



## PROTÓTIPO DO CONCEITO DE UM SISTEMA DE TELEGERENCIAMENTO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA POR LED

**Carolina Albuquerque Caldeira** – carolinaa.alb@gmail.com  
**Rávilla Raianni Silva Leite** – ravillasilva94@gmail.com  
**Lincoln Machado de Araújo** – machado.lincoln@gmail.com  
**Ademar Gonçalves da Costa Junior** – ademarcosta@ifpb.edu.br  
Laboratório de Instrumentação, Sistemas de Controle e Automação (LINSCA)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)  
João Pessoa (PB), Brasil

***Resumo:** Neste artigo é apresentado um protótipo para testes do conceito de telegerenciamento de um sistema de iluminação pública baseado em LEDs, visando minimizar os custos e aumentar a eficiência do sistema, também utilizando o conceito de Smart City. A rede é centralizada e o computador central se comunica com os módulos periféricos a partir do protocolo Wi-Fi. O sistema visa economizar energia elétrica reduzindo a tensão fornecida às luminárias nos períodos noturnos de menor movimento e a ligação gradual das lâmpadas no final da tarde. A detecção automática de falhas possibilitará maior agilidade na correção de tais erros. Esse estudo visa à implementação de uma iluminação pública a base de LEDs e justifica esta escolha de acordo com um levantamento bibliográfico dos benefícios e vantagens desta tecnologia, bem como da facilidade do controle de sua luminosidade, de modo a proporcionar uma grande redução na energia consumida. Dessa maneira, objetiva-se substituir gradativamente a utilização de lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP), que são as mais utilizadas na atualidade, mantendo as características fotométricas necessárias para garantir conforto e segurança aos cidadãos.*

***Palavras-chave:** iluminação pública a LED, telegerenciamento, sistema de iluminação pública, ESP8266, smart city.*

### 1. INTRODUÇÃO

A sociedade encontra-se dependente de energia elétrica, onde o Brasil tem um potencial hidroelétrico muito forte, mas que já vem sendo quase totalmente explorado. Assim, passam a ser necessárias outras fontes de energia, como energia térmica, solar e eólica para suprir a demanda energética do país. Uma forma de contribuir para a diminuição da pressão sobre a geração de energia é a economia de energia em ambientes domiciliares, empresas públicas e privadas, nas indústrias, e em setores como a iluminação pública.

A maioria das cidades brasileiras conta com sistemas descentralizados de iluminação pública, utilizando sensores fotoelétricos em cada poste. As redes não contam com funcionalidades como a detecção automática de falhas (como luminárias apagadas, por exemplo) e dependem das ligações dos clientes ou de avisos dos próprios técnicos da empresa para identificar possíveis falhas na rede elétrica. Dessa forma, uma rede inteligente pode oferecer detecção automática de erros e o controle de iluminação em determinadas horas,



como por exemplo, nas horas em que há um maior ou menor fluxo de pessoas e de veículos (BATTISTINI, 2011).

Atualmente, as principais lâmpadas utilizadas em iluminação pública são: de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão (VMAP); de Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP); e de Multi-Vapor Metálico (MVM). Os modelos mais utilizados atualmente são as lâmpadas VSAP, pois possuem alta durabilidade e elevada eficácia luminosa. Por outro lado, as lâmpadas VSAP possuem pontos negativos, como, por exemplo, o alto tempo para reinição, um baixo índice de reprodução de cores (CRI – *Color Rendering Index*), a tonalidade de cor amarelada e a construção baseada em metais pesados que são maléficos a saúde e tornam problemático seu descarte após o uso (MAGGI, 2013).

Com a evolução da tecnologia surgiram os diodos emissores de luz (LED – *Light Emitting Diode*) que tem se mostrado uma alternativa bastante interessante para a aplicação em iluminação pública, por possuir valores de alta eficácia luminosa, elevado IRC (Índice de Reprodução de Cores), alta durabilidade e facilidade para direcionamento da luz por meio de lentes. Isso permite que sejam criados sistemas com essa tecnologia que garantam os níveis de luminosidade, com o consumo menor de energia elétrica (RODRIGUES, 2012).

O objetivo do artigo é apresentar o desenvolvimento do projeto de protótipo de iluminação de um ambiente por meio da tecnologia LED, utilizando o conceito do telegerenciamento (NOGUEIRA *et al*, 2014), na disciplina de Instrumentação Eletrônica do curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) campus João Pessoa, utilizando a metodologia de ensino, Abordagem Baseada em Problemas – ABP (RIBEIRO, 2005). Nesse projeto de telegerenciamento é possível realizar o ajuste de luminosidade no local, a detecção de falhas e o acionamento remoto, contribuindo para a redução no consumo de energia elétrica de acordo com a diminuição de luminosidade em determinados horários, para 40% ou 60% da luminosidade máxima do LED, além do uso dessa tecnologia. Em casos em que se deseje que o modo de economia de energia após um determinado horário seja desativado, como, por exemplo, na ocorrência de eventos públicos, foi implementada a intervenção manual de cada LED por parte do operador que tiver acesso a uma central de operações.

O artigo está organizado da seguinte maneira: na seção 2 são apresentados os conceitos principais ao projeto de telegerenciamento do sistema de iluminação pública baseado em LEDs; na seção 3 a metodologia empregada na construção do protótipo do conceito do projeto de telegerenciamento; na seção 4, a discussão dos resultados obtidos e por fim, na seção 5, as considerações finais do artigo.

## 2. CONCEITOS APLICADOS AO PROJETO DE TELEGERENCIAMENTO

Nesta seção são apresentados os conceitos básicos utilizados no projeto de telegerenciamento que foi implementado, possibilitando o entendimento básico do problema abordado.

### 2.1. *Smart Cities* e o conceito em iluminação pública

As redes inteligentes de energia elétrica, conhecidas como *Smart Grids*, já estão, relativamente, bem difundidas nos Estados Unidos, em alguns países da Europa e da Ásia, acrescido do Oriente Médio, onde empresas de distribuição de energia elétrica têm investido na aquisição de medidores eletrônicos inteligentes, em automação e em plataformas de comunicação de dados, com a finalidade de otimizar a operação de suas redes elétricas, tornando os serviços oferecidos por elas mais eficientes, possibilitando aos clientes serem mais participativos no consumo de sua energia (MOREIRA, 2014).

Organização



Promotor





O conceito de *Smart City* voltado para a iluminação pública, abrangido dentro do conceito de *Smart Grid*, está relacionado com a facilidade de controle de um sistema de iluminação pública, visando à utilização de luminosidade necessária para cada luminária de acordo com a iluminação natural do ambiente, ou seja, apenas se faz uso desse sistema do anoitecer ao amanhecer, podendo também oferecer uma sensação de segurança pública nos ambientes envolvidos. Dessa maneira, se obtém uma ampla redução no consumo de energia elétrica, além de contribuir ao prolongamento da vida útil dos componentes eletrônicos utilizados, também evitando a poluição visual devido ao excesso de iluminação ou brilho em horários inapropriados.

Um projeto de iluminação pública inteligente visa implementar em cada poste, um controlador que seja responsável pela verificação do estado da lâmpada e do seu nível de luminosidade, além de enviar a central de operações, mensagens de aviso para lâmpadas queimadas ou em mal funcionamento.

## 2.2. Alguns conceitos de iluminação

Maggi (2013) cita que a luz visível é uma radiação eletromagnética que tem a propriedade de produzir uma sensação visual pelo olho humano, em um comprimento de onda na faixa entre 380 e 780 nm, com velocidade da luz, em linha reta, no valor aproximado de  $3 \times 10^8$  m/s.

O fluxo luminoso ( $\Phi$ ) é a quantidade de energia visível pelo ser humano que atravessa uma superfície em um período de tempo, sendo sua unidade dada em lúmens (lm). A iluminância ou iluminamento (E) é a quantidade de fluxo luminoso incidente por unidade de área, podendo ser medida com o auxílio de um luxímetro, sendo sua unidade o lux (lx) (MAGGI, 2013).

Costa (2004) define o Índice de Reprodução de Cores (IRC) como a medida de correspondência entre a cor real de um objeto, ou superfície, e sua aparência diante de uma fonte de luz. A luz artificial como regra, deve permitir ao olho humano perceber as cores corretamente, ou o mais próximo possível da luz natural. Lâmpadas com IRC de 100% apresentam as cores com total fidelidade e precisão, em que quanto mais baixo for o índice, mais deficiente é a reprodução de cores. O IRC varia conforme a natureza da luz, sendo indicados de acordo com o uso em cada ambiente.

## 2.3. Módulo Wi-Fi NodeMCU (ESP-12)

O NodeMCU, que é o sistema embarcado utilizado para o gerenciamento da informação no projeto, é um *firmware* e kit de desenvolvimento que permite a programação de protótipos IoT (*Internet of Things*). Ele integra módulos de GPIO, PWM, 1-Wire, I2C, ADC, entre outros, para facilitar o manuseio de módulos baseado no chip ESP8266 (NODEMCU TEAM, 2014). Além de transmitir dados seriais UART para *wireless* por meio dos protocolos TCP e UDP, o módulo permite realizar a aquisição dos dados dos sensores utilizados neste projeto já que possui portas com conversor A/D. Esse kit de desenvolvimento integra o circuito integrado da ESP8266, uma interface USB e um regulador de tensão de 3,3 V.

## 3. METODOLOGIA EMPREGADA NO PROJETO

Nesta seção é apresentada a metodologia empregada no projeto de telegerenciamento de iluminação pública por LED.

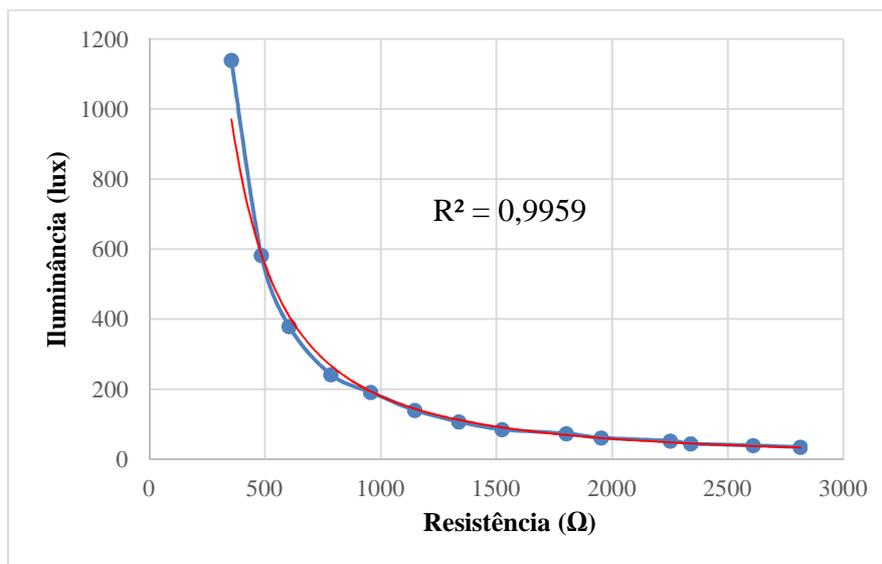
### 3.1. Curva de caracterização do sensor LDR

Para obter a curva de caracterização do sensor LDR, utilizado para a medição de



iluminância do ambiente, foram realizadas medições com o luxímetro Minipa ET1002 entre 4 cm e 30 cm com intervalos de 2 cm, com um total de 14 medições em cada ponto, também realizando a medição da resistência por meio do multímetro digital Agilent 34405A. Aplicado o Critério de Chauvenet nas medições realizadas para possíveis retiradas de *outliers*, a curva da Figura 1 foi obtida relacionando a luminosidade incidente no ambiente e a resistência no LDR, com a inserção de uma curva de regressão, onde o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) foi de 0,9959.

Figura 1 – Curva característica entre a iluminância e a variação da resistência do LDR.



### 3.2. Caracterização entre o *duty cycle* do PWM e a iluminância do LED

O controle de luminosidade foi realizado pela variação do PWM em função da iluminância no LED, sendo realizados cinco ensaios para a faixa de iluminância do LED e o *duty cycle* do PWM variando de 10 a 100%. Com a utilização do método de Chauvenet para descarte de *outliers*, a relação entre o *duty cycle* do PWM e a iluminância do LED, é ilustrada na Figura 2.

### 3.3. Implementação do projeto

Após a calibração do sensor, e estabelecidas a faixa de iluminância que o LED trabalha no projeto, foi desenvolvido um código para o kit de desenvolvimento baseado na ESP8266, utilizando a IDE do Arduino. O código desenvolvido para o telegerenciamento do sistema a LED obedece aos seguintes critérios estabelecidos pela equipe, com o diagrama de fluxo da informação ilustrado na Figura 3:

- Ao anoitecer, os LEDs acenderão de forma automática e gradativa até 100%;
- A partir das 23 horas, o *duty cycle* do PWM para o sistema de LEDs diminuirá para 40%, ou 60%;
- Um aviso é enviado ao sistema controlador, no caso de possíveis problemas de funcionamento, ou dano sofrido ao LED, com o intuito de agilizar os processos de manutenção.



Figura 2 – Gráfico que relaciona o *duty cycle* do PWM e a iluminância do LED.

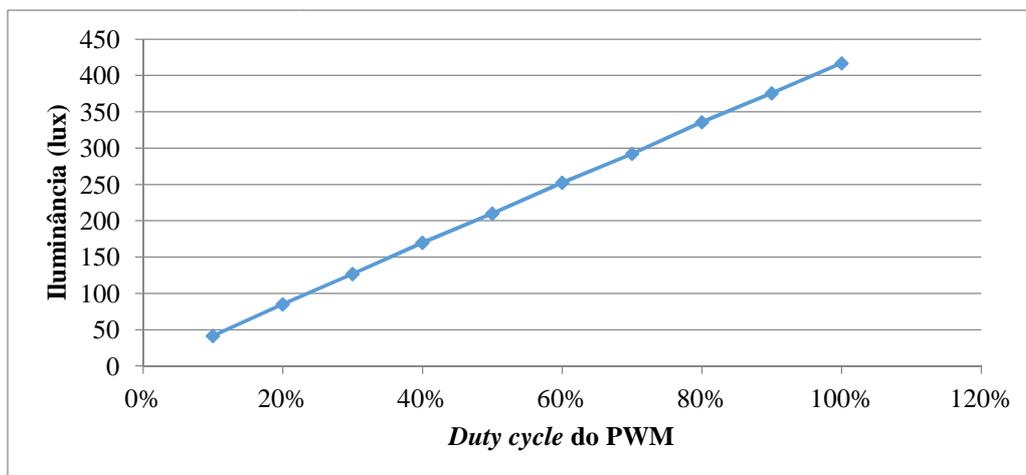


Figura 3 – Diagrama de fluxo da informação para o projeto do telegerenciamento de iluminação a LED.



O sistema de gerenciamento realiza a leitura da tensão no LDR, a qual foi relacionada a um nível de iluminância mensurada pela caracterização do sistema. Quando esse nível estiver entre 170 e 300 lux, o sistema começa a atuar no LED, por meio do ajuste do *duty cycle* do PWM, de acordo com a leitura de tensão no LDR. Após alcançar 100%, o *duty cycle* permanecerá nesse valor até às 23h.

O PWM da NodeMCU utiliza 10 bits, ou seja, permite 1024 valores distintos para o *duty cycle* do PWM, por meio de números inteiros. Começando do valor 0 que equivale a 0% de *duty cycle* - o que significa dizer que todo o período estaria em estado baixo, ou seja, o sinal ficaria constantemente em 0V - e chegando a 1023, onde representa 100% de *duty cycle* - ou ainda, todo o período em estado alto: o sinal permanecerá constantemente em 3,3V. Por meio da plataforma do Arduino, que também permite a programação para alguns outros modelos de



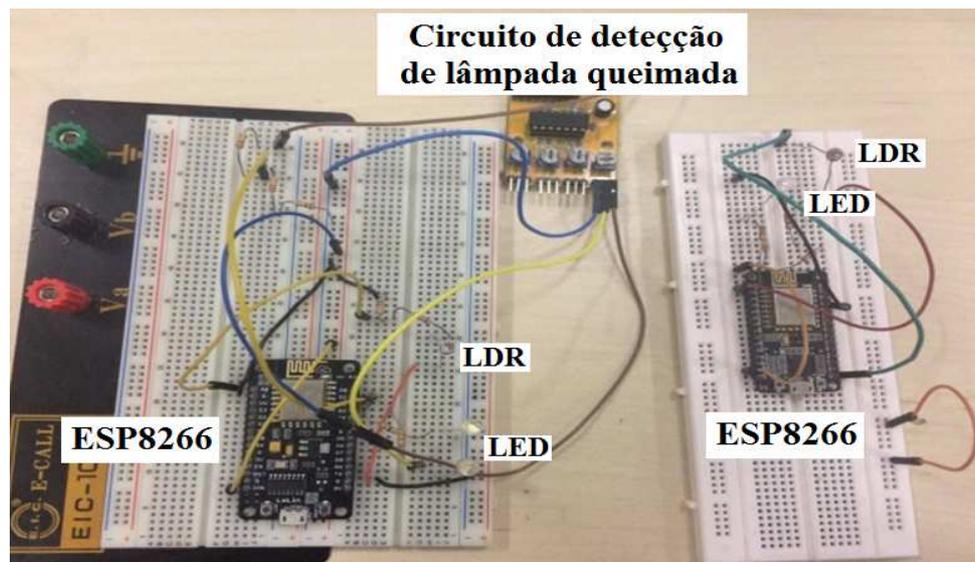
microcontroladores - também conhecida como Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), é possível utilizar o protocolo NTP (*Network Time Protocol*), bem como a regulação do PWM. Vale salientar que para o uso de algumas funções específicas, como algumas que envolvem o NTP, é necessária a adição de bibliotecas extras à plataforma.

Tendo como base valores mínimos de iluminância necessários para atividades fundamentais, bem como de economia de energia, que não pudessem inviabilizar o projeto, foram determinados dois valores fixos de *duty cycle* a serem aplicados à lâmpada LED, que foram de 40% e de 60%. Desse modo, no modo de economia de energia, a leitura do valor de tensão do LDR resultará em valores que oscilam entre esses dois limites estabelecidos.

Considerando tal orientação, no pior caso de iluminância, os LEDs possuem 60% de sua carga total, enquanto que na melhor hipótese, apenas 40%. Essa variação entre os dois valores limites de *duty cycle* se dará, quase que majoritariamente, por condições climáticas e/ou ambientais no local de leitura de tensão do LDR como chuva, neblina, fumaça, entre outras possibilidades.

O protótipo montado para o teste do conceito do sistema de telegerenciamento da iluminação a LED, com dois sistemas montados é ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Conceito do sistema de telegerenciamento da iluminação a LED.



A Interface Homem-Máquina (IHM) foi desenvolvida a partir do programa XAMPP que permite a criação de servidores públicos, possuindo diversos aplicativos, entre eles, o Apache, MySQL, phpMyAdmin, FileZilla FTP Server, OpenSSL. Com esse servidor é possível acionar ou desligar, de forma remota, o sistema de iluminação, para uma necessidade de manutenção, por exemplo. Essa comunicação foi realizada por meio de arquivos *.json*, onde a ESP8266 verifica em um determinado intervalo de tempo, um arquivo de texto nessa extensão, indicando se os LEDs devem ser acionados ou desligados. O arquivo *.json* é sempre atualizado ao se clicar no servidor e enviar uma ordem a ESP8266.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a aquisição das medições, a luz do ambiente em que o protótipo do sistema de telegerenciamento estava montado foi desligada, de forma que a única luz do ambiente fosse a do sistema com LEDs. O *proto-board* com os LEDs foi fixado a uma distância constante do luxímetro, de modo que a iluminância medida estivesse próximo a 450 lux, quando o LED é



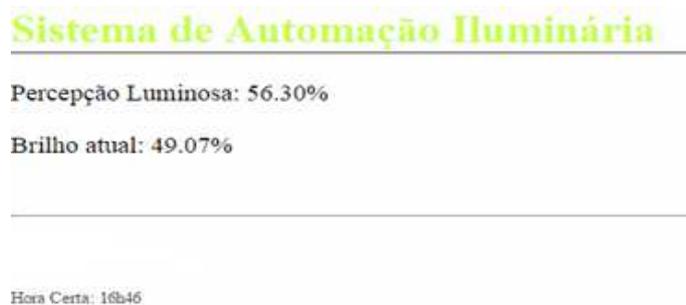
alimentado com 100% do *duty cycle*.

A iluminância média do ambiente com os LEDs acesos foi de 160 lux, o que dessa forma, foi criada uma equivalência entre o valor lido no LDR e o valor que deve ser sentido no campo de trabalho, de forma semelhante ao que pode ser utilizado na implementação prática do projeto no sistema de iluminação pública. Nesse caso, uma proposta pode ser a localização do LDR próximo à luminária de LED, e o valor lido pelo sensor será proporcional ao percebido pelas pessoas no nível da rua, reforçando que isso deve ser calibrado em um sistema real.

O código do controlador implementado na ESP foi capaz de variar a tensão do LED de acordo com a iluminância do ambiente, com a situação que ao entardecer (ou em dias nublados), as luminárias não acendam totalmente, mas de forma gradual, para uma economia de energia elétrica. Foi observado que há uma relação de linearidade entre a tensão aplicada sobre o LED e a quantidade de lux fornecidos por ele. Dessa forma, com 60% da tensão aplicada, tem-se quase 40% de perdas em luminosidade. Embora essa perda seja considerável, o valor medido ainda estava dentro dos parâmetros aceitáveis para a iluminação de vias públicas, podendo conciliar a segurança dos indivíduos e a economia com energia elétrica.

Uma das IHMs criadas foi a página gerada pela ESP por meio do código criado pela IDE do Arduino, onde se observou a percepção luminosa captada pelo LDR e o brilho atual do LED, por meio do *duty cycle* do PWM que o alimenta, ambos exibidos em conjunto com a hora que esses parâmetros foram lidos. Uma das páginas da IHM desenvolvida é ilustrada na Figura 5.

Figura 5 – Uma das páginas da IHM desenvolvida pela ESP8266.



Para as alunas participantes desse projeto, o uso da metodologia ABP possibilitou um maior desenvolvimento intelectual e autodidatismo, além da melhor assimilação dos conteúdos e conceitos da disciplina de Instrumentação Eletrônica. Também contribuiu para que pudessem ter uma melhor relação interpessoal e o trabalho em equipe, vital no mercado de trabalho atual. Porém, o uso da metodologia requer um maior tempo e dedicação para o projeto, o que limita o projeto, além das diversas disciplinas que ocorrem simultaneamente, dificultando o gerenciamento do tempo e das tarefas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo Battistini (2011), as cidades brasileiras que começaram a utilizar o *Smart-Grid*, faziam-no gradativamente, implementando, primeiramente, em alguns bairros, e em seguida, expandindo para outras áreas da cidade. Dessa forma, é possível fazer a implementação utilizando redes LAN (*Local Area Network*), quando realizada apenas em bairros, e para aplicações maiores, como em uma cidade inteira, pode-se utilizar redes MAN (*Metropolitan Area Networks*).



O sistema de telegerenciamento desenvolvido comunica-se por meio do protocolo *Wi-Fi*, onde os módulos ESP8266 estão conectados na mesma rede do computador que os acessa, o que pode trazer limitações quanto ao alcance do sistema. O maior custo do projeto seria no investimento para a complexidade da rede e o suporte para seu bom funcionamento. Todavia, a utilização da tecnologia LED no sistema de iluminação pública pode resultar em um retorno de investimento favorável, já que são lâmpadas que transformam a energia consumida em iluminação ao invés de calor, com o mínimo de desperdício de energia, além de possuírem uma vida útil longa, não causarem danos ao meio ambiente e possuírem um IRC superior aos outros tipos de lâmpada, o que garante conforto e segurança aos usuários.

Para as etapas futuras desse projeto, pretende-se investigar o sistema de telegerenciamento desenvolvido utilizando luminárias LED, ao invés de apenas LEDs como nesse protótipo, além de investigar a área de comunicação sem fio dentro de uma determinada região, estudando a arquitetura de rede que poderia ser implementada para esse telegerenciamento, além da integração ao conceito de *smart cities*.

### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem ao IFPB pelo apoio na elaboração do projeto e no envio do artigo ao Cobenge 2017, e ao aluno Rodrigo Mendes pela contribuição ao projeto.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BATTISTINI, A. Telegerenciamento de iluminação pública já é uma realidade. Revista *Lumière*, n. 151, p. 48-50, 2011.

COSTA, G. J. Iluminação Econômica. Porto Alegre: EDIPUCRS. 2004.

MAGGI, T. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Centro de Tecnologia. Estudo e implementação de uma luminária de iluminação pública à base de LEDs, 2013. 234p, il. Dissertação (Mestrado).

MOREIRA, B. Cidades inteligentes: o futuro do smart grid no Brasil. Revista *O Setor Elétrico*, n. 105, p. 68-75, 2014.

NODEMCU TEAM. NodeMCU - An open-source firmware based on ESP8266 wifi-soc, 2014. Disponível em: <[http://nodemcu.com/index\\_en.html](http://nodemcu.com/index_en.html)>. Acesso em: mar 2017.

NOGUEIRA, F. J. *et al.* Avaliação de um sistema de telegerenciamento empregando luminárias LED de iluminação pública. Anais: XX Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2014). Belo Horizonte (Brasil), 2014.

RIBEIRO, L. R. C. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. A aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma implementação na educação em engenharia na voz dos atores, 2005, 205p, il. Tese (Doutorado).

RODRIGUES, C. R. B. S. UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Estudo e implementação de uma luminária de iluminação pública à base de LEDs, 2012. 216p, il. Tese (Doutorado).



## **PROTOTYPE FROM THE CONCEPT OF A PUBLIC LIGHTING MANAGEMENT SYSTEM BASED ON LED**

**Abstract:** *This paper presents a prototype to test the remote management’s concept of a public lighting system based on LEDs, in order to minimize costs and increase the system efficiency, using the concept of Smart City. The network is centralized and the central computer communicates with the peripheral modules through the Wi-Fi protocol. The system aims to save electricity by reducing the voltage supplied to the luminaries in the night periods of less movement and the gradual lamps’ activation during the late afternoon. Automatic fault detection will enable better agility to correct such errors. This study aims the implementation of public lighting based on LEDs and justifies this choice according to a bibliographic survey of the benefits and advantages of this technology, as well as the ease of control of its luminosity, in order to provide a great reduction in the consumed energy. Therefore, it is aimed to gradually replace the use of High Pressure Sodium Vapor lamps (HPSV), which are the most used nowadays, maintaining the photometric characteristics necessary to ensure comfort and safety to citizens.*

**Key-words:** *LED public illumination, telemanagement, public illumination system, ESP8266, smart city.*

Organização



Promoção

