

Uso de Métodos de Análise Multicritério na Certificação de Lâmpadas LED

Lorena B. Oliveira*, Márcio Z. Fortes*, Níssia C. R. Bergiante***,
Vitor, H. Ferreira*, Luiz O. Gavião**, Gilson B. A. Lima***

*Universidade Federal Fluminense, Niterói,
(e-mail: lorenaoliveira@id.uff.br) (e-mail: mzamboti@id.uff.br). (vhferreira@id.uff.br)

**Escola Superior de Guerra - ESG, Rio de Janeiro,
(e-mail: luiz.gaviao67@gmail.com).

***Universidade Federal Fluminense, Niterói,
(e-mail: nissiabergiante@id.uff.br) (e-mail: glima@id.uff.br).

Abstract: Certifications of LED lamps in the country are part of the Brazilian Labeling Program (PBE), coordinated by Inmetro, and seek to provide information on product performance in order to help consumers choose and stimulate industry competitiveness. Given the need for continuous improvement of product certification processes in the country, this paper seeks to present, through the TOPSIS multicriteria analysis method, an LED lamp analysis system. Therefore, not only energy efficiency was observed, but also other aspects of the generated light quality and the energy quality currently considered as requirements for the compulsory certification of lamps. At the end of the work it was possible to realize the relevance of using the multicriteria analysis methods as an aid tool in the certification processes of lamps and that it can be reproduced for several products creating a tool to support the analysis-based decision making impacting various sectors of society. This work offers subsidies for the creation of a new product labeling, helping, in the short term, buyers to look for the best performing products in the market, and, in the long run, boosting the manufacturers to improve the products offered in the market.

Resumo: As certificações de lâmpadas LED no país fazem parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro, e buscam fornecer informações sobre o desempenho dos produtos a fim de auxiliar a escolha dos consumidores e estimular a competitividade da indústria. Tendo em vista a necessidade de melhoria contínua dos processos de certificações de produtos no país, este trabalho busca apresentar por meio do método de análise multicritério TOPSIS um sistema de análise de lâmpadas LED. Para tanto, foi observado não apenas a eficiência energética, mas também outros aspectos de qualidade da luz gerada e de qualidade de energia considerados atualmente como requisitos para a certificação compulsória de lâmpadas. Ao final do trabalho pôde-se perceber a relevância de se utilizar os métodos de análise multicritério como ferramenta de auxílio nos processos de certificação de lâmpadas e que o mesmo pode ser reproduzido para diversos produtos criando uma ferramenta de apoio a tomada de decisão baseada em análise de dados, impactando diversos setores da sociedade. Este trabalho oferece subsídios para a criação de uma nova rotulagem de produtos, auxiliando, em curto prazo, compradores a buscarem dentre os produtos disponíveis no mercado aqueles com melhor desempenho, além de, em longo prazo, impulsionar os fabricantes a melhorarem os produtos oferecidos no comércio brasileiro.

Keywords: Multicriteria Analysis; TOPSIS; Lighting systems; Decision system; Led lamps.

Palavras-chaves: Análise Multicritério; TOPSIS; Sistemas de iluminação; Sistema de decisão; Lâmpadas LED.

1. INTRODUÇÃO

Segundo (Miyashiro, 2016), as lâmpadas certificadas quando comparadas às não certificadas atingem índices melhores nas medições elétricas e fotométricas, sendo o mercado consumidor um dos maiores beneficiários da certificação de produtos.

Tal como (Miyashiro, 2016), (Pereira *et al.*, 2015) observou em seu trabalho uma melhoria ocorrida nas lâmpadas LEDs

(*Light Emitting Diode*) entre os anos de 2011 e 2015, quando passaram a vigorar as portarias que regulamentam estes modelos de lâmpadas. O autor ressaltou que a fiscalização adequada dos produtos comercializados pode auxiliar para que a tecnologia seja aprimorada e contribua para a redução do consumo de energia em residências e edifícios.

Neste sentido, o Inmetro criou a Portaria n° 144 de 13 de março de 2015 (INMETRO, 2015) e a Portaria n° 389 de 25 de agosto de 2014 (INMETRO, 2014). A primeira trata sobre o processo de certificação de lâmpadas LED, garantindo o

uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) como requisito para a comercialização de produtos no país e a segunda, apresenta quais os requisitos devem ser atendidos delimitando os valores máximos e mínimos que devem ser atingidos em cada medição das lâmpadas. A efetividade do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e do uso das etiquetas (ENCE) estão reportadas em recente publicação de Huse e outros (2020).

Além da certificação compulsória, há também uma regulamentação específica elaborada pelo Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) que permite que fabricantes e importadores estampem nas embalagens de seus produtos o selo que comprova uma eficiência mais elevada comparada aos valores mínimos estabelecidos na certificação compulsória (PROCEL, 2015).

Mesmo com a existência da certificação e do selo Procel para lâmpadas LED, ainda sim há a necessidade de melhoria dos modelos de incentivo ao aumento da qualidade de produtos de forma que todos, ou a maioria dos fabricantes possam buscar a evolução contínua do produto ofertado. A metodologia proposta nesse trabalho, já é utilizada no Brasil em outros produtos como, por exemplo, em equipamentos de aquecimento solar de água, fornos e fogões a gás e aquecedores a gás, e também em outros países da União Europeia. Nesses casos o selo utilizado possui uma graduação de cores que permite aos usuários identificarem a eficiência do equipamento adquirido, comparando-o aos outros com características semelhantes.

Considerando as modernizações ocorridas no regulamento europeu em 2017 (Conselho da União Européia, 2017), e o prazo de vigência da revisão da regulamentação do Procel (2020), este trabalho busca apresentar por meio de métodos de análise multicritério um sistema de análise de lâmpadas LED levando em consideração não apenas a eficiência energética, mas também outros aspectos considerados atualmente como requisitos para a certificação compulsória de lâmpadas, tais como medições de qualidade da luz gerada e qualidade de energia.

Para tanto, o trabalho foi dividido em 3 etapas além da introdução na seção 1. Na seção 2 é apresentada a metodologia do trabalho, bem como as normas e medições realizadas. Os resultados e discussões são realizados na seção 3 e as conclusões são apresentadas na última seção.

2. METODOLOGIA

Para revisão do modelo de certificação de lâmpadas LED no Brasil, foi proposto um estudo de caso com uma amostra de 100 lâmpadas a fim de verificar o impacto das certificações compulsória e voluntária tipo de lâmpada.

2.1 Divisão do Trabalho

O estudo se desenvolveu em três fases, conforme apresentado na Fig. 1. Na primeira fase, 10 modelos de lâmpadas tubulares LED de 18W, contendo 10 lâmpadas cada, foram avaliados segundo os critérios da Portaria 389/2014 do

Inmetro (INMETRO, 2014). Na segunda fase, essas mesmas lâmpadas passaram por uma avaliação tendo em vista os critérios de concessão do Selo Procel (PROCEL, 2016). E, na terceira fase foram propostas metodologias de ranqueamento de lâmpadas utilizando três cenários diferentes de análise. Assim, as medições foram agrupadas em três famílias de critérios: eficiência, qualidade de energia e qualidade de luz gerada. Este trabalho segue a mesma linha metodológica de pesquisa apresentada em (Fragoso *et al.*, 2019).

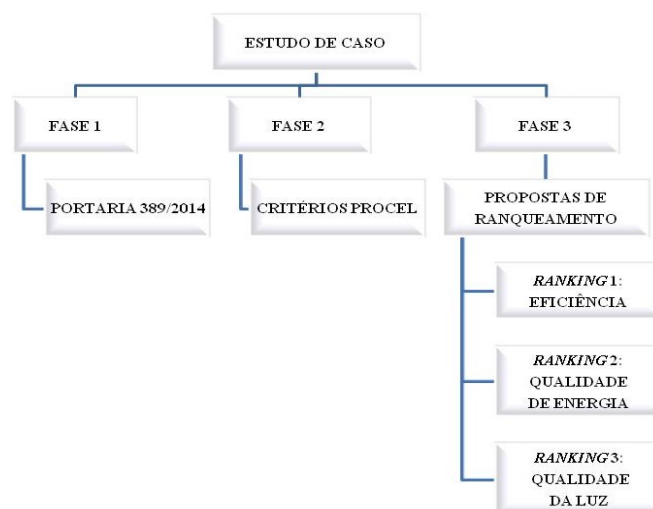


Fig. 1 Metodologia do trabalho esquematizada.

Vale ressaltar que os critérios escolhidos para simulação dos cenários levaram em consideração as medições requeridas pelas portarias e normas vigentes. Deste modo, bem como apresentado em (Onder and Dag, 2013), onde a experiência e o histórico dos especialistas foram utilizados na determinação dos critérios, neste trabalho as portarias e normas foram suficientes para escolha dos critérios analisados.

As medições agrupadas levaram em consideração a exaustividade e objetividade dos critérios avaliados de modo a não haver redundâncias. Além disso, não foram verificadas relações de dominância entre as alternativas.

No cenário 1, o ranqueamento foi realizado utilizando-se apenas a eficiência das lâmpadas. No segundo cenário, foi realizada uma comparação entre as lâmpadas tendo em vista os dados de qualidade de energia. As medições utilizadas foram: fator de potência, distorção harmônica total, potência, corrente e eficiência das lâmpadas. No último cenário, as lâmpadas foram ranqueadas a partir da qualidade da luz por elas emitida, assim os índices avaliados foram: fluxo luminoso, Ra e R9.

2.2 Materiais e Equipamentos

As medições das 100 amostras de lâmpadas foram realizadas em ensaios no laboratório LABLUX - Laboratório de certificação de lâmpadas e luminárias da UFF - e comparados aos valores mínimos e máximos estipulados pelas normas, regulamentos e portarias vigentes. Este laboratório possui pesquisas publicadas sobre o tema eficiência energética, qualidade de energia e luminotécnica como apresentado em

(Fragoso *et al.*, 2019), (Camilo *et al.*, 2018), (Silva *et al.*, 2018) e (Fassarella *et al.*, 2014).

A **Fig. 2** apresenta os equipamentos utilizados nas medições, Esfera integradora de Ulbricht, Fonte de tensão com frequência igual a 60Hz e tensão de ensaio nominal da rede elétrica, 127 VCA ou 220 VCA, Espectroradiômetro, Wattímetro e Computador para aquisição e tratamento dos dados, Além disso, todas as medições foram realizadas dentro dos requisitos ambientais de ensaio da portaria 389/2014 (INMETRO, 2014).



Fig. 2 Equipamentos de Medição.

2.3 Ensaios

Para a realização das medições das características das lâmpadas selecionadas, utilizou-se a Portaria 389/2014 (INMETRO, 2014) e os requisitos do Procel (PROCEL, 2016) como modelo de ensaio. Tendo em vista os dados necessários para o estudo, apenas alguns dos ensaios citados nos documentos foram utilizados.

Para que os ensaios das lâmpadas fossem realizados, fez-se necessário uma estabilização prévia das mesmas.

Cada modelo de lâmpada estudada no trabalho possuiu dez amostras que foram ensaiadas e após a medição das dez amostras, foi realizado o cálculo da média dos valores dos parâmetros elétricos e fotométricos medidos. Uma breve descrição das medidas realizadas é apresentada.

Fluxo Luminoso (lm)

Um lúmen é o fluxo luminoso emitido por uma fonte puntiforme com intensidade de uma candela em um ângulo sólido de um esferorradiano (Fonseca, 1976).

Índice de Reprodução de Cor

O Índice de Reprodução de Cor (IRC) é composto por 15 amostras de cores, as oito primeiras amostras são cores com saturação média e as seis últimas são cores altamente saturadas. O índice geral de reprodução de cores R_a é dado como a média das oito primeiras amostras de cores **Erro! Fonte de referência não encontrada.** **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, no entanto o IRC é frequentemente usado para se referir a R_a (Ohno, 2005).

$$R_a = \sum_{h=1}^8 \frac{R_i}{8} \quad (1)$$

Potência

A potência ativa (P) de um sinal comportando harmônicas é a soma das potências ativas causadas por tensões e correntes de mesma ordem **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (Wakileh, 2001).

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_{hrms} I_{hrms} \cos(\theta_h - \phi_h) \quad (2)$$

Onde:

P = Potência ativa;

V_{hrms} = Tensão eficaz de ordem h;

I_{hrms} = Corrente eficaz de ordem h;

$\theta_h - \phi_h$ = Defasagem entre a tensão e a corrente harmônica de ordem h.

Fator de Potência

O fator de potência (FP) é a relação entre a potência ativa P e a potência aparente S (1). Mas também pode ser expresso por (2) onde fica explícita a dependência do fator de potência, não somente com o ângulo de defasagem entre a corrente e tensão, expresso em (3), mas também a distorção na forma de onda da corrente de alimentação (Schneider Electric, 2018).

$$FP = \frac{P}{S} \quad (1)$$

$$FP = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_V^2} \sqrt{1 + THD_I^2}} \quad (2)$$

$$\cos \phi = \frac{P_1}{S_1} \quad (3)$$

Onde:

P = Potência ativa;

S = Potência reativa;

$\cos \phi$ = Ângulo entre a forma de onda de corrente e tensão

na frequência fundamental;

P_1 = Potência ativa da fundamental;

S_1 = Potência reativa da fundamental.

Eficiência Energética

Na física, eficiência é uma grandeza adimensional, pois é uma relação entre energias. No entanto, frequentemente é

substituída pela relação entre um produto desejado e a energia útil gasta para obtê-lo (Leite, 2012).

Para análise da eficiência energética em lâmpadas ou rendimento luminoso essa grandeza mede a quantidade de lumens gerados por watt consumido (OSRAM, 2016).

Taxa de Harmônica Individual

Taxa individual de harmônica (ou taxa de harmônica da ordem h) é a porcentagem de harmônica de ordem h dividida pela fundamental, dado por (4) (Schneider Electric, 2018).

$$i_h(\%) = 100 \cdot \frac{I_h}{I_1} \quad (4)$$

Taxa de Distorção Harmônica

A taxa de distorção harmônica, geralmente expressa em porcentagem, é definida pela a relação entre o valor RMS das componentes harmônicas da corrente e a fundamental segundo (5), e pode atingir valores maiores do que 1 (Wakileh, 2001).

$$THD_I = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{1rms}}\right)^2 - 1} \quad (5)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Fase 1

A primeira fase de avaliação foi resultante de uma comparação entre os dados obtidos em ensaio e os valores requisitados pela portaria 389/2014 do Inmetro (INMETRO, 2014). Essa avaliação levou em conta os seguintes requisitos: Potência; Fator de Potência; Fluxo Luminoso; Eficiência; Ra (Índice de Reprodução de Cor); R9 (Reprodução da Cor Vermelha); Distorção de Corrente representada pelas harmônicas de 2ª ordem e das ordens ímpares de 3ª a 39ª.

Devido à faixa de tensão das lâmpadas, as medições foram realizadas nas tensões 127V e 220V. A partir dos resultados foi possível destacar as seguintes verificações:

- 50% das lâmpadas foram reprovadas no requisito Fator de Potência. No entanto apenas um modelo (VII) apresentou discrepância do valor de referência;
- 30% das lâmpadas foram reprovadas no requisito Fluxo Luminoso;
- Nenhum modelo de lâmpada foi reprovado no requisito eficiência mínima, reprodução de cor e índice R9;
- 40% das lâmpadas foram reprovadas nas medições de correntes harmônicas;
- Ao final de todas as medições apenas 20% dos modelos de lâmpada medidas foram aprovadas (Modelos II e IV);

3.2 Fase 2

A segunda avaliação foi realizada tomando por base os requisitos do Selo Procel. Os critérios avaliados foram: potência, eficiência e fator de potência. Assim, as lâmpadas que podem receber o selo do Procel são aquelas que já passaram por uma avaliação anterior e receberam a certificação compulsória do Inmetro.

A partir da análise dos dados, as características das medições observadas foram:

- Apenas um modelo (VII) foi reprovado no requisito Fator de Potência, obtendo variação de 50% entre o seu menor valor medido e o valor de referência;
- Todos os modelos de lâmpadas foram aprovados nos requisitos eficiência mínima e fator de potência;
- Ao final das medições apenas 10% das lâmpadas ensaiadas foram reprovadas.

A partir desses resultados, é possível verificar três características com relação às certificações compulsória e voluntária:

- A certificação compulsória reprovou 80% das lâmpadas medidas, em contrapartida, a certificação voluntária apenas 10%;
- O critério de reprovação do Selo Procel não foi o critério de eficiência; Todas as lâmpadas aprovadas na certificação compulsória foram aprovadas também na voluntária;
- 40% das lâmpadas foram reprovadas no requisito fator de potência da portaria 389/2014 (INMETRO, 2014), mas não foram reprovadas no critério do Procel;

Outro aspecto a ser analisado é a questão de as lâmpadas requererem avaliação do Procel apenas depois de obter a ENCE. Assim, tendo em vista que as lâmpadas que podem receber o selo do Procel são aquelas que já passaram por uma avaliação anterior e receberam a certificação compulsória do Inmetro, podem-se destacar os seguintes resultados.

- A única lâmpada reprovada segundo os critérios do Procel foi anteriormente reprovada no requisito da ENCE, portanto não poderia requerer o Selo;
- A lâmpada reprovada pelo critério do Procel possuiu aprovação no critério eficiência mínima;
- Todas as lâmpadas que foram aprovadas pelos critérios da ENCE foram também aprovadas pelos critérios de concessão do Selo Procel.

A partir dos resultados obtidos e das análises realizadas, faz-se necessário investigar duas possíveis questões. A primeira é a possibilidade dos critérios adotados pelo Inmetro para concessão da ENCE serem demasiadamente rígidos em alguma das avaliações realizadas, tornando essa avaliação a retentora dos selos ENCE. Tal fato deve ser estudado, pois quando se observa a distribuição das reprovações a partir dos critérios vê-se uma diferença grande entre a reprovação no critério fator de potência e os outros critérios avaliados. A

partir das medições é possível afirmar que o critério que reprovou mais amostras, fator de potência, obteve uma retenção de 50% das amostras ensaiadas. Além disso, a maioria das amostras ensaiadas (40%) poderia obter aprovação no selo Procel, no entanto por não possuírem a etiqueta compulsória não estariam habilitadas a requisitar o selo Procel. A diferença entre as duas normas se dá de maneira inversa ao esperado onde o selo que seria diferencial de eficiência possui requisitos menores ($FP \geq 0,92$) do que os valores mínimos requisitados para que as lâmpadas circulem em mercado nacional ($FP > 0,92$).

Outra questão a ser analisada são os critérios utilizados na concessão do selo Procel. Como o selo tem como objetivo destacar os produtos com maior eficiência no mercado, ele contempla apenas 25% dos produtos disponíveis no mercado valorizando os que possuem eficiência mais elevada. No entanto, no cenário estudado, percebeu-se que os critérios para obtenção do Selo Procel não destacaram as lâmpadas que o receberam, pois todas as lâmpadas que obtiveram a ENCE obtiveram também o selo do Procel. Tendo em vista os resultados encontrados nas duas comparações realizadas, o trabalho buscou discutir as regulamentações vigentes sugerindo, por meio do estudo de caso, possíveis modificações nesses documentos.

3.3 Fase 3

A terceira fase do trabalho é composta por três cenários de análise para ordenamento de lâmpadas.

- Cenário 1 – Eficiência
- Cenário 2 – Qualidade de Energia
- Cenário 3 – Qualidade de Iluminação

A

apresenta um resumo dos resultados encontrados nos cenários. A partir dos ranqueamentos é possível observar algumas características:

- As lâmpadas apresentam perfis de qualidade distintos;
- Apenas a lâmpada VIII obteve mesma posição em mais de um ranking (cenário 2 e 3);
- Em geral, as lâmpadas que apresentaram melhores características de cor apresentaram as piores características de qualidade de energia, com exceção da lâmpada modelo VIII;

Os rankings mostraram que as lâmpadas, em geral, possuem características diferentes. Assim, dependendo do público consumidor uma lâmpada pode ser mais ou menos adequada para um determinado projeto que outra. Nesse sentido, o trabalho aponta uma melhoria a ser realizada na revisão de 2020 da regulamentação para concessão do selo Procel. A Fig. 3 apresenta como proposta o modelo de um novo selo de lâmpadas LED onde são valorizadas as diferentes características das lâmpadas LEDs do mercado brasileiro.

No novo selo é possível identificar visualmente o desempenho global obtido pela lâmpada quando comparada às outras de mesma categoria (faixa de desempenho no centro

do desenho). Acredita-se que a graduação de cores ajudará a identificação do selo por parte dos consumidores que já reconhecem o formato, tendo em vista o uso difundido em outros produtos e também em outros países.

Além disso, as diferentes características dos produtos disponíveis no mercado são valorizadas através da categorização da lâmpada nos três grupos de análise: eficiência, iluminação e energia, permitindo que diferentes públicos possam adquirir produtos adequados dependendo da destinação final. Outro aspecto a ser destacado para a revisão do regulamento de concessão do selo Procel é a correção do limite mínimo permitido no critério fator de potência. Nesse sentido, faz-se necessário o ajuste em uma das normas de forma que os requisitos do Procel (PROCEL, 2016) sejam no mínimo iguais aos requisitos da portaria 389/2014 (INMETRO, 2014), podendo esta última ser o regulamento modificado.

Tabela 1. Reprovação de modelos de lâmpadas por critério.

Modelo	Ranqueamento		
	Cenário 1 – Eficiência	Cenário 2 – Qualidade de Energia	Cenário 3 – Qualidade de Luz
I	10	9	4
II	6	1	8
III	8	6	1
IV	5	3	7
V	4	5	3
VI	9	7	6
VII	2	10	5
VIII	3	2	2
IX	7	4	10
X	1	8	9

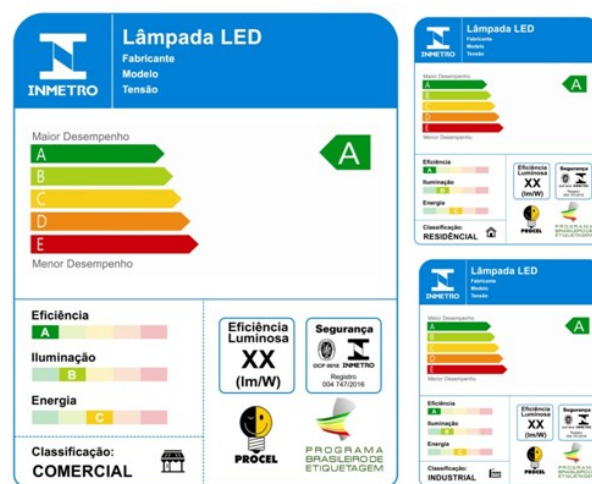


Fig. 3 - Etiqueta proposta.

4. CONCLUSÃO

O trabalho apresentou como objetivo uma atualização da certificação de lâmpadas LEDs no Brasil utilizando recursos de análise multicritério. Para tanto um estudo de caso foi proposto utilizando os ensaios de 100 lâmpadas tubulares LED de 18W para verificar a atuação da certificação compulsória e voluntária na concessão dos selos.

A partir dos dados levantados e análise realizada, foi possível observar que a certificação compulsória é eficaz ao atingir o objetivo de filtrar as lâmpadas que não atendem aos requisitos mínimos para circulação no mercado brasileiro. No entanto, a análise também identificou que a certificação voluntária não distinguiu as variações de qualidade existentes nas lâmpadas estudadas. O que apontou uma possível desatualização dessa normativa.

Para o estudo de caso três cenários de ranqueamento de lâmpadas foram propostos. O primeiro levou em consideração apenas a eficiência das lâmpadas, o segundo observou as características de qualidade de energia, o terceiro, qualidade de luz gerada. A investigação apontou para a necessidade de valorização dos diferentes padrões de lâmpadas fabricados, uma vez que diferentes fabricantes possuem produtos com características distintas, não necessariamente melhores ou piores do que outras. Tal medida foi apresentada por meio da sugestão de um novo selo que permitirá consumidores leigos realizarem uma correta escolha do produto, sem a necessidade de conhecimento específico sobre os critérios utilizados em cada avaliação.

Vale ressaltar que atualmente o Procel busca promover a revisão dos critérios técnicos exigidos para a concessão do selo a cada 4 anos, contemplando apenas 25% dos produtos disponíveis no mercado. Assim, independente da solução adotada pelos órgãos responsáveis na nova atualização prevista para 2020, é necessária uma atualização frequente dos requisitos uma vez que esses equipamentos possuem rápida evolução tecnológica necessitando revisões periódicas nos limites dos critérios adotados.

As mudanças propostas no trabalho buscam contribuir para o aumento da eficiência dos equipamentos de iluminação e para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia. No entanto, os métodos de análise multicritério podem ser também utilizados como ferramenta de auxílio nos processos de certificação de outros produtos. Assim, com uma nova rotulagem de produtos os órgãos do governo podem auxiliar compradores a buscarem os produtos mais eficientes, além de impulsionar a indústria brasileira na fabricação e oferta de produtos com maior qualidade.

REFERÊNCIAS

Camilo, J.M. *et al.* (2018) 'Analysis of Current Transients in Residential Lamps', *IEEE Latin America Transactions*, 16(12), pp.2934-2940. doi: 10.1109/TLA.2018.8804259.

Conselho da União Européia (2017) *Etiquetagem energética mais clara: maior eficiência energética*. Available at: <http://www.consilium.europa.eu/pt/press/press-releases/2017/06/26/clearer-energy-labelling/> (Accessed:

6 September 2018).

Fassarella, J.E.V. *et al.* (2014) 'Analysis and suggested solution of Power quality problems in Lighting Laboratory', *IEEE Latin America Transactions*, 12(6), pp.1091-1026. doi: 10.1109/TLA.2014.6893995.

Fonseca, R. S. (1976) *Iluminação Eletrica*. São Paulo: McGraw-Hill.

Fragoso, A.P. *et al.* (2019) 'Evaluation of the Energy Performance in LED Lamps with Integrated Driver through Multicriteria Analysis', *IEEE Latin America Transactions*, 17(4), pp.642-647. doi: 10.1109/TLA.2019.8891929.

Huse, C. *et al.* (2020) 'Consumer response to energy label policies: Evidence from the Brazilian energy label program', *Energy Policy*, 138, 11207. doi: 10.1016/j.enpol.2019.111207.

INMETRO (2014) *Portaria n. 389, de 25 de agosto de 2014*.

INMETRO (2015) *Portaria n. 144, de de 13 de março de 2015*.

Leite, A. (2012) *Eficiência e desperdício da energia no Brasil*. Elsevier Brasil.

Miyashiro, M. M. (2016) *Avaliação da eficiência energética de lâmpadas LED*. Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Ohno, Y. (2005) 'Spectral design considerations for white LED color rendering', *Optical Engineering*, 44(11), p. 111302. doi: 10.1117/1.2130694.

Onder, E. and Dag, S. (2013) 'Combining analytical hierarchy process and TOPSIS approaches for supplier selection in a cable company', *Journal of Business, Economics & Finance*, 2(2), pp. 56-74. doi: 10.1016/j.eswa.2012.05.056.

OSRAM (2016) *Curso de Iluminação: Conceitos e Projetos*. Osasco.

Pereira, A. M. E. *et al.* (2015) 'Power Quality Analysis of Domestic Lamps Available in the Brazilian Market', *WSEAS Transactions on Circuits*, 14, pp. 389-399.

PROCEL (2015) *Regulamento para concessão do selo procel de economia de energia para edificações*.

PROCEL (2016) *Critérios para a Concessão do Selo PROCEL de Economia de Energia a Lâmpadas LED com Dispositivo de Controle Integrado à Base*.

Schneider Electric (2018) *Apostila de Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. Available at: <https://www.schneider-electric.com.br/documents/cadernos-tecnicos/harmon.pdf> (Accessed: 28 May 2018).

Silva, L.M. *et al.*, (2018) 'Evaluation of the impact of EMI on Ethernet networks from lighting technologies', *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 33(2), 249-259. doi: 10.1080/09205071.2018.1537135.

Wakileh, G.J. (2001) *Power Systems Harmonics – Fundamentals, Analysis and Filter Design*. ISBN: 9788181287298, Springer.