

Sistema de Iluminação Automático

Amanda Soares de C. Moraes
Recife, Brasil
ascm@cin.ufpe.br

Maria Eduarda dos S. P. da Silva
Recife, Brasil
mesps@cin.ufpe.br

Tales Tomaz Alves
Recife, Brasil
tta@cin.ufpe.br

Resumo—Este projeto propõe a simulação de um sistema automatizado de iluminação de ambientes externos ou internos com circuito implementado no ambiente virtual Autodesk Tinkercad [1]. Com o uso de sensores de movimento e de luz ambiente, o sistema será capaz de ligar ou desligar a lâmpada de maneira eficiente e autônoma. O usuário poderá definir o modo de operação do sistema: o modo automático utiliza as informações dos sensores para controlar a iluminação, enquanto o modo manual atribui ao usuário a responsabilidade de controlá-la manualmente por meio de botões.

Index Terms—Sistema de iluminação, Simulação, Circuito, Eletrônica, Automação

I. INTRODUÇÃO

Em muitos centros urbanos o sistema de iluminação deixa a desejar tanto para a população, quanto para a gestão das cidades. Segundo estudo feito em 2011 [2], na grande maioria dos municípios brasileiros a iluminação pública corresponde ao segundo maior gasto municipal, além de contribuir significativamente para a qualidade de vida nas cidades, para a segurança dos seus moradores e para a utilização de seus espaços. A falta de iluminação nos bairros, em vias movimentadas e o desperdício de verba com o consumo de energia elétrica causado por gerenciamento pouco eficiente dos postes públicos são alguns dos problemas que poderiam ser resolvidos por um sistema mais inteligente de iluminação. Já nos ambientes internos - tanto os caseiros, quanto estabelecimentos comerciais - o aumento considerável das contas de energia poderia ser atenuado com um sistema de iluminação automatizado para evitar gastos desnecessários com a conta de luz no fim do mês.

Este projeto propõe um sistema de iluminação alternativo simulado que tem por objetivo disponibilizar para o usuário um modo de operação automática que controla as luzes dos ambientes com base na identificação de movimentos ou nível de luminosidade externa. Além de possuir alguns parâmetros customizáveis e promover adaptabilidade a ambientes com diferentes níveis de circulação de pessoas, o sistema também proporciona uma otimização do consumo de energia elétrica.

II. DESENVOLVIMENTO

O sistema de iluminação teve sua simulação implementada contemplando dois modos de operação. O modo manual foi implementado para representar uma iluminação convencional de ambientes, que depende do usuário para acionar um interruptor ou um comando para acender ou apagar a luz. O modo automático é a opção que não depende de ações de usuários, apenas da avaliação de algumas condições: a detecção de

movimentos e o nível de luminosidade do ambiente. Os estados e mudanças de estados que o sistema pode sofrer estão resumidos no diagrama da Figura 1.

O sistema possui alguns parâmetros customizáveis que podem ser adaptados para diferentes aplicações. Um deles é o intervalo de tempo máximo decorrido desde o último movimento detectado para que a iluminação comece a reduzir seu brilho gradualmente, na Figura 1 esse parâmetro é representado por T1. Há também um segundo intervalo de tempo, na Figura 1 chamado T2, que determina em quanto tempo a luz deve estar completamente apagada, ou seja, qual deve ser a duração total da redução da sua luminosidade. A depender do ambiente, da frequência de circulação de pessoas, da intenção de economia do usuário, podem ser definidos intervalos mais longos ou mais curtos de tempo para esses parâmetros.

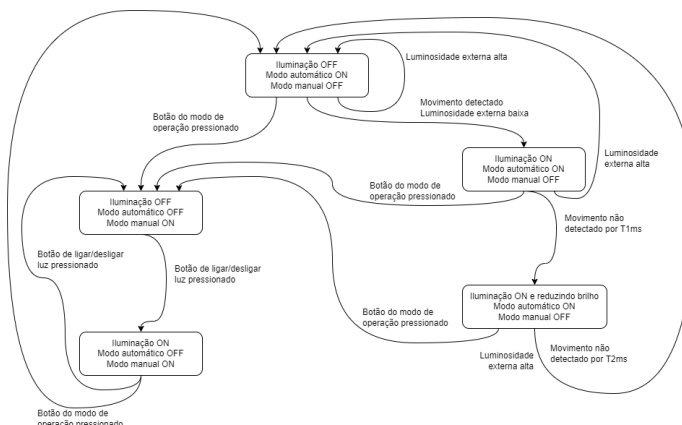


Figura 1. Máquina de estados do sistema de iluminação simulado. Fonte: autores.

A simulação do sistema de iluminação desenvolvida é composta pelos blocos representados no diagrama da Figura 2. Cada um deles foi projetado e implementado para exercer uma função dentro do circuito elétrico completo e mais detalhes sobre seus fluxos de sinais e seus componentes serão descritos nas seções a seguir.

A. Arduino Uno

Foi utilizado o Arduino Uno para processamento de sinais de entrada, para escrita de sinais de saída em diversos componentes do circuito e para alimentação de outros componentes do circuito. Para o projeto, foram utilizadas duas entradas analógicas, A0 e A1, para detecção de botões de controle apertados e para leitura da resistividade do fototransistor,

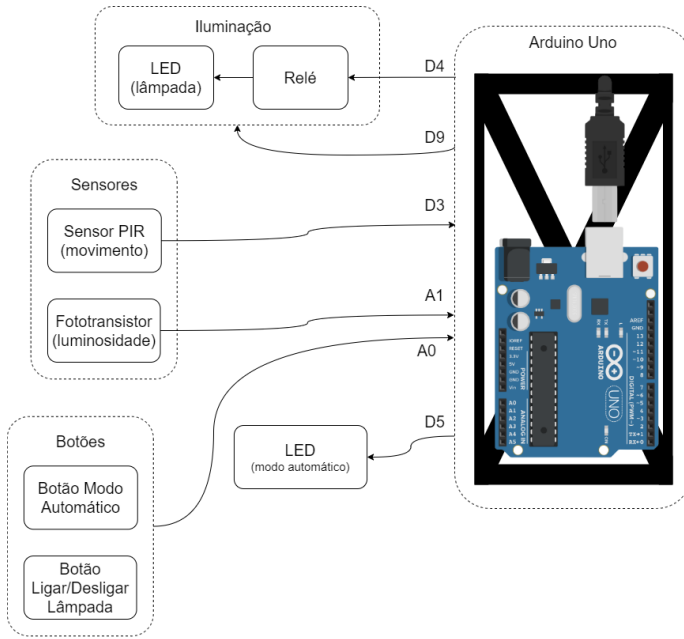


Figura 2. Diagrama de blocos do sistema de iluminação simulado. Fonte: autores.

respectivamente. Além disso, empregou-se uma entrada digital D3 para leitura da saída do sensor PIR. Por fim, duas saídas digitais, a D9 - que controla a intensidade do brilho da lâmpada LED - e a D4 - que controla o estado do relé conectado ao LED.

O bloco em questão gerencia o funcionamento do sistema da seguinte forma: No modo automático (padrão), o microcontrolador acende a lâmpada somente quando o sensor PIR detecta presença e o nível de luz ambiente está baixo. A lâmpada permanece ligada e em máxima intensidade até que a tolerância de tempo sem movimento seja atingida, nesse momento, o microcontrolador diminui gradualmente a luminosidade do LED até desligar (caso nenhum movimento posterior aconteça). Finalmente, através da leitura dos botões é possível desligar/ligar o modo automático e a lâmpada de maneira manual.

B. Botões

O bloco dos botões foi projetado como o bloco de interruptores do sistema. Ele é um circuito elétrico composto por unidades de apenas dois componentes, botões e resistores, e seu circuito simulado está na Figura 3. Um dos botões, quando pressionado, é o responsável por alterar o modo de operação do sistema: do modo automático para o manual e vice-versa. O segundo botão somente surtirá efeito no sistema caso o modo manual esteja ativado, pois ele é o interruptor correspondente da iluminação do ambiente (determina se deve estar ligada ou desligada via ação do usuário).

Cada resistor da Figura 3, por sua vez, teve sua resistência projetada para compor divisores de tensão que levam à única saída analógica do bloco uma faixa de tensão específica para cada um dos botões. Cada uma dessas tensões será identificada

pelo Arduino como um valor digital resultante da conversão analógica-digital da faixa analógica de tensão de 0V a 5V para a faixa digital de 0 a 1023 [3] (com resolução de 4,9mV). Dessa forma, ao fazer a leitura do pino correspondente à saída do bloco botões, será possível comparar o valor detectado com o esperado para cada botão e finalmente identificar qual deles foi pressionado.

Algumas das vantagens de se usar resistores como divisores de tensão para representar diferentes *switches* são a redução da poluição visual do sistema com muitos fios e a facilidade de escalabilidade do bloco para utilizar mais botões, visto que, mesmo com alguns *switches*, apenas um pino do Arduino precisa ser dedicado a ele.

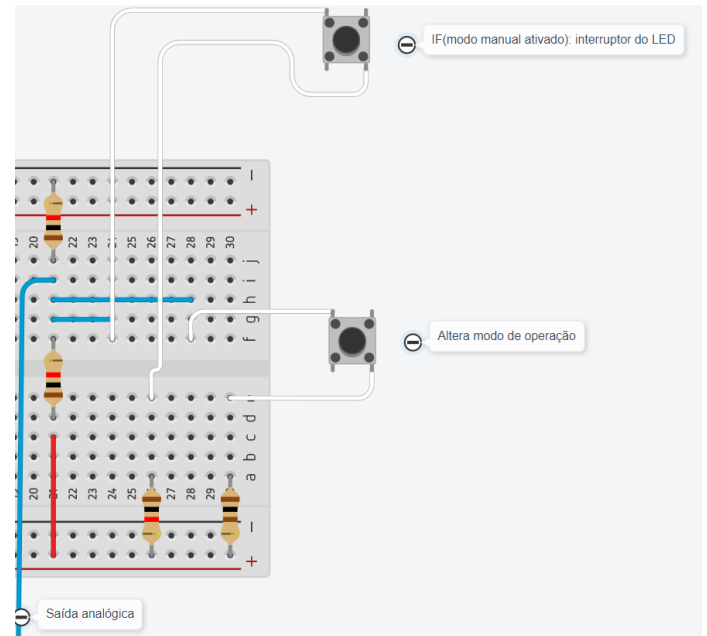


Figura 3. Simulação do bloco Botões. Produzido com: [1]

Para a montagem do bloco, foram adicionados dois resistores de 1kΩ em série, com um terminal conectado à alimentação de 5V (do Arduino) e o outro conectado ao terra. Para limitar a resistência equivalente obtida quando um dos botões é pressionado, eles foram posicionados num ramo em paralelo ao resistor de 1kΩ aterrado, como ilustrado na Figura 4. Cada botão (B_1 e B_2) possui também um resistor em série (R_{B_1} e R_{B_2}) e seus valores foram projetados para atribuir a cada um deles tensões distintas entre si no terminal da Saída analógica, para que o microcontrolador do Arduino consiga identificar qual deles foi de fato pressionado.

Considerando um botão arbitrário B_x , a tensão da saída analógica seria dada da seguinte forma quando ele fosse pressionado:

$$R_{eq_{B_x}} = \frac{1000 \times R_{B_x}}{1000 + R_{B_x}}$$

$$V_{saída\ analógica_{B_x}} = \left(\frac{1000}{1000 + R_{eq_{B_x}}} \right) \times V_s$$

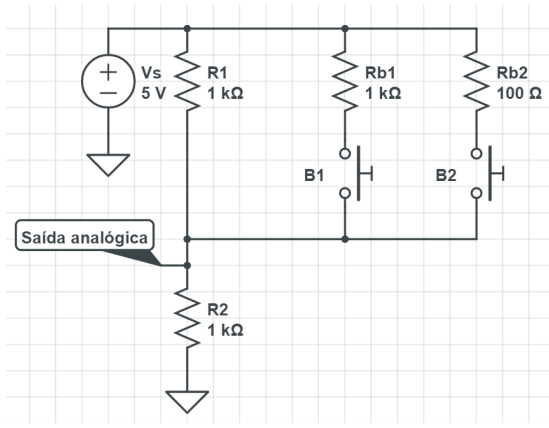


Figura 4. Circuito do bloco Botões. Produzido com: [4].

Como o valor máximo possível para R_{eqB_x} é de 1000Ω devido a R_1 , então $V_{saída\ analógica_{B_x}}$ será no mínimo $0,5 \times V_s$. Como há 2 botões no bloco, as resistências R_{B_x} foram escolhidas para manter $V_{saída\ analógica_{B_1}}$ e $V_{saída\ analógica_{B_2}}$ razoavelmente distantes em termos de valores:

Para o botão 1 (interruptor da iluminação no modo manual), a resistência escolhida e o valor de $V_{saída\ analógica_{B_1}}$ são:

$$R_{B_1} = 1000\Omega$$

$$R_{eqB_1} = \frac{1000 \times R_{B_1}}{1000 + R_{B_1}} = 500\Omega$$

$$V_{saída\ analógica_{B_1}} = \left(\frac{1000}{1000 + 500}\right) \times V_s \approx 0,67 \times V_s = 3,33V$$

Aplicando a conversão AD realizada pelo Arduino na leitura do pino analógico, o nível digital que indicará que o botão 1 foi pressionado será:

$$\frac{V_{saída\ analógica_{B_1}}}{\text{Resolução do CAD}} = \frac{3,33V}{0,0049V} \approx 680$$

Para o botão 2 (que altera o modo de operação do sistema), a resistência escolhida e o valor de $V_{saída\ analógica_{B_2}}$ são:

$$R_{B_2} = 100\Omega$$

$$R_{eqB_2} = \frac{1000 \times R_{B_2}}{1000 + R_{B_2}} = 90,9\Omega$$

$$V_{saída\ analógica_{B_2}} = \left(\frac{1000}{1000 + 90,9}\right) \times V_s \approx 0,916 \times V_s = 4,58V$$

Aplicando a conversão AD realizada pelo Arduino na leitura do pino analógico, o nível digital que indicará que o botão 2 foi pressionado será:

$$\frac{V_{saída\ analógica_{B_2}}}{\text{Resolução do CAD}} = \frac{4,58V}{0,0049V} \approx 936$$

C. LED

O bloco denominado LED (modo automático), com simulação representada na Figura 5, é na verdade um indicador visual do modo de operação corrente do sistema de iluminação. Quando está ligado, o LED vermelho representa o modo automático, caso contrário, representa o funcionamento no modo manual, que demanda do usuário o acionamento do botão que liga ou desliga a iluminação.

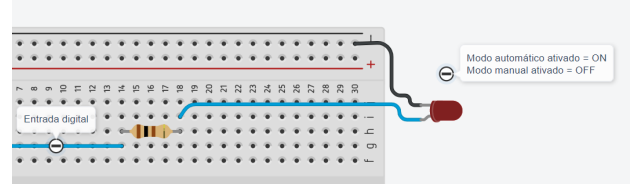


Figura 5. Simulação do bloco LED. Produzido com: [1]

Por se tratar de um diodo emissor de luz, o LED possui uma relação não linear entre corrente e tensão: quando a tensão de joelho V_F do dispositivo é ultrapassada, a corrente passa a aumentar rapidamente com o aumento da tensão aplicada. Devido à essa característica, um resistor R_S de limitação de corrente foi conectado em série com o LED para evitar que a corrente exceda o valor máximo nominal do diodo.

O gráfico da Figura 6 pode ser usado como referência para definir uma faixa aproximada de atuação do LED vermelho acima da sua tensão de joelho V_F (por volta de $1V$) e com uma corrente máxima I_F de aproximadamente $40mA$. Com esses parâmetros identificados, é possível determinar R_S como:

$$R_S = \frac{V_S - V_F}{I_F}$$

com V_S representando a alimentação de $5V$ da entrada digital do arduíno no bloco em questão. Enfim, tem-se:

$$R_S = \frac{5 - 1}{0,04} = 100\Omega$$

O circuito equivalente ao bloco LED pode ser visualizado na Figura 7.

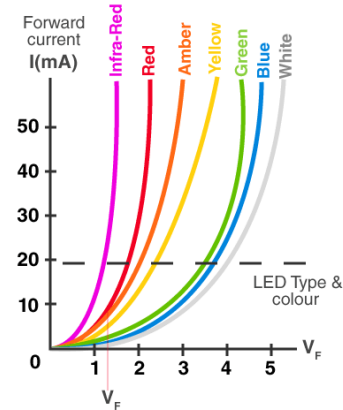


Figura 6. Curvas $V \times I$ dos LEDs. Fonte: [6]

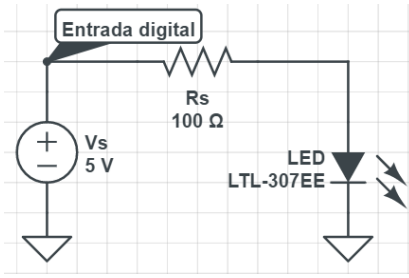


Figura 7. Circuito do bloco LED. Produzido com: [4].

D. Sensores

O bloco de sensores (simulação na Figura 8) captura informações essenciais para o controle da iluminação a partir de 2 dispositivos, são eles:

1) *Sensor de Movimento PIR*: O sensor *Passive Infra Red* é empregado no circuito com a função de detecção de presença de pessoas no ambiente monitorado. Sensores PIR são capazes de detectar movimentos de objetos que irradiam luz infravermelha (como humanos), portanto, são perfeitos para a tarefa. O sensor possui 3 pinos, 2 de alimentação e 1 de *output*, este pode ser diretamente conectado a um pino digital na placa Arduino e se qualquer movimento for detectado, o valor lógico digital na saída do sensor e no pino é '1' e '0' caso contrário [5].

2) *Sensor de luz ambiente*: Empregou-se um fototransistor para detecção de nível de luz ambiente no projeto. O fototransistor apresenta uma sensibilidade muito alta à luz, pois os elétrons gerados pelos fótons na junção base-coletora são aplicados na base do transistor, e sua corrente é então amplificada durante a operação, quanto maior o nível de luz, menor é a resistência oferecida pelo componente. Dessa forma, é possível conectar um terminal do fototransistor à uma entrada analógica do controlador Arduino de forma a obter o nível de luminosidade no ambiente a partir da resistência oferecida pelo fototransistor.

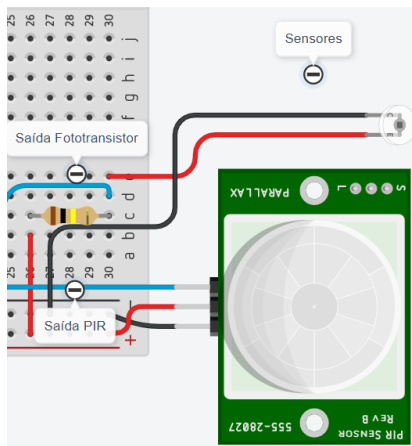


Figura 8. Simulação do bloco Sensores. Produzido com: [1]

E. Iluminação

O bloco denominado Iluminação, com simulação representada na Figura 9, é composto por 3 componentes: um Relé, um LED branco e um resistor. Seu nome já ressalta sua função dentro do sistema: a iluminação dos ambientes. O bloco é controlado pela heurística desenvolvida em código no na placa Arduino e seus dispositivos estão descritos a seguir.

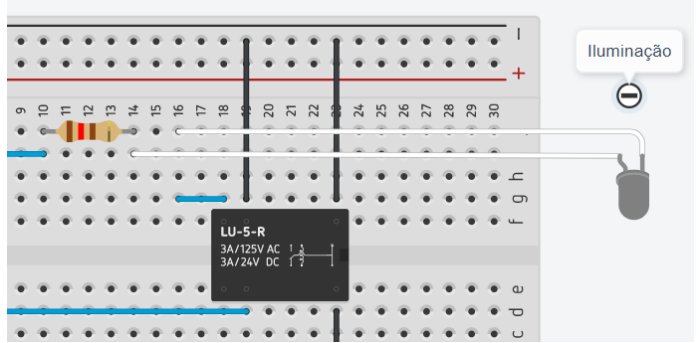


Figura 9. Simulação do bloco Iluminação. Produzido com: [1]

1) *Relé*: O relé foi escolhido para desempenhar o papel de permitir ou bloquear a passagem do fluxo de eletricidade para o LED. Ele é acionado por um sinal digital de entrada que pode assumir os níveis lógico alto ou baixo para indicar o estado do LED: se deve estar aceso ou apagado.

2) *LED e Resistor*: Uma das principais propostas do sistema de iluminação simulado é o seu modo automático de operação. Com ele, o LED acende ao ser detectada a presença de pessoas ou movimento no ambiente. Em seguida, após um intervalo customizável de tempo sem detecção de presenças mais recentes, o brilho do LED começa a decair durante um segundo intervalo de tempo customizável até que esteja completamente apagado. Devido a esse comportamento, o ânodo do dispositivo é alimentado com uma entrada variável de tensão, responsável por provocar a redução da sua luminosidade na circunstância mencionada.

Assim como o LED vermelho utilizado em outro bloco, por se tratar de um diodo emissor de luz, o LED branco também possui uma relação não linear entre corrente e tensão. Consequentemente, um resistor R_S de limitação de corrente também foi conectado em série com o LED branco do bloco Iluminação de modo a não permitir a passagem de correntes muito altas e o consequente comprometimento do componente.

O gráfico da Figura 6 foi usado como referência para definir uma faixa aproximada de atuação do LED branco acima da sua tensão de joelho V_F (por volta de 2,7V) e com uma corrente máxima I_F de aproximadamente 20mA. Com esses parâmetros identificados, é possível determinar R_S como:

$$R_S = \frac{V_S - V_F}{I_F}$$

com V_S sendo a tensão de 5V da entrada digital do Arduino no bloco em questão. Enfim:

$$R_S = \frac{5 - 2,7}{0,02} = 115\Omega$$

O circuito equivalente ao bloco Iluminação pode ser visualizado na Figura 10.

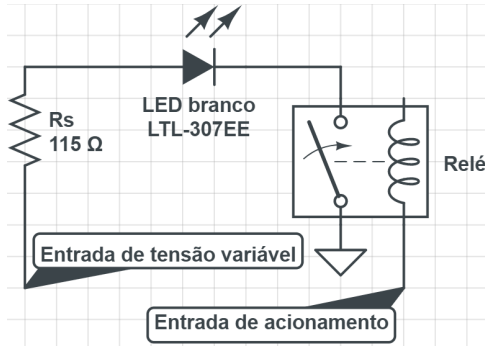


Figura 10. Circuito do bloco Iluminação. Produzido com: [4].

III. RESULTADOS

A simulação do sistema de iluminação automático descrita implementou a máquina de estados da Figura 1. Diferentemente do modo manual, análogo à iluminação instalada convencionalmente em moradias e estabelecimentos, o modo automático contempla um subconjunto de estados e condições que reduz significativamente o tempo que a iluminação permanece ligada desnecessariamente, como na ausência de pessoas ou numa condição de boa iluminação extrínseca.

Com o intuito de analisar o sistema em funcionamento e de simular a comparação de uma aproximação do consumo de energia da iluminação no modo automático e no modo manual, montou-se o seguinte cenário de uso:

A. Cenário

Uma pessoa entra num cômodo e acende a luz (manualmente, se o sistema estiver operando manualmente, ou automaticamente, se estiver no modo automático) no instante $t=0$, apanha um objeto e sai do ambiente imediatamente, esquecendo a luz acesa por 300 segundos. Qual seria o consumo de energia da iluminação no modo manual comum e no modo automático do sistema?

No primeiro caso, assumindo a operação manual, tem-se:

$$E_{total_1} = P \cdot \Delta t = V \times I \times \Delta t = 4,11V \times 17,8mA \times 300s = 21,95J \quad (1)$$

Já no segundo caso, assumindo que no modo automático a luz permaneceria acesa com intensidade máxima por um intervalo $T1 = 10s$ e demoraria mais $T2 = 10s$ para ir à 0, tem-se para os 10 segundos iniciais:

$$E_2 = P \cdot \Delta t = V \times I \times \Delta t = 4,11V \times 17,8mA \times 10s = 0,73J \quad (2)$$

E para cada passo na diminuição gradual da luminosidade, obtém-se o valor de energia conforme a tabela I.

Tabela I
ENERGIA GASTA EM CADA PASSO

Passo	V	I	Δt	E
1	3,27V	14,3mA	2s	93,5mJ
2	2,48V	10,6mA	2s	52,5mJ
3	1,62V	7,02mA	2s	22,7mJ
4	800mV	3,5mA	2s	5,6mJ
5	49mV	0mA	282s	0J

Toma-se o somatório entre os valores na tabela I e o obtido na equação 2 para obter o consumo total:

$$E_{total_2} = 730 + 93,5 + 52,5 + 22,7 + 5,6 + 0 = 904,3mJ \quad (3)$$

Assim, percebe-se uma economia de 95% ao utilizar o modo automático de iluminação em relação ao modo de operação manual neste caso específico, o que indica que o sistema cumpre seu propósito de controlar a iluminação de uma maneira automática, inteligente e eficiente.

IV. CONCLUSÃO

É possível concluir, portanto, que o sistema de iluminação automática simulado é uma alternativa eficaz, eficiente e customizável ao problema de iluminação e desperdício no consumo de energia elétrica. O sistema pode ser escalado e melhorado para implementações no âmbito privado - como iluminação de banheiros, corredores, elevadores, cômodos de uma casa, entre outros - e por se tratar de um circuito simples, flexível e econômico, também é possível escalá-lo para o cenário público, no qual pode ser empregado em postes, vias urbanas ou orlas para otimizar as despesas com a iluminação pública.

REFERÊNCIAS

- [1] Autodesk Tinkercad. <https://www.tinkercad.com/dashboard> (acessado em 10 de maio de 2022).
- [2] L. F. L. Pacheco, "Questões relevantes sobre a iluminação pública no Brasil" IBAM, vol. 57, no. 287, pp. 49-53, Outubro/Novembro/Dezembro, 2011 (acessado em 10 de maio de 2022). Disponível em: <http://lam.ibam.org.br/predownload.asp?area=4&arq=iluminacao13.pdf>.
- [3] Arduino, "AnalogRead"arduino.cc. <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analogread/> (acessado em 10 de maio de 2022).
- [4] CircuitLab, circuitlab.com. <https://www.circuitlab.com/> (acessado em 10 de maio de 2022).
- [5] Arduino, "Arduino PIR Sensor"arduino.cc. <https://create.arduino.cc/projecthub/electropeak/pir-motion-sensor-how-to-use-pirs-w-arduino-raspberry-pi-18d7fa> (acessado em 10 de maio de 2022).
- [6] Byjus, "V-I Characteristics"byjus.com. <https://byjus.com/physics/v-i-characteristics/> (acessado em 10 de maio de 2022).