

ESTRATÉGIA PARA ARBORIZAÇÃO UTILIZANDO TECNOLOGIA DE CICLO DE LUZ CONTROLADO E LEDS FULL SPECTRUM

*Strategy for Afforestation using Controlled Light Cycle Technology and
Full Spectrum LEDs*

*Estrategia de forestación mediante tecnología de ciclo de luz controlado
y LED de espectro completo*

FLACH, G. H.¹; PELLEGRINI, L. C.²

Resumo

O projeto proposto visa aprimorar o crescimento de plantas que, devido à sua localização em áreas de baixa irradiação solar, têm seu desenvolvimento prejudicado. Isso é feito a partir de um sistema de gerenciamento de ciclo de luz, que emprega o microcontrolador Arduino e barras de diodos emissores de luz de espectro completo, com o propósito de potencializar o crescimento de plantas em ambientes internos, destinados à futura implementação no meio urbano. A metodologia abrange a programação do microcontrolador para simular um ciclo de luz solar, visando fornecer o espectro ideal de luz para o desenvolvimento das plantas. Além disso, a eficácia da barra de LEDs Full Spectrum em emular a radiação solar foi avaliada por meio de testes práticos de crescimento de plantas. Os resultados demonstram que o sistema controlado promove um crescimento otimizado e saudável nas plantas, ressaltando a eficácia da tecnologia de LEDs Full Spectrum no cultivo indoor. Essa abordagem representa um avanço significativo para a infraestrutura verde urbana e sistemas de cultivo controlado, oferecendo uma solução sustentável para a promoção do crescimento de plantas em ambientes internos.

Palavras-chave: LEDs Full Spectrum; Arborização urbana; Cultivo indoor.

¹Graduando em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Paraná. gustavo.flach@ufpr.br

²Graduanda em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal do Paraná. laura.pellegrini@ufpr.br

Data da Submissão:

21novembro2023

Data da Aprovação:

10dezembro2023

Data da Publicação:

19fevereiro2024

COMO CITAR:

FLACH, G.H.; PELLEGRINI, L.C.. ESTRATÉGIA PARA ARBORIZAÇÃO UTILIZANDO TECNOLOGIA DE CICLO DE LUZ CONTROLADO E LEDES FULL SPECTRUM. Engenharia Urbana em Debate. São Carlos, V4, n2, 2023. <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v4i2.115>



Abstract

The proposed project aims to enhance the growth of plants that, due to their location in areas with low solar irradiation, face hindered development. This is achieved through a light cycle management system utilizing the Arduino microcontroller and full-spectrum light-emitting diodes light bars, with the purpose of boosting plant growth in indoor environments, intended for future implementation in urban settings. The methodology involves programming the microcontroller to simulate a solar light cycle, aiming to provide the ideal light spectrum for plant development. Furthermore, the efficacy of the Full Spectrum LED bar in emulating solar radiation was evaluated through practical plant growth tests. The results demonstrate that the controlled system promotes optimized and healthy plant growth, highlighting the effectiveness of Full Spectrum LED technology in indoor cultivation. This approach represents a significant advancement for urban green infrastructure and controlled cultivation systems, offering a sustainable solution for promoting plant growth in indoor environments.

Keywords: Full Spectrum LEDs; Urban Afforestation; Indoor Cultivation.

Resumen

El proyecto propuesto tiene como objetivo mejorar el crecimiento de plantas que, debido a su ubicación en áreas de baja radiación solar, ven perjudicado su desarrollo. Esto se logra a través de un sistema de gestión de ciclo de luz que utiliza el microcontrolador Arduino y barras de diodos emisores de luz de espectro completo, con el propósito de potenciar el crecimiento de plantas en entornos interiores, destinado para implementación futura en entornos urbanos. La metodología abarca la programación del microcontrolador para simular un ciclo de luz solar, con el objetivo de proporcionar el espectro de luz ideal para el desarrollo de las plantas. Además, la eficacia de la barra de LEDs Full Spectrum en emular la radiación solar fue evaluada mediante pruebas prácticas de crecimiento de plantas. Los resultados demuestran que el sistema controlado promueve un crecimiento optimizado y saludable en las plantas, destacando la eficacia de la tecnología de LEDs Full Spectrum en el cultivo interior. Esta aproximación representa un avance significativo para la infraestructura verde urbana y los sistemas de cultivo controlado, ofreciendo una solución sostenible para fomentar el crecimiento de plantas en entornos interiores.

Palabras clave: LEDs Full Spectrum; Arborización Urbana; Cultivo Interior.

1. INTRODUÇÃO

Acrescente busca pela implementação de medidas que tornem o ambiente urbano mais sustentável, eficiente e resiliente têm impulsionado a inovação e tecnologia em diversos campos, incluindo o da infraestrutura verde (Siebert, 2014). Esse, envolve a incorporação consciente e planejada de vegetação nas cidades, com o intuito de melhorar a qualidade de vida e de reduzir os efeitos de problemáticas urbanas como a da mudança climática, ilhas de calor, inundações e perda da biodiversidade.

Leis e projetos governamentais, como a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/ 2012), que regulamenta e incentiva a conservação e restauração de vegetação nativa em áreas privadas no Brasil, e o projeto "100 Mil Árvores em Curitiba", que visa o plantio de 100 mil árvores anualmente, doadas pela prefeitura na cidade, evidenciam a importância e atualidade do olhar zeloso para o meio ambiente, em especial no enquadro cidadão.

Nesse contexto, as Áreas de Preservação Permanente (APPs), faixas de terra marginais a corpos d'água ou encostas de morros, com função de assegurar a preservação dos recursos hídricos, proteção do solo, a estabilidade geológica, biodiversidade e o bem-estar das populações humanas, são consideradas primordiais (Mattos et al., 2007 apud Seraphim, 2010), assim como as unidades de conservação (UCs). Essas, são mais variadas em área, localização e objetivos específicos, mas permitem o uso público simultâneo ao objetivo de conservação da heterogeneidade dos ecossistemas, o que torna-as mais acessíveis no panorama de maior densidade demográfica e demanda de uso do solo, comuns na atualidade. Alguns exemplos de aplicações são os parques e reservas nacionais, assim como as Áreas de Proteção Ambiental (APAs).

Diante disso, este trabalho traz como objeto de estudo uma tecnologia de iluminação artificial que otimiza o desenvolvimento de mudas arbóreas para implementação no cenário urbano, mais especificamente em áreas de preservação e conservação, em cidades onde existem complicações na germinação por conta da baixa incidência solar, como é o caso de Curitiba, no Paraná (Tiepolo et al., 2018).

Conforme a Tabela 1, do ano de 2021, do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), que segue as especificações de coordenadas geográficas da cidade de Curitiba, os meses de Maio, Junho, Julho, Setembro e Outubro apresentam menor valor de irradiação solar. Comparando com os outros meses, apresentam até 1.700 Wh/m².dia a menos, o que indica a considerável carência na incidência de raios solares.

Tabela 1 – Médias do Total Diário da Irradiação Direta Normal para o Estado do Paraná

ID ▲	Lon ▼	Lat ▼	Anual ▼	Jan ▼	Fev ▼	Mar ▼	Abr ▼
4187	-49,249	-25,4005	3220	3470	3623	3336	3163
	Mai ▼	Jun ▼	Jul ▼	Ago ▼	Set ▼	Out ▼	Dez ▼
	2841	2881	2964	4224	2606	2487	3386
							3661

Fonte: autoria própria

Esta limitação na quantidade de energia provinda do Sol que chega até a superfície terrestre de forma direta, impacta prontamente no processo de desenvolvimento da muda vegetal, reduzindo a quantidade de energia produzida pelo processo da fotossíntese. Isto, além de retardar

o crescimento, pode gerar mudas mais frágeis, menos desenvolvidas, com formações e produção de nutrientes inadequadas. No contexto de reestruturação das florestas e ecossistemas urbanos, isto pode refletir na maior vulnerabilidade às doenças e instabilidade física

das plantas, retratando um cenário insatisfatório para a longevidade da intervenção.

Como meio de confrontar e solucionar estas fragilidades provenientes do baixo índice de raios solares incidentes diretamente, a aplicação de diodos emissores de luz (LEDs) em sistemas de iluminação vegetal oferece novas possibilidades de regulação da intensidade luminosa e do espectro luminoso, juntamente com uma redução significativa no consumo de energia. A capacidade de modular o espectro de iluminação por meio de LEDs também pode promover a acumulação de metabólitos vegetais importantes, muitos deles associados a propriedades nutraceuticas.

Embora a luz vermelha e azul sejam amplamente reconhecidas como regiões luminosas cruciais para o desenvolvimento vegetal, outros comprimentos de onda, como o verde, também podem desempenhar um papel na qualidade das culturas. As plantas não apenas realizam a fotossíntese, mas também são capazes de perceber e processar informações por meio de sinais luminosos de seu ambiente, o que impacta seu crescimento e desenvolvimento. Estudos destacam os efeitos das cores azul e vermelha no crescimento das plantas, enquanto a luz verde pode atuar de maneira semelhante à luz vermelho- distante, influenciando respostas adaptativas. A combinação de diferentes comprimentos de onda, como o azul e o vermelho, demonstra efeitos sinérgicos no crescimento e na acumulação de biomassa (Tarakanov, 2022).

Esse conhecimento tem implicações importantes para a eficácia das práticas de cultivo indoor,

especialmente em regiões com limitações de irradiação solar direta, como Curitiba. No entanto, ainda há desafios a serem superados para otimizar o uso de LEDs em sistemas de cultivo, considerando as necessidades específicas das plantas e os impactos nas respostas fisiológicas.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo investigar a aplicação de LEDs Full Spectrum em um sistema de controle de ciclo de luz para promover o crescimento de plantas urbanas em viveiros de mudas e, conseqüentemente, desenvolver a arborização e a manutenção dos serviços ecossistêmicos em Curitiba, no estado do Paraná.

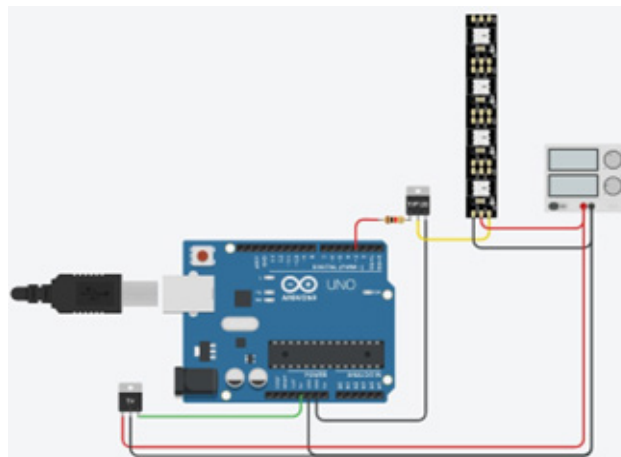
2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para a implementação do sistema, consistindo no controle de ciclo de luz utilizando um Arduino e a barra de LEDs Full Spectrum LXML16WHW-1 envolve uma série de etapas detalhadas para garantir o funcionamento eficiente e o objetivo de imitar o ciclo de luz solar para o crescimento de plantas em ambientes controlados.

Inicialmente, a seleção dos componentes foi realizada com base nas especificações técnicas e requisitos do projeto. Foram escolhidos um Arduino Uno, uma fonte de alimentação de 12 V genérica, um regulador de tensão de 5 V, um transistor TIP120 e a barra de LEDs Full Spectrum. A fonte de alimentação de 12 V foi conectada aos terminais de entrada do regulador de tensão de 5 V, garantindo uma tensão estabilizada para alimentação do microcontrolador. O transistor TIP120 foi conectado ao pino de

controle do Arduino e à barra de LED Full Spectrum, permitindo o controle da intensidade da luz emitida e o seu respectivo acionamento. O esquemático do circuito pode ser observado na Figura 1.

Figura 1- Esquemático do circuito proposto.



Fonte: Arduino Uno

Para a programação do Arduino, foi desenvolvido um código que controla o ciclo de luz da barra de LED. O código foi elaborado para gradualmente aumentar a intensidade da luz pela manhã, manter a intensidade máxima durante o dia e, posteriormente, reduzir a intensidade gradualmente à noite, até que a barra seja desligada por completo. Isso foi obtido através da utilização da função TIMER para criar intervalos de tempo precisos, correspondendo aos períodos do dia mencionados anteriormente. Além disso, a função `analogWrite()` foi utilizada para controlar a saída de sinal analógico para o transistor TIP120, que, por sua vez, regulava a potência entregue à barra de LED através da técnica de modulação por largura de pulso (PWM), consequentemente variando sua intensidade luminosa.

A validação do sistema de controle de ciclo de luz foi realizada para verificar a sua eficácia em imitar um ciclo de iluminação que promova o

crescimento saudável de plantas. Embora a comparação direta com a luz solar não tenha sido executada, a validação concentrou-se na confirmação de que o sistema controlado é capaz de operar de acordo com o ciclo predefinido que pode ser alterado conforme a espécie da planta através do código compilado no microcontrolador.

Além disso, foi avaliada a efetividade da barra de LEDs Full Spectrum, uma vez que a tecnologia promete entregar uma composição de comprimentos de onda que imitam a radiação emitida pelo Sol, ou seja, foram selecionadas plantas de teste com características de crescimento similares, onde as plantas foram expostas ao ciclo de luz controlado e o crescimento dessas plantas foi monitorado ao longo de um período de sete dias, contando com a irrigação manual das plantas conforme a recomendação para cada espécie. O ambiente de testes pode ser observado na Figura 2.

Figura 2- Prateleira de testes do sistema.



Fonte: autoria própria

3. RESULTADOS

A avaliação da eficácia do sistema de controle de ciclo de luz, em conjunto com a tecnologia de barra de LEDs Full Spectrum, foi realizada por meio de testes práticos de crescimento de plantas ao longo de um período de sete dias. Durante esse espaço de tempo, as plantas foram expostas ao ciclo de luz controlado, projetado para imitar o ciclo solar.

Para visualizar a influência do sistema de controle no crescimento das plantas, foram capturadas imagens do mesmo pote de plantas antes e após o período de sete dias de exposição ao ciclo de luz controlado. As imagens foram analisadas quanto ao desenvolvimento geral das plantas, assim como é possível observar na Figura 3.

Figura 3- Antes e depois dos sete dias de testes.

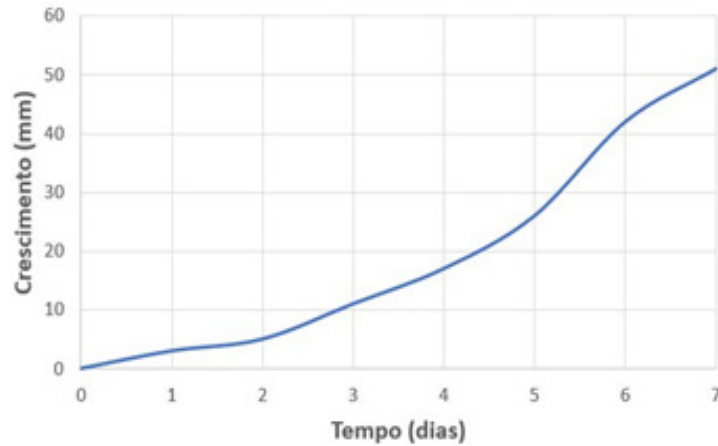


Fonte: autoria própria

Comparando as imagens capturadas, observou-se um crescimento notável nas plantas após o período de exposição ao ciclo de luz controlado. As plantas apresentam um alongamento visível em sua altura, aumento da densidade de folhas e vitalidade, indicando um crescimento

saudável e estimulado pelo sistema de controle, e como forma de esboçar quantitativamente o crescimento, foi gerado um gráfico baseado nas imagens capturadas, podendo ser observado um crescimento aproximadamente exponencial.

Figura 4- Gráfico de crescimento.



Fonte: autoria própria

Os resultados visuais das imagens capturadas após a semana de teste indicam claramente que o sistema de controle de ciclo de luz, combinado com a tecnologia de barra de LEDs Full Spectrum, contribui para um crescimento robusto e saudável das plantas em ambientes internos. Esse efeito positivo reforça a importância da abordagem no contexto da arborização urbana e do cultivo indoor, pois não apenas valida o sistema de controle de ciclo de luz, mas também oferece uma perspectiva promissora para a integração dessa tecnologia como uma ferramenta valiosa para impulsionar a arborização em ambientes urbanos. O sistema promove maior velocidade no cultivo e no arranjo de mudas para distribuição aos centros de preservação e conservação ambientais, além de

melhores condições estruturais e nutritivas dessas, considerando o cenário de desvantajosa irradiação solar. É importante destacar que a utilização de um microcontrolador, como atuador do sistema, possibilita uma flexibilidade significativa, permitindo adaptações para se adequar às necessidades específicas de diferentes espécies de plantas, como tempo de exposição à luz e a intensidade luminosa necessária. Essa característica inovadora é fundamental, uma vez que diferentes plantas podem requerer níveis variados de luminosidade para um crescimento ideal. Além disso, o sistema apresenta a possibilidade de ajustar a altura da barra de LED de acordo com as particularidades da espécie em questão. Diferentes tipos vegetais, como por exemplo

herbáceas, pisos vegetais e coníferas, possuem diferentes padrões de crescimento vertical, e a modularidade da barra de LED permite que a fonte de luz seja posicionada de maneira ideal para maximizar a eficiência da fotossíntese de cada caso específico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A capacidade de estimular um crescimento saudável e robusto das plantas através do ciclo de luz controlado e da tecnologia de LEDs Full Spectrum oferece uma abordagem inovadora para enfrentar os desafios da expansão de áreas verdes no meio urbano, especialmente em cidades com climas e insolações menos favoráveis. A demonstração concreta de que as plantas prosperam sob essa abordagem reforça a viabilidade de adotar tecnologias similares em projetos de planejamento e gestão ambiental de áreas de preservação e conservação.

Ao proporcionar um crescimento vigoroso, o sistema apresentado possui um papel duplo: além de melhorar a estética urbana, criando contraste da densidade vegetal com o ambiente construído e favorecendo na beleza paisagística, que impacta diretamente no bem estar dos habitantes, ele contribui diretamente para a expansão das áreas verdes nas cidades. Esse impacto positivo abrange inúmeros benefícios ambientais, como a maior permeabilidade do solo, o equilíbrio térmico, diminuição do ruído, e a conservação dos serviços ecossistêmicos, como os ciclos biogeoquímicos da água e da purificação do ar, que influenciam rigorosamente na preservação da biodiversidade local.

É de extrema necessidade o entendimento da complexidade e dimensão desse cenário em que coexistem as estruturas físicas do ambiente citadino, as relações intersociais e as atividades humanas integradas ao meio natural pré-existente. A diversidade de ações e impactos que simultaneamente se interceptam e relacionam no contexto urbano devem ser levadas em consideração no planejamento urbano, para que seja possível frear a degradação e restaurar os ambientes já impactados, prioritariamente. Afinal, como alertou Acselrad, “o futuro das cidades dependerá, em grande parte, dos conceitos constituintes do projeto de futuro construído pelos agentes relevantes da produção do espaço urbano”.

Ainda, é fundamental a interdisciplinaridade de profissionais atuando na gestão e planejamento urbano para abordar de maneira eficaz esses desafios multifacetados, tendo perspectivas amplas e permitindo que maiores e mais diversas oportunidades de inovação e tecnologia surjam e sejam aplicadas como meios de desenvolvimento.

Os resultados deste estudo não apenas demonstram a viabilidade da tecnologia de ciclo de luz controlado e LEDs Full Spectrum em viveiros de mudas, mas também mostram como ela pode desempenhar um papel vital na conformação de infraestruturas verdes urbanas mais equilibradas e em sintonia com os princípios da sustentabilidade, oferecendo uma perspectiva otimista para a arborização urbana. A integração de soluções inovadoras como essa, de suplementação de irradiação, tem o potencial de transformar nossas

idades em espaços mais verdes, saudáveis e habitáveis, fortalecendo a conexão entre o ambiente construído, a sociedade e a natureza em constante evolução.

Este trabalho abre caminho para uma série de possíveis investigações e aprimoramentos, como o refinamento no espectro de luz fornecido pelos LEDs, visando adequá-lo para espécies específicas de plantas, com objetivo de atingir condições ideais para o crescimento. Também é possível explorar a incorporação de sensores de umidade, temperatura e dióxido de carbono ao sistema, para a criação de um ambiente ainda mais controlado e adaptável.

Adicionalmente, pode-se realizar estudos de análise do ciclo de vida e avaliação do impacto ambiental do sistema, visando demonstrar de forma clara sua sustentabilidade e eficácia.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. *Arduin Reference* - analogWrite() Function. Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogwrite/>. Acesso em: 10/08/2023.

BRASIL. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e nº 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012.

CAVALLARO, V.; MULEO, R. *The Effects of LED Light Spectra and Intensities on Plant Growth*. Plants (Basel), 2022 Jul 23.

LUNEX Tecnologia LTDA. *Barra de LEDs Full Spectrum LXML16WHW-1*. Disponível em: https://www.lunex.com.br/images/catalogos/Fichas/Ficha_FULL_SPECTRUM_rev01.pdf. Acesso em: 10/08/2023.

LUNEX Tecnologia LTDA. *Fonte de Tensão 150W 12V 12,5A IDEA: LX1213-ID*. Disponível em: <https://www.lunex.com.br/images/catalogos/Fichas/Especificaca-tecnica-fonte-150-w-idea.pdf>. Acesso em: 10/08/2023.

LABREN. *Médias do Total Diário da Irradiação Direta Normal para o Estado do Paraná*. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas2_tables/PR_dir.html. Acesso em: 22/08/2023.

LUXEON. *SunPlus 2835 Line*. Disponível em: <https://lumileds.com/wp-content/uploads/files/DS237-luxeon-sunplus-2835-line-datasheet.pdf>. Acesso em: 10/08/2023.

ON Semiconductor. *TIP120 NPN Epitaxial Darlington Transistor*. Disponível em: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/tip120-d.pdf>. Acesso em: 10/08/2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. *100 Mil Árvores para Curitiba - Como Participar*. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/servicos/100-mil-arvores-para-curitiba-como-participar/788>. Acesso em: 21/08/2023.

- RESTAURA NATUREZA. *Conservar*. Disponível em: <https://restauranatureza.org.br/temas/conservar>. Acesso em: 22/08/2023.
- SERAPHIM, D. S. *Unidades de conservação em áreas de preservação permanente urbanas: implementação e percepção na cidade de Curitiba, PR, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Universidade Positivo. Curitiba, 2010.
- SIEBERT, C. *Sustentabilidade Urbana: o Pensamento Ambiental e as Cidades*. In: SCHULT, Sandra; B., N. (orgs.). *As Múltiplas Dimensões das Áreas de Preservação Permanente*. Blumenau: Edifurb, 2014.
- TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S.; ALVES, A. R. *Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná*. 1a Edição. Curitiba: INPE, 2018.
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017.
- UNEP. *A Década da Restauração de Ecossistemas no Brasil*. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagem/reportagem/decada-da-restauracao-de-ecossistemas-no-brasil#:~:text=A%20D%C3%A9cada%20da%20ONU%20para,um%20chamado%20global%20%C3%A0%20a%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 21/08/2023.
- TARAKANOV, I. G. et al. *Effects of Light Spectral Quality on Photosynthetic Activity, Biomass Production, and Carbon Isotope Fractionation in Lettuce, Lactuca sativa L.*, *Plants*. *Plants* (Basel), v. 11, n. 3, p. 441, fev. 2022.