que a sensibilidade do olho humano é máxima. É uma medida da quantidade total de radiação visível emitida por uma fonte. Difere do fluxo radiante, a potência total das ondas emitidas, em que é afetado pela sensibilidade variável do olho a diferentes comprimentos de onda. O lúmen é definido em relação à candela como $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$. Uma esfera tem ângulo sólido de 4π esferorradianos, de maneira que uma fonte luminosa que irradia uniformemente uma candela em todas as direções tem um fluxo luminoso total de $1 \text{ cd} \times 4\pi \text{ sr} = 4\pi \text{ cd sr} \approx 12,57 \text{ lm}$.

4.3. Iluminância (Iluminação)

É a relação entre o fluxo luminoso incidente em uma superfície e a superfície sobre a qual este incide, ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície onde incide. A unidade dessa grandeza é o *lux* (lx) e é medida com um aparelho chamado luxímetro. Um lux corresponde a um lúmen por metro quadrado ($\text{lux} = \text{lm}/\text{m}^2$).

4.4. Luminância

É a intensidade luminosa emitida, transmitida ou refletida por unidade de superfície. Conforme se vê na Fig. 10, a luminância produz a sensação de claridade, tornando-se possível ver os objetos. A unidade dessa grandeza é o *candela/cm*² (cd/cm^2) ou *candela/m*² (cd/m^2).

A Fig. 11 mostra geometricamente os conceitos de intensidade luminosa, fluxo luminoso, luminância e iluminamento.

Relação entre o Luxímetro e a média das tensões obtidas com os transistores

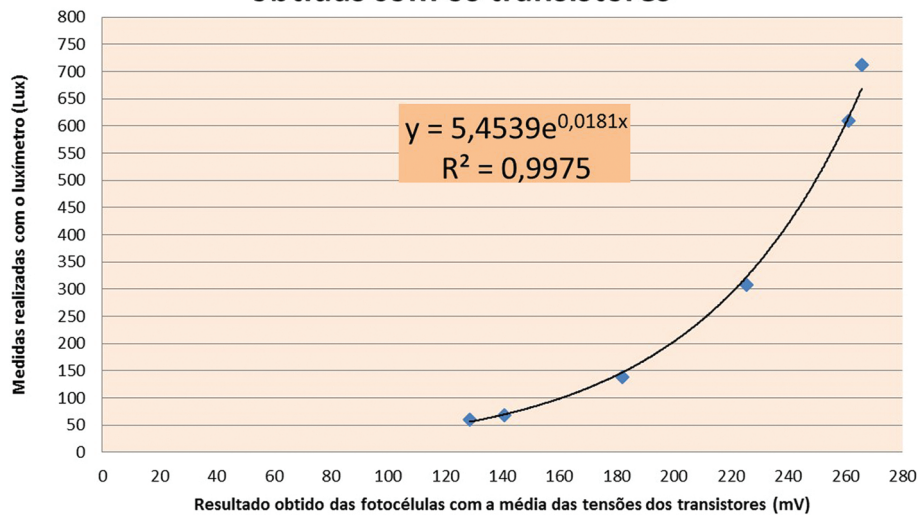


Figura 9: Relação existente entre as medidas realizadas com o voltímetro e com o luxímetro. Fonte: acervo dos autores.

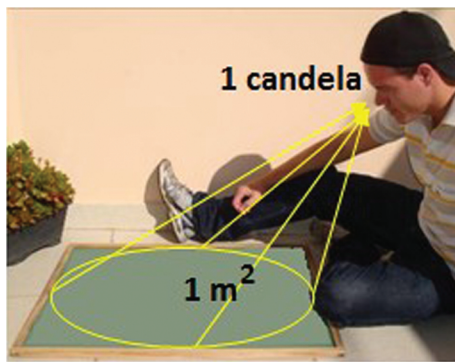


Figura 10: Representação geométrica da luminância. Fonte: foto dos autores.

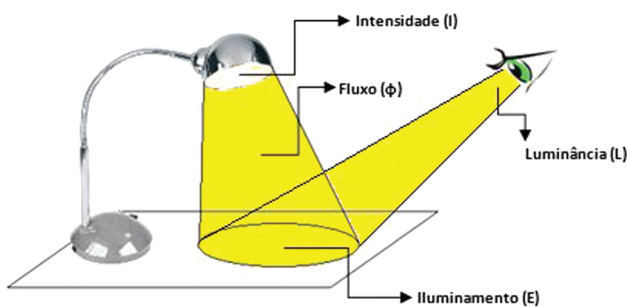


Figura 11: Representação geométrica dos principais conceitos relacionados à óptica física. Fonte: acervo dos autores.

A Tabela 2 sintetiza as grandezas luminosas fundamentais, com os respectivos símbolos e unidades.

Nas residências, locais de trabalhos, escolas, hospitais entre outros ambientes, recomenda-se a utilização da luz natural, devendo a luz artificial ser

Tabela 2: Grandezas luminosas fundamentais.

Grandeza	Símbolo	Unidade
Fluxo Luminoso	Φ	lúmen (lm)
Intensidade Luminosa	I	candela (cd)
Iluminância	E	lux (lx)
Luminância	L	candela/m ² ou candela/cm ²

empregada somente quando a natural for insuficiente, visto que o olho humano está adaptado a ela, além de ser mais econômica. Neste sentido as construções devem prever o aproveitamento máximo da luz natural.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR ISO/CIE 8995-1 [7], estabeleceu os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizam atividades de comércio, indústria, ensino, esporte, entre outras atividades. A Tabela 3 mostra alguns ambientes com os valores mínimos de iluminância recomendados pela ABNT.

5. Sugestões de atividades que podem ser exploradas utilizando o LBC

Com a inclusão da física moderna no currículo do ensino médio e sendo o transistor tão relevante na atualidade, este trabalho propõe um experimento complementar ao estudo da óptica física, utilizando materiais de baixo custo.

Tabela 3: Iluminância recomendada em alguns ambientes de acordo com a norma NBR ISO/CIE 8995-1. Fonte: Ref. [7].

Ambientes		lux (lx)
Escritórios	Arquivamento, cópia, circulação.	300
	Escrever, teclar, ler, processar dados.	500
	Desenho técnico.	750
Locais de entretenimento	Teatros e salas de concerto.	200
	Salas com multiuso.	300
	Salas de ensaio, camarins.	300
Bibliotecas	Estantes	200
	Área de leitura	500
	Bibliotecárias	500
Construções educacionais	Salas de aula, sala de aulas particulares.	300
	Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos.	500
	Sala de leitura.	500
	Quadro negro.	500
	Salas de ensino de computador.	500
	Salas comuns de estudantes e salas de reunião.	200

A proposta possibilita várias discussões acerca da óptica e da física moderna. Pode-se conceituar, com os alunos, como são formados os fótons de luz, o que significa luminância, iluminância, fluxo luminoso, geração de energia renovável valorizando assim temáticas e problemas ambientais, efeito fotoelétrico, constante de Planck, velocidade da luz, semicondutores, quantização da luz com a utilização de filtros de cores, funcionamento de fotocélula, dentre outros.

O LBC como sistema de coleta de dados possui diversas aplicações, merecendo destaque a construção de alguns aparelhos, tais como:

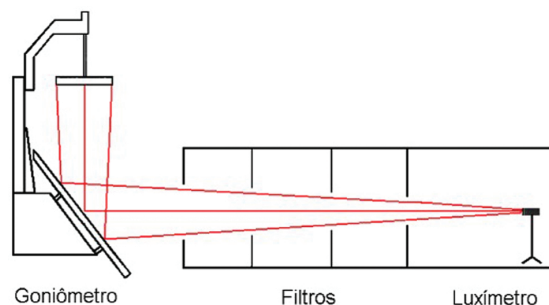
5.1. Goniofotômetro

Basicamente é um aparelho para determinação do fluxo luminoso, constituído por três partes, conforme mostra a Fig. 12.

- i) Goniômetro: tem a função de mudar a orientação no espaço da fonte de luz ou do sensor do luxímetro.
- ii) Luxímetro: situado a uma distância fixa da fonte de luz de, no mínimo, cinco vezes o tamanho da fonte. Fornece a leitura da iluminância (lux) que, multiplicada pela distância elevada ao quadrado, resulta na intensidade luminosa (cd.);
- iii) Filtros: situados entre o goniômetro e o luxímetro, têm a função de permitir a passagem de somente um feixe de luz da fonte até o sensor do luxímetro, evitando que a luz refletida nas paredes do ambiente influencie na leitura.

5.2. Fototacômetro

Ilustrado na Fig. 13, é um instrumento de medição do número de rotações de uma fonte rotativa, como

**Figura 12:** Modelo de Goniofotômetro com arranjo de espelho. Fonte: acervo dos autores.**Figura 13:** Fototacômetro digital. Fonte: Exttech®Instruments [8].

por exemplo, um motor, geralmente em rotações por minuto (RPM). Utiliza-se de uma mira *laser* e uma fotocélula como emissor e receptor, respectivamente.

5.3. Espectrofotômetro

Mostrado na Fig. 14, é um aparelho que se utiliza da lei de Lambert-Beer [9], processo no qual

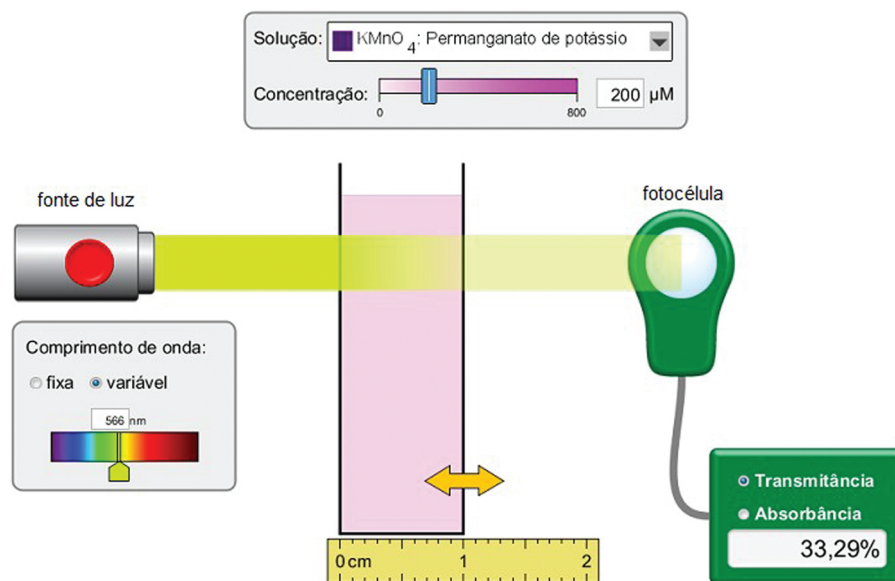


Figura 14: Espectrômetro digital. Fonte: University of Colorado [10].

a quantidade de luz absorvida ou transmitida por uma determinada solução depende da concentração do soluto e da espessura da solução. A Espectrofotometria é um método amplamente utilizado em química ou bioquímica para a determinação da concentração de compostos cromogênicos presentes em uma solução, por meio da transmissão ou absorção de luz.

Alguns trabalhos, tais como os desenvolvidos pelas Refs. [11-13], abordam a construção de um espectrofotômetro de baixo custo que podem ser utilizados em conjunto com o LBC. Na Ref. [11] é descrito um aparato experimental de baixo custo para possibilitar estudos qualitativos e quantitativos de diversos aspectos experimentais relacionados às técnicas de espectrofotometria. Discute ainda algumas atividades possíveis de serem abordadas nas aulas de biofísica.

Na Ref. [12] é descrito um espectrofotômetro bem interessante, construído com peças de impressoras e computadores inativos e um micro controlador Arduino que faz o controle desses componentes. O equipamento permite o ensino de temas relacionados à óptica física de forma bem didática. Já o espectrofotômetro proposto pela Ref. [13] utiliza componentes de fácil aquisição, como Leds, LDR e micro controladores. Ao longo de ambos os trabalhos foram abordados os fundamentos químicos, físicos e

analíticos para a compreensão da construção e do funcionamento desse equipamento e as adaptações necessárias para a sua montagem.

6. Habilidades e Competências que podem ser exploradas utilizando-se o LBC

Algumas das competências necessárias ao aluno do ensino médio, segundo a Ref. [14] é desenvolver a capacidade de investigação física, em que o observar, classificar, organizar, sistematizar, estimar ordens de grandeza e compreender o conceito de medir e fazer hipóteses devem ser ações amplamente exploradas nas aulas de física.

O aparato experimental proposto possibilita além das competências citadas acima, que o aluno diante de uma situação física seja capaz de identificar parâmetros relevantes e quantifique grandezas, relacionando-as. Ainda, segundo a Ref. [14] alguns aspectos da física moderna são indispensáveis para que os alunos desenvolvam uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma a terem contato com diferentes e novos materiais presentes nos utensílios tecnológicos e utilizados no desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. Entretanto, é indispensável ir além, aprendendo a identificar, lidar

e reconhecer as radiações e seus diferentes usos, o que pode ser feito por meio do uso do LBC, que possibilita o estudo da matéria e da radiação, constituindo um tema capaz de proporcionar condições favoráveis à organização das competências relacionadas com a compreensão do mundo material microscópico.

7. Considerações finais

Uma boa compreensão das características mensuráveis da luz e a utilização de instrumentos que facilitam estas medidas utilizando-se de materiais de baixo custo e fácil aquisição podem proporcionar importantes aprendizagens conceituais no que diz respeito à óptica física. A utilização do LBC pode representar uma alternativa inovadora à prática pedagógica do professor, auxiliando na motivação do estudante no processo educacional e possibilitando aprimorar a sua aprendizagem. Além disso, possibilita a utilização de conceitos da física em uma situação real, o que não acontece na maioria das situações propostas no atual ensino desta área de conhecimento.

O LBC pode ser usado ainda como recurso didático alternativo, na medida da luz ambiente e verificação do atendimento das normas da ABNT sem, no entanto, desprezar os instrumentos profissionais, mas correspondendo a uma alternativa mais econômica e acessível, o que facilita largamente o seu uso na maioria das escolas brasileiras, onde normalmente são escassos os recursos e materiais de apoio à atividade pedagógica dos professores.

Referências

- [1] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física 4: Óptica e Física Moderna* (Editora LTC, Rio de Janeiro, 2012), v. 4. 9^a ed., 432 p.
- [2] A.M.G. Pais, *Condições de Iluminação em Ambiente de Escritório: Influência no Conforto Visual*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, 2011.
- [3] G.J.C. Costa, *Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação* (EDPUCRS, Porto Alegre 2006), v. 5. 4^a ed.
- [4] Milipa®, *Manual de Instruções do Luxímetro Digital MLM 1011*. Disponível em <http://www.multcomercial.com.br/pdf/minipa/MLm-1011-1100-Eng-Esp-Por.pdf>. Acesso em 17 dez. 2015.
- [5] A.C.C. Ribeiro, H.C.P. Rosa, J.D.S. Correa e A.V. Silva, *Revista e-exacta* **5**, 111 (2012).
- [6] K. Minolta, *The Language of Light*. Disponível em <http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/light/>. Acesso em 17 dez. 2015.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de Ambientes de Trabalho: Parte 1: Interior* (ABNT, São Paulo, 2013).
- [8] Extech® Instruments, Disponível em <http://www.extech.com.br/instruments/product.asp?catid=21&prodid=252>. Acesso em 17 dez. 2015.
- [9] International Union of Pure and Applied Chemistry, In: *Compendium of Chemical Terminology*. Disponível em <http://goldbook.iupac.org/B00626.html>. Acesso em 17 dez. 2015.
- [10] University of Colorado, *Lab lei de Beer*. Disponível em http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/beers-law-lab. Acesso em 17 dez. 2015.
- [11] E. Lüdke, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **32**, 1506 (2010).
- [12] R.F. Rogovski, *Construção de um Espectrofotômetro como Metodologia Didática*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2014.
- [13] A.S. Souza, A.G. Oliveira, N.J.Z. Farah e R.S. Gimene, *Espectrofotômetro Microcontrolado Didático*. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, 2013.
- [14] Brasil, *Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN+* (Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, Brasília, 2006).