

ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE CONTROLE PARA INTEGRAÇÃO EFICIENTE DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL

Leonardo T. Francis* César Cataldo Scharlau**

* *Campus Araranguá, Universidade Federal de Santa Catarina, SC,
e-mail: leonardotfrancis@gmail.com*

** *Universidade Federal de Santa Catarina, SC
e-mail: cesar.scharlau@ufsc.br*

Abstract: A significant amount of energy on artificial lighting is spent in buildings motivating the search for alternatives that contribute to the rational use of this energy. Intending to integrate artificial and natural lighting, in different geographical windows orientations, this article presents the development of a control system and experimental analysis that aims to reduce the consumption of electricity. For this purpose, a set of sensors was inserted in a prototype in scale with dimensions of a classroom. These sensors are responsible for providing information to a control system that adequately adjusts the level of artificial lighting. Using Proportional Integral (PI) controllers, three scenarios have been evaluated, considering windows facing north and south. The north-oriented windows, with a single controller for the entire room, was the scenario that provided the best reduction of power consumption. In this case, a 43,02% decrease was obtained, compared to a strategy without control and with a fixed adjustment. There was a better presence of natural lighting in the results in the north, compared to the south, which allowed lower consumption of electricity.

Resumo: Os gastos com iluminação artificial nas edificações representam valores expressivos no consumo de energia elétrica, motivando a busca por alternativas que contribuam para o uso racional dessa energia. Assim, esse artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de controle e análise experimental com o objetivo de integrar a iluminação natural e artificial, sob diferentes orientações geográficas, buscando reduzir o consumo de energia elétrica. Para essa finalidade, um conjunto de sensores, responsáveis pela aquisição de valores de iluminância do ambiente, foi inserido em um protótipo em escala com dimensões de uma sala de aula, fornecendo informações para um sistema de controle que ajusta de forma adequada o nível de iluminação artificial. Foram avaliados três cenários com as aberturas orientadas para o norte e sul, todos utilizando controladores do tipo Proporcional Integral (PI). O cenário que proporcionou maior redução de consumo de energia elétrica utilizou um controlador para todo o ambiente orientado para o norte. Nesse caso, foi obtida uma redução de 43,02% em comparação com uma estratégia sem controle e com ajuste fixo. Houve maior presença de iluminação natural nos resultados ao norte em comparação com o sul, o que permitiu menores consumos de energia elétrica.

Keywords: Lighting; Efficient Lighting; Control System; Light Control System; Electrical Energy Saving; Artificial and Natural Lighting.

Palavras-chaves: Iluminação; Iluminação Eficiente; Sistema de Controle; Sistema de Controle de Iluminação; Economia de Energia Elétrica; Iluminação Artificial e Natural.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a demanda de energia elétrica vem crescendo, causando um aumento na expectativa de geração de energia elétrica para os próximos 20 anos, passando de 24 a 40 TWh (IEA, 2018a). Mundialmente, o consumo de energia elétrica pode chegar a 19% em comparação com as demais fontes de energia como o gás, óleo e carvão (IEA, 2018c). Adicionalmente, a estimativa global de consumo de energia elétrica por edifícios residenciais e comerciais está entre 30% a 45% (Cao et al., 2016; Gul and Patidar,

2015; Pérez-Lombard et al., 2008). Por esse motivo, há uma busca constante de técnicas que auxiliem na eficiência energética, para que haja uma redução de consumo sem afetar a qualidade dos produtos ou serviços prestados.

Atualmente, os gastos com iluminação artificial em nível mundial chegam a 7% (IEA, 2018b). No Brasil, esses valores chegam a 14% para o setor residencial, 22% para o setor comercial e 23% para os edifícios públicos (Lamberts et al., 2014). Sob esse aspecto, diversas estratégias eficientes são implementadas buscando a redução do consumo de energia elétrica, como a utilização de sistemas de controle, técnicas

de agendamento, temporizadores e até mesmo soluções mais básicas como sensores de ocupação. Por exemplo, no estudo conduzido por Petry et al. (2009), a utilização de sensores de presença no sistema de iluminação dentro de duas salas de aula trouxe uma economia de energia elétrica de 28%. Outro estudo, que aborda a implementação de um sistema de controle aliado com a substituição das lâmpadas por outras mais eficientes em um estacionamento, alcançou uma economia de energia elétrica em 77,5% (Yang et al., 2016). Estes exemplos ilustram as possibilidades e os ganhos que podem existir no emprego de estratégias de controle da iluminação.

As características do ambiente também tem uma importância significativa ao se analisar a eficiência luminosa. Como menciona Bilésimo et al. (2018), essas características incluem a orientação geográfica da edificação, espessura das paredes, escolha de materiais e cores, aproveitamento da ventilação e iluminação natural, entre outros. Para Torres et al. (2015), as cores escuras internas do ambiente, como piso e paredes, também influenciam na eficiência da iluminação do ambiente.

Esse artigo apresenta o desenvolvimento e análise experimental de um sistema de controle que realiza a integração energeticamente eficiente da iluminação artificial e natural. O sistema será implementado em um ambiente em escala de uma sala de aula com aberturas para entrada de luz e dotado de sensores de iluminação. Serão analisadas técnicas de controle e o impacto da orientação geográfica das aberturas na eficiência energética, ampliando e estendendo os resultados inicialmente obtidos em Francis (2019).

O artigo encontra-se estruturado da seguinte forma: Na Seção 2 apresenta as características e diretrizes a respeito do sistema de controle de iluminação artificial. A metodologia do trabalho é apresentada na Seção 3, enquanto que a Seção 4 traz os resultados obtidos. Na Seção 5 são apresentadas as conclusões sobre o presente estudo.

2. SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A solução adotada neste estudo envolve um projeto de *hardware* e *software* que foram aplicados em um ambiente em escala. As dimensões de uma sala do *Campus* Araranguá da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), unidade Jardim das Avenidas, visto na Figura 1, foram utilizadas como base para a criação de um ambiente reduzido em 20 vezes, apresentado na Figura 2. Para Pereira et al. (2017), a utilização de modelos em escala são uma boa alternativa, sendo considerados instrumentos adequados para avaliação dos fenômenos de iluminação natural e artificial presentes no ambiente real.

Conforme mencionado, na Figura 1 tem-se a planta baixa do ambiente real. Nela, é possível ver os retângulos cinzas representando as mesas, que são considerados como o plano de trabalho nessa aplicação. Além disso, as janelas, que podem ser vistas no ambiente em escala na Figura 2, estão localizadas ao lado dos quadrantes azul (0) e verde (1).

Realizando um mapeamento a partir da planta baixa do ambiente, foram definidas 4 áreas devido o tamanho do mesmo. Para ambientes maiores, poderia ser necessário

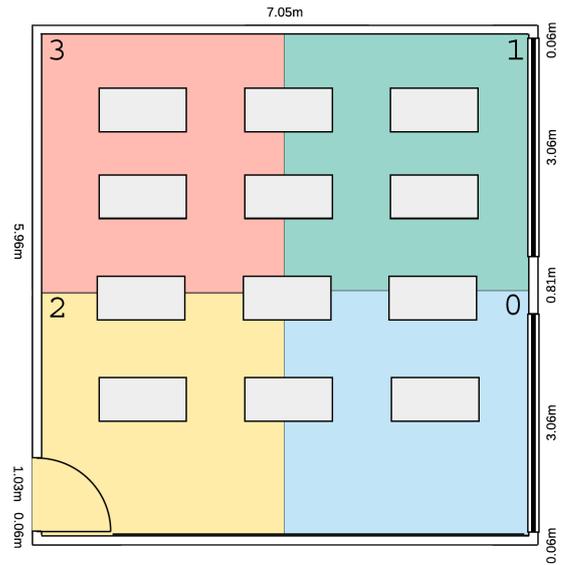


Figura 1. Planta Baixa do Ambiente Real. Fonte: Adaptado de Francis (2019)

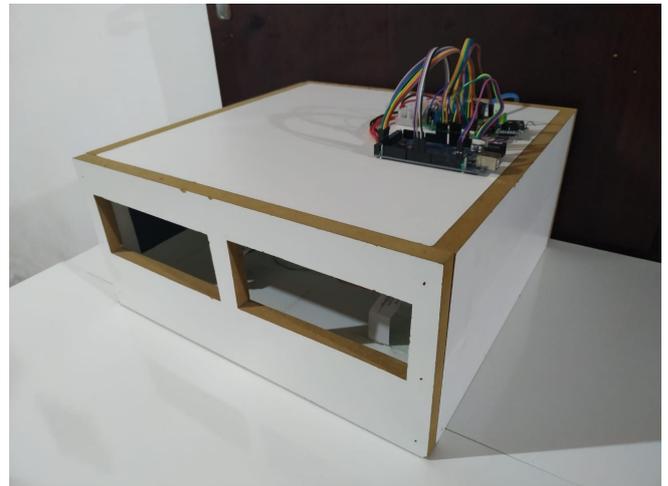


Figura 2. Ambiente em Escala. Fonte: Autores.

aumentar o número de áreas. As áreas estão indicadas na Figura 1, identificadas por números de 0 a 3, e serão utilizadas para realização de diferentes cenários de testes. Nessas áreas, foram incluídos sensores de luminosidade do tipo resistor dependente de luz (LDR - *Light Dependent Resistor*), identificados na Figura 3 pelas setas azuis, que fazem a aquisição da iluminância nos pontos centrais de cada área. O mapeamento das áreas em sensores auxilia na captação de variação de iluminância dentro do ambiente recebido através das aberturas das janelas e da iluminação artificial.

Visando a adequação do modelo ao ambiente real, foram incluídas no teto do ambiente em escala fitas com diodos emissores de luz (LEDs - *Light-Emitting Diodes*) que serão acionadas pelo sistema de controle. É possível identificar as fitas de LED no teto do ambiente a partir das setas verdes na Figura 3.

De acordo com a NBR ISO/CIE 8995 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013), a superfície no ambiente

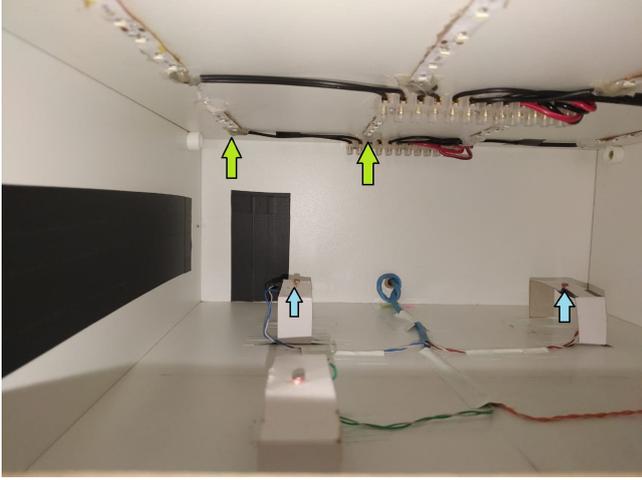


Figura 3. Ambiente em Escala - Interno. Fonte: Autores.

onde se realiza as atividades, definido como o plano de trabalho, deve estar a 0,75m do piso. Para o ambiente em escala, foi definido que o plano estaria aproximadamente 3,75cm da superfície do piso. Nessa altura, foram posicionados os sensores, como se pode ver na Figura 3.

O funcionamento geral se dá da seguinte forma: os sensores captam os valores de iluminância e convertem para sinais elétricos, que são enviados para os canais analógicos de uma placa Arduino Mega. Esses dados de entrada são filtrados para redução de ruídos de alta frequência.

No presente estudo, é utilizado o filtro digital exponencial, definido por

$$z(k) = \alpha * s(k) + (1 - \alpha) * s(k - 1) \quad (1)$$

$$k = 1, \dots, N,$$

sendo α o coeficiente de suavização, que pode assumir valores no intervalo $0 < \alpha < 1$. Este coeficiente é responsável pela acurácia do filtro. Assim, quanto menor o valor de α , mais amortecido será o valor aplicado no filtro. O índice k representa o número de amostras de medição. Logo, $s(k)$ é a medição atual e o $z(k)$ representa o valor exponencialmente suavizado. Mais informações sobre esse filtro podem ser vistas em Hyndman and Athanasopoulos (2018).

Depois da filtragem, os valores elétricos provenientes da captação dos sensores são convertidos para lux (lx) através de uma função matemática, definida e calibrada para cada sensor. O processo de obtenção da função matemática é feito para cada sensor, com base nos valores lidos pelo sistema de aquisição com as medições realizadas com um luxímetro. Mais detalhes sobre esse processo podem ser vistos em Francis (2019). Os valores lidos pelo conversor Analógico-Digital (AD) variam de 0 a 1023 devido a resolução de 10 bits do conversor. Logo, é utilizada a equação 2 para calcular o valor da leitura do AD, sendo V_{in} valores de 0V a 5V lidos do sensor e $V_{ref} = 5V$. Dentro dessa faixa, 1023 representa um ambiente totalmente escuro e 0 representa um ambiente com alta luminosidade. A taxa de amostragem durante o processo de conversão de Analógico para Digital foi de 9600Hz.

$$AD = (V_{in} * 1023) / V_{ref} \quad (2)$$

A estratégia de controle utilizada será o controlador Proporcional-Integral (PI), que é definido na equação (3), cujos parâmetros correspondem ao ganhos Proporcional (K_p) e Integral (K_i).

$$u(t) = K_p.e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (3)$$

Este controlador PI será responsável pela variação da intensidade da iluminância fornecida pelo LED ao ambiente em escala, buscando manter um valor de referência. De acordo com a padronização de intensidade luminosa para ambientes definido pela NBR ISO/CIE 8995, para uma sala de aula é recomendado ter 500 lx. Assim, este valor foi definido como base de referência para o controlador. A Tabela 1 apresenta as grandezas elétricas medidas nas fitas de LED, separadas por áreas. A potência total instalada no sistema é de 1,2348W (Francis, 2019).

Tabela 1. Tensão, Corrente e Potência das fitas de LED presentes nas áreas 0, 1, 2 e 3. Fonte: Francis (2019)

| Área | Tensão (V) | Corrente (mA) | Potência (W) |
|------|------------|---------------|--------------|
| 0 | 12 | 24,4 | 0,2916 |
| 1 | 12 | 26,2 | 0,3144 |
| 2 | 12 | 25,1 | 0,3012 |
| 3 | 12 | 27,1 | 0,3275 |

Para controle e aquisição, foi utilizada a placa de prototipagem eletrônica Arduino Mega. Nessa placa, foram utilizadas as entradas analógicas, entrada e saídas digitais e saídas do tipo modulação por largura de pulso (PWM - *Pulse Width Modulation*). Por padrão, as saídas PWM tem resolução de 8 bits, o que permite uma variação de 0 a 255 nessas saídas. O PWM realiza a ativação dos transistores que permitem a regulação da iluminância emitida pelas fitas de LED presentes no teto do ambiente modelo, proporcionando um uso adequado da iluminação artificial do ambiente através da integração com a iluminação natural proveniente da luz solar recebida através das aberturas. O diagrama de blocos que sintetiza todo o sistema implementado pode ser visto na Figura 4.

As comunicações externas do Arduino Mega de entrada e saída foram centralizadas em uma Placa de Circuito Impresso (PCI). Os circuitos de aquisição por LDR e acionamento das fitas LED podem ser vistos nas Figuras 5 e 6.

3. METODOLOGIA

O presente estudo busca verificar o impacto da orientação geográfica na economia de energia elétrica obtida pela utilização do sistema de controle da iluminação artificial. As medições foram realizadas com as orientações geográficas 16° Norte (N) e 203° Sul (S), entre os dias 24 de abril à 9 de maio de 2020, iniciando às 6h e terminado às 18h30min, na cidade de Nova Veneza, Santa Catarina, na localização 28°42'24''S e 49°30'12''O.

Dentro desse contexto, foram analisados três cenários diferentes. O primeiro cenário é determinado com uma área abrangendo toda a sala, onde obtém-se o valor de iluminância a partir da média aritmética dos quatro sensores. O segundo cenário divide a sala em duas partes, onde os

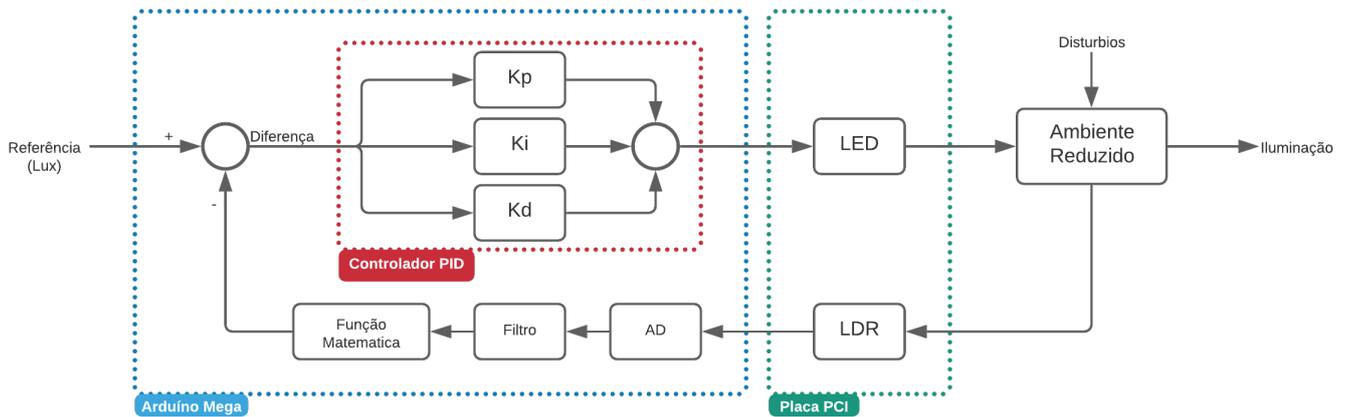


Figura 4. Diagrama de Blocos do Sistema de Controle. Fonte: Autores.

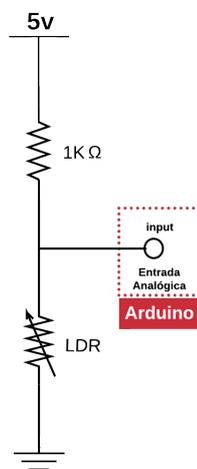


Figura 5. Circuito de Aquisição de LDR. Fonte: Autores.

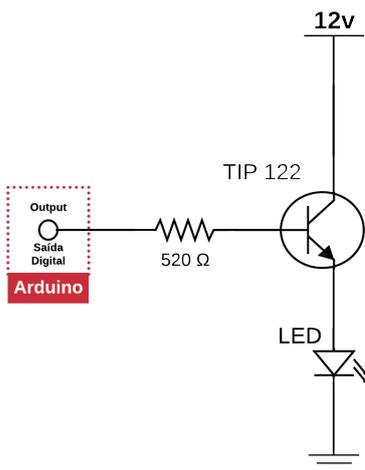


Figura 6. Circuito de Dimerização da Fitas de LED. Fonte: Autores.

sensores mais próximos da janela formam uma área e os mais afastados da janela uma outra, sendo um controlador para cada área. Para ambas as áreas é realizada a média dos sensores para obter um valor para cada área. O terceiro

cenário é determinado com quatro áreas, onde cada sensor representa uma área independente.

Para cada área definida nos cenários, foram implementados controladores PI utilizando a biblioteca PID fornecida por Beauregard (2011) que pode ser instalada diretamente pelo gerenciador de bibliotecas do Arduino. Os parâmetros do controlador possuem os seguintes valores, definidos experimentalmente: $K_p = 0,075$, $K_i = 0,30$ e $K_d = 0$.

Conforme já mencionado, foi utilizado o filtro exponencial para realizar a filtragem dos dados de entrada. Para cada cenário, foi empregado um valor de coeficiente de suavização definido de forma experimental. Para os cenários de uma área, duas áreas e quatro áreas, foram definidos, respectivamente, $\alpha = 0,20$, $\alpha = 0,25$ e $\alpha = 0,10$.

As funções matemáticas foram definidas e calibradas com a utilização de um luxímetro. Mais informações sobre esse procedimento e as informações sobre essas funções podem ser vistos em Francis (2019).

Foram realizados testes em malha aberta com o objetivo de verificar o acionamento das fitas de LED e o impacto nos níveis de iluminância no ambiente. Nestes testes, foi possível estabelecer o valor do PWM de forma a obter no ambiente, somente com uso das fitas de LED e sem contribuição da iluminação natural, o nível de iluminância recomendado pela norma NBR ISO/CIE 8995. Em uma situação real, esse ajuste poderia representar o funcionamento das luminárias do ambiente com uma dimerização fixa, ou seja, sem um sistema de controle em malha fechada.

A identificação do acionamento do PWM em malha aberta que atende o nível de iluminância da norma define um parâmetro mínimo ao qual o sistema deve atingir de forma mais eficiente. Busca-se reduzir ainda mais o consumo de energia elétrica através da integração da iluminação natural e artificial por meio do uso de sistema de controle. Assim, foram realizados os testes em malha fechada com os diferentes cenários e orientações geográficas. A partir da coleta e análise desses dados, foram verificados o desempenho e a estimativa de consumo de energia elétrica dos cenários elencados.

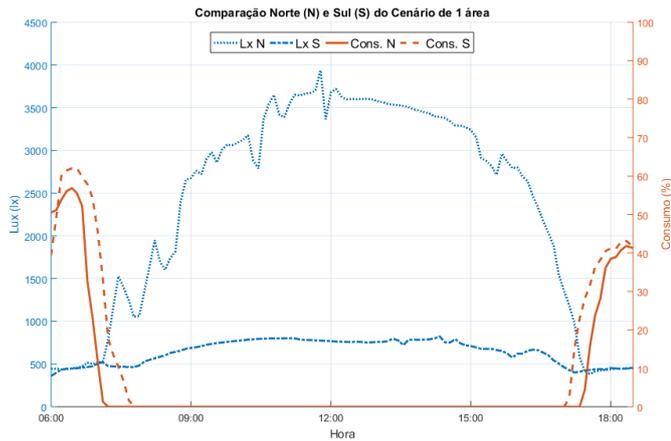


Figura 7. Cenário de 1 área com orientação Norte e Sul, referente ao agrupamento das áreas 0, 1, 2 e 3.

4. RESULTADOS

Os resultados serão organizados de acordo com os cenários de testes e suas orientações. Como foi mencionado anteriormente, foram realizados três cenários para as orientações geográficas definidas. Nesse contexto, serão apresentados gráficos de porcentagem de consumo (acionamento PWM das fitas LED) e iluminância do ambiente para as áreas sob o aspecto do período em questão.

Seguindo os procedimentos realizados por Francis (2019), verificou-se experimentalmente e com o sistema em malha aberta, que o acionamento do PWM em 50% manteria o nível de iluminância em aproximadamente 500lx (valor mínimo estabelecido pela norma). Esse teste foi realizado com as janelas fechadas, ou seja sem contribuição da iluminação natural. Dessa forma, definiu-se o parâmetro mínimo de desempenho energético que sistema deve atingir.

Nos casos apresentados em malha fechada, o sistema busca utilizar apenas a energia necessária para manutenção dos níveis de iluminância no ambiente, em contraste com o acionamento das fitas com o valor nominal de potência elétrica (sem controle). Tem-se a apresentação dos resultados por figuras, onde as legendas representam: iluminância (Lx), Consumo (Cons.), Norte (N) e Sul (S).

Primeiramente, tem-se a comparação entre as orientações norte e sul para o cenário de uma área, onde são apresentados os valores de consumo e iluminância em função das horas na Figura 7. Inicialmente, o consumo das fitas de LED varia entre 55% a 60% e, com o amanhecer, vai diminuindo. Entre 7h e 7h30min, o sistema de controle tende a zerar a utilização de iluminação artificial, voltando a fazer o uso dela entre 17h e 17h30min, de acordo com a orientação. Observa-se uma maior incidência de iluminância natural ao longo do dia no experimento realizado com as aberturas direcionadas para o norte em comparação com a orientação sul. Isso pode ser explicado pela localização do experimento no hemisfério sul e pela sua latitude. Para este caso, a média de consumo do período é de 6,98% para o norte e 9,68% para o sul. Verifica-se que esse consumo de energia elétrica com o controle em malha fechada apresentou valores bem menores que a potência necessária para estabelecimento do nível mínimo de iluminância da norma no pior caso (noite ou janelas fechadas).

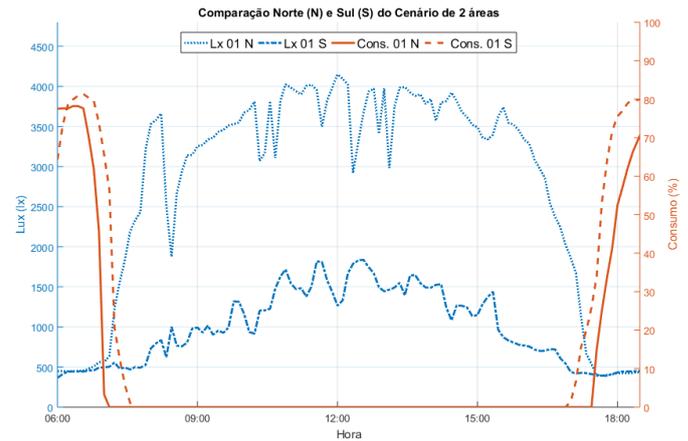


Figura 8. Cenário de 2 áreas com orientação Norte e Sul, referente ao agrupamento das áreas 0 e 1.

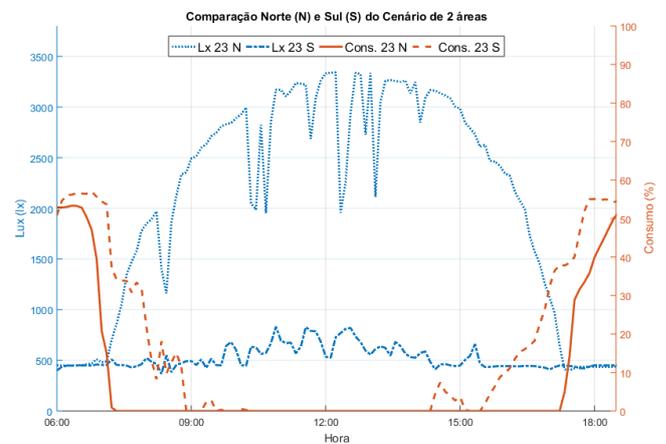


Figura 9. Cenário de 2 áreas com orientação Norte e Sul, referente ao agrupamento das áreas 2 e 3.

O segundo conjunto de resultados foi obtido considerando o cenário de duas áreas e utiliza a mesma forma de apresentação de gráficos do caso anterior. Na Figura 8, que representa as áreas 0 e 1, nota-se que os valores de iluminância natural para o norte também são expressivamente maiores que para o sul no mesmo período. De forma similar, na Figura 9 representando as áreas 2 e 3, verifica-se que ao sul há menor intensidade de iluminância natural que ao norte e, por consequência, a utilização de iluminação artificial é maior no período avaliado. Observa-se inclusive no caso dessas últimas áreas (mais afastadas das aberturas) o acionamento da iluminação artificial em alguns períodos da tarde. Isso não ocorre no cenário anterior que considera somente uma área devido ao controle ser único, o que já não ocorre nesses últimos resultados. Realizando uma média em relação ao consumo no período, tem-se ao norte o valor de 9,04% e ao sul o valor de 15,27%. Verifica-se também nesse caso uma redução no consumo com o controle em malha fechada em ambos os casos quando comparado com o acionamento em malha aberta.

O último cenário é representado por 4 áreas diferentes para o ambiente em escala, onde optou-se por utilizar a mesma estratégia de apresentação. Nota-se que ocorre o mesmo padrão em redução do consumo a partir do nascer do sol e aumento a medida que se aproxima do final

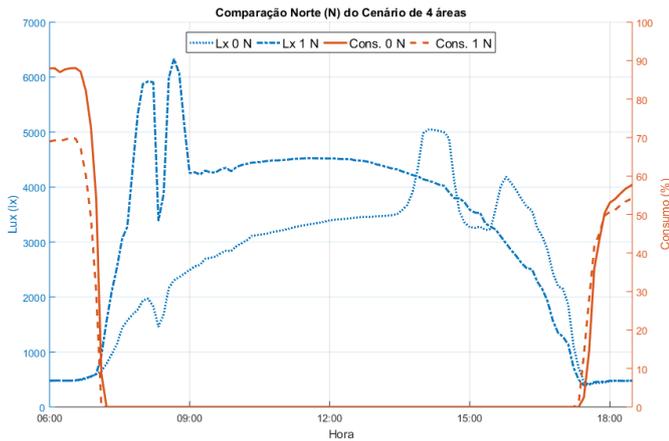


Figura 10. Cenário de 4 áreas orientado ao Norte, referente às áreas 0 e 1.

do dia, conforme visto nas Figuras 10, 11 e 12. Porém, observa-se na Figura 13 que como cada controle trabalha separadamente, a fita de LED associada a essa área teve alguma fração de acionamento praticamente o dia todo, exceto às 12h que desligou por completo, mas logo em seguida voltou a fazer o uso da iluminação artificial. Por fim, foi realizada a média em relação ao consumo no período e tem-se ao norte 9,83% e ao sul 13,75%.

Os resultados obtidos são sumarizados na Tabela 2, que apresenta as médias gerais dos cenários de acordo com a orientação de cada caso. Através da análise da tabela, observa-se que todos os resultados do sistema operando em malha fechada apresentaram melhor eficiência, com redução no consumo de energia elétrica, em comparação com uma solução convencional, que seria deixar a iluminação artificial ligada durante todo o dia, bem como em comparação com a iluminação artificial ajustada para obtenção de 500lx no ambiente. Esse último caso corresponde a uma situação de um *dimmer* com valor fixo. Dessa forma, enfatiza-se a contribuição referente à eficiência energética que esse tipo de estratégia pode trazer para os sistemas de iluminação.

Verificou-se também que todos os cenários apresentaram desempenho satisfatório, tanto na orientação norte quanto na sul. Conforme esperado, o nível de contribuição da iluminação natural é maior quando as aberturas estão direcionadas para o norte. Comparando-se os cenários, verificou-se que o aumento no número de áreas teve como resultado um aumento no consumo de energia elétrica. Esse aumento é mais significativo na orientação sul. Nessa orientação, pode ser verificado um acréscimo de 7,99% no consumo de energia elétrica do cenário com 4 áreas em comparação com aquele que considera somente uma área. Já na orientação norte, essa diferença é de apenas 2,85%. Isso pode ocorrer devido aos controles funcionarem de uma maneira independente. Logo, as variações da iluminância natural causariam uma resposta mais rápida no cenário de 4 áreas do que no cenário que considera somente uma área. Esses aspectos serão tema de estudos futuros pelos autores.

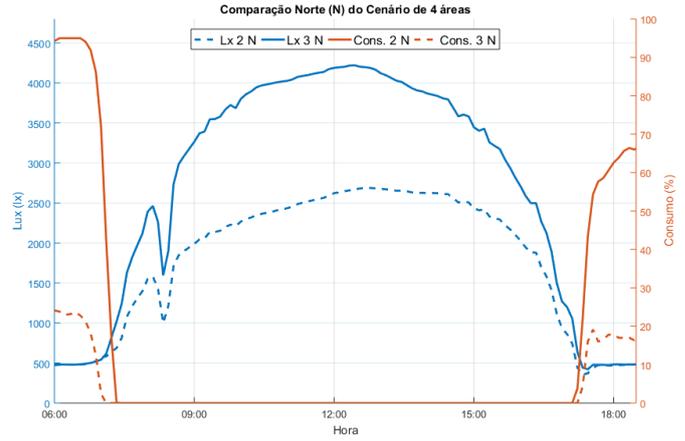


Figura 11. Cenário de 4 áreas orientado ao Norte, referente às áreas 2 e 3.

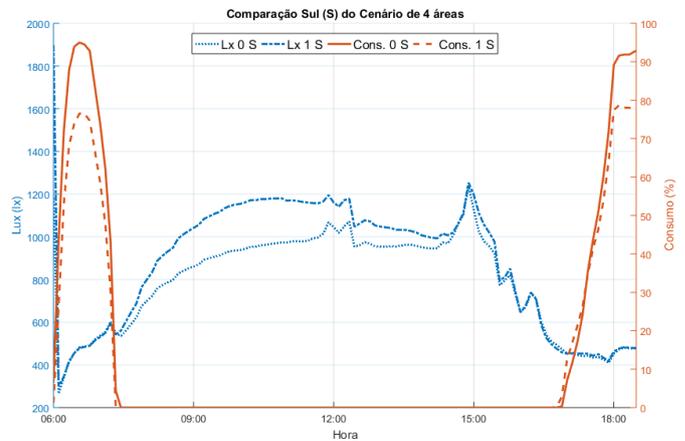


Figura 12. Cenário de 4 áreas orientado ao Sul, referente às áreas 0 e 1.

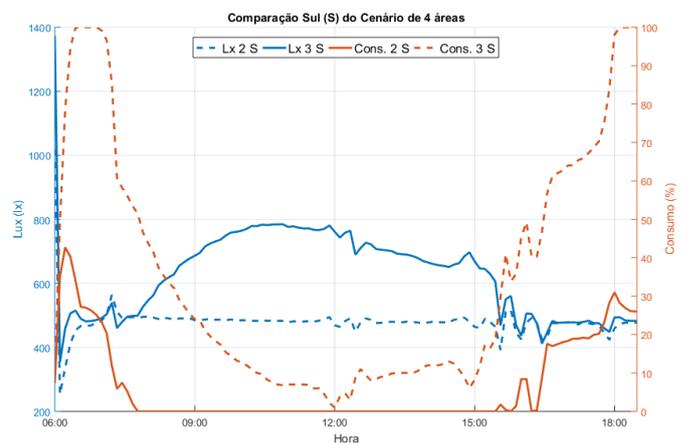


Figura 13. Cenário de 4 áreas orientado ao Sul, referente às áreas 2 e 3.

5. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou testes experimentais de um sistema de controle, baseado no controlador PI, com o objetivo de

Tabela 2. Médias dos Cenários e Orientações

| Orientação | 1 Área | 2 Áreas | 4 Áreas |
|------------|--------|---------|---------|
| Norte | 6,98% | 9,04% | 9,83% |
| Sul | 9,68% | 15,27% | 17,67% |
| Média | 8,33% | 12,16% | 13,75% |

regular a iluminação artificial em um ambiente em escala. Foram analisados os efeitos das orientações geográficas e cenários para utilização eficiente da iluminação natural e artificial.

Atualmente, na maior parte dos ambientes utilizam-se sistemas de iluminação sem nenhum tipo de controle, empregando o total de sua potência. Assim, a implementação de um sistema de controle permite realizar uma utilização variável dessa potência instalada, buscando tornar esse uso complementar à iluminação natural, fazendo-o mais eficiente e, com isso, trazendo redução de consumo de energia elétrica.

Foi observado que durante o período de estudo, mesmo entre os piores casos apresentados há uma redução de utilização de iluminação artificial representativo. Enquanto a iluminação tradicional faria uso de 100% independente da orientação, foi possível alcançar entre 6,98% e 17,67% de utilização.

Dessa forma, constatou-se com este estudo que o cenário que apresentou melhor resultado foi aquele direcionado para o norte utilizando um controlador para todo o ambiente, trazendo um uso de 6,98% da potência instalada, enquanto que ao sul ficou com 9,68% também com o cenário de um controlador para toda a área. Esses valores representam uma redução de 43,02% orientados ao norte e 40,32% orientado ao sul em comparação com a estratégia de *dimmer* sem controle.

Os sistemas de controle aliados as técnicas de orientações geográficas trazem automação e otimização no uso de iluminação artificial que está diretamente ligado à redução do consumo de energia elétrica. Como trabalhos futuros, pretende-se realizar novos estudos visando analisar o atendimento do requisito mínimo da norma para iluminação em todas as áreas do ambiente e verificar impactos na eficiência energética de ambientes com sistema de controle de iluminação.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR ISO/CIE 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho. 1–46.
- Beauregard, B. (2011). PID library. Disponível em: <https://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary/>. Acessado em 10 de Fevereiro de 2020.
- Bilésimo, T.L., Rampinelli, G.A., and Bremermann, L.E. (2018). Análise de estratégias de iluminação natural em uma planta piloto bioclimática para promoção da eficiência energética. *XXII Congresso Brasileiro de Automática*. doi:10.20906/cps/cba2018-0198.
- Cao, X., Dai, X., and Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, 128(2012), 198–213. doi:10.1016/j.enbuild.2016.06.089.
- Francis, L.T. (2019). *Análise e desenvolvimento de um sistema de controle para integração eficiente da iluminação natural e artificial*. Bacharel, Engenharia de Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. URL <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197830>.
- Gul, M.S. and Patidar, S. (2015). Understanding the energy consumption and occupancy of a multi-purpose academic building. *Energy and Buildings*, 87, 155–165. doi:10.1016/j.enbuild.2014.11.027.
- Hyndman, H. and Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice*. chapter 7. Melbourne, Australia., 2nd edition.
- IEA (2018a). Energy efficiency: buildings. Disponível em: www.iea.org/reports/tracking-buildings-2019/buildings#abstract. Acessado em 10 de Fevereiro de 2020.
- IEA (2018b). Energy efficiency: lighting. Disponível em: www.iea.org/reports/tracking-buildings-2019/buildings#abstract. Acessado em 10 de Fevereiro de 2020.
- IEA (2018c). World energy outlook 2018. Disponível em: www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity. Acessado em 10 de Fevereiro de 2020.
- Lamberts, R., Dutra, L., and Pereira, O.F. (2014). *A eficiência energética na arquitetura*. PROCEL, 3 edition.
- Pereira, F.O.R., Pereira, R.C., and Castaño, A.G. (2017). Quão confiáveis podem ser os modelos físicos em escala reduzida para avaliar a iluminação natural em edifícios? *Ambiente Construído*, 12(1), 131–147. doi:10.1590/s1678-86212012000100009.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., and Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. doi:10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
- Petry, B.M., Moreira, D.R., Rodrigues, G.R., Klauk, M.H., Pinto, T.M., Madruga, W.d.C., and Duarte, O.F.P. (2009). Potencial de economia de energia elétrica através da utilização de sensores de presença - aplicação no prédio 50 da PUCRS. *X Salão de Iniciação Científica - PUCRS*, 3036–3038.
- Torres, B.G., Federal, U., Grande, D.C., Aprígio, A., Bodocongó, B., and Grande, C. (2015). Analysis of light conditions of two classrooms of caa block at university federal of campina grande. *23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering*.
- Yang, S.H., Chang, Q.S., and Chou, D.C. (2016). Empirical research of using digital addressing LED energy-saving lighting control system - the case of underground parking lot. *2016 5th International Symposium on Next-Generation Electronics, ISNE 2016*, 2–3. doi:10.1109/ISNE.2016.7543344.