



SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EM SOJA ASSOCIADO COM ILUMINAÇÃO *OUTDOOR* COM LEDS: UMA REVISÃO¹

SOY IRRIGATION SYSTEMS ASSOCIATED WITH OUTDOOR LIGHTING WITH LEDS: A REVIEW

Cintia Daniel²

<https://orcid.org/0000-0003-1539-0761>

Reginaldo Ferreira Santos³

<https://orcid.org/0000-0002-7745-9173>

Luciene Kazue Tokura⁴

<https://orcid.org/0000-0001-9758-0141>

Noé Barroso dos Santos⁵

<https://orcid.org/0009-0004-2114-1643>

Agostinho Rodrigues Zitha⁶

<https://orcid.org/0009-0007-8114-5410>

Jair Antonio Cruz Siqueira⁷

<https://orcid.org/0000-0002-8140-444X>

Regina Neves Ubial Costa⁷

<https://orcid.org/0009-0000-5360-1342>

Felipe Luiz de Lemos Nobre⁸

<https://orcid.org/0000-0002-0613-3950>

¹ Trabalho aprovado por pares e apresentado no **V Workshop da Rede Internacional de Pesquisa Resiliência Climática - RIPERC**, Modalidade Oral, realizado nos dias 10 a 13 de dezembro de 2023. Uniãoeste, Marechal Cândido Rondon, Paraná.

² Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná. cintia.daniel1998@gmail.com

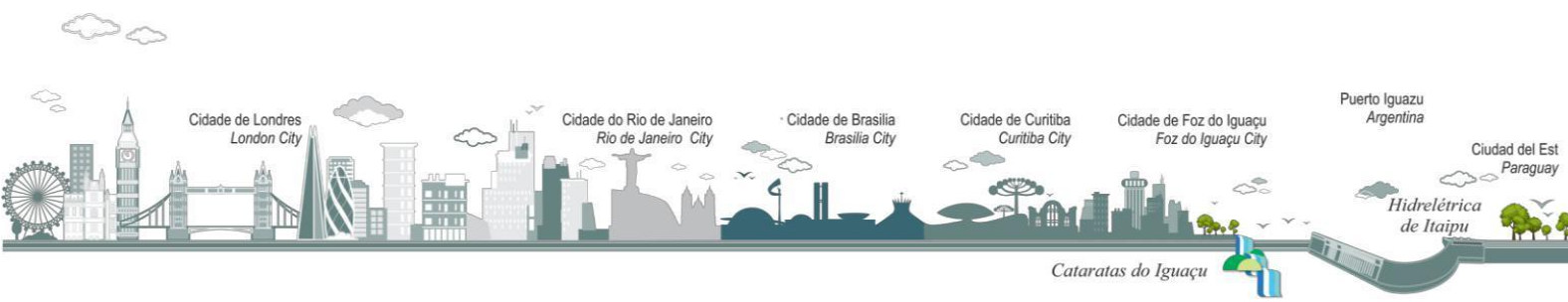
³ Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná

⁴ Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná

⁵ Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná

⁶ Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná

⁷ Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná





GT 9: INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, AGROENERGIA E GESTÃO

Resumo: Os sistemas de iluminação com diodos emissores de luz (LEDs) em ambientes controlados é uma tecnologia que já vem sendo utilizada a algum tempo. Entretanto, o uso de sistemas de iluminação com lâmpadas de LEDs em ambientes *outdoor* é uma tecnologia que vem sendo discutida mais recentemente, para auxiliar no desenvolvimento das plantas em relação ao fotoperíodo. Assim, o presente estudo teve o objetivo de verificar o uso da iluminação artificial em sistemas de irrigação sobre o desenvolvimento da cultura de soja. Nesse estudo procurou-se fazer uma revisão bibliográfica sobre as características fisiológicas das plantas de soja, uso das lâmpadas de LEDs e sistemas de irrigação, uma vez que, a cultura de soja é uma das principais culturas que se destacam no estado do Paraná. E dessa forma, verificar os avanços que essa tecnologia pode trazer para o desenvolvimento das plantas de soja.

Palavras-Chave: Defensivo agrícola. Dessecantes. *Glycine max*.

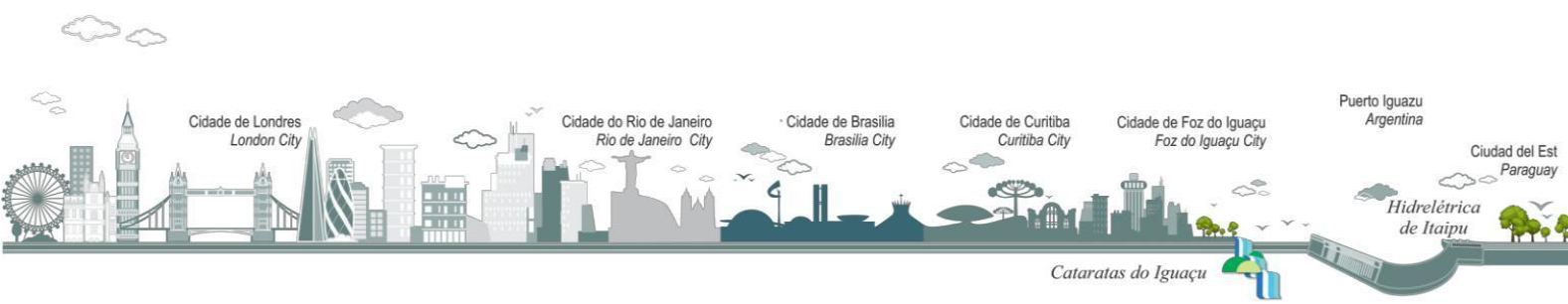
Abstract: Lighting systems with light-emitting diodes (LEDs) in controlled environments is a technology that has been used for some time. However, the use of lighting systems with LED lamps in outdoor environments is a technology that has been discussed more recently, to assist in the development of plants in relation to the photoperiod. Thus, the present study aimed to verify the use of artificial lighting in irrigation systems on the development of soybean crops. In this study, we sought to carry out a bibliographic review on the physiological characteristics of soybean plants, the use of LED lamps and irrigation systems, since soybean cultivation is one of the main crops that stands out in the state of Paraná. And in this way, verify the advances that this technology can bring to the development of soybean plants.

Key Words: Agricultural pesticide. Desiccants. *Glycine max*.

INTRODUÇÃO

A cultura de soja (*Glycine max*) é uma das mais importantes do mundo, desempenhando um papel vital na segurança alimentar e na economia global. Seu valor como fonte de proteína vegetal e óleo torna uma cultura altamente cultivada em diversas regiões (COSTAMILAN *et al.*, 2012).

Para oferecer seu potencial produtivo, a cultura necessita de condições ideais de umidade. Assim, é vital o fornecimento de água em todos os estágios de desenvolvimento da soja, sendo os períodos da germinação-emergência e a floração-enchimento de grãos, os mais importantes (PERDIGÃO *et al.*, 2019). Uma das formas para fornecer a quantidade de água necessária para o desenvolvimento das plantas, é por meio dos sistemas de irrigação.





Cada estágio de desenvolvimento da cultura, desempenha um papel na geração de rendimento através de vários processos fisiológicos que determinam o rendimento final (PEDERSON; LICHT, 2014).

Sentelhas *et al.* (2017) descrevem que devido à sensibilidade da soja ao fotoperíodo, a adaptabilidade de cada cultivar é dependente da latitude. Portanto, cada cultivar tem-se uma faixa limitada em função do seu grupo de maturação, reduzindo de 9 a 5, conforme aumento da latitude, ou seja, a denominação dos grupos de maturação da soja está ligada ao fotoperíodo crítico de cada genótipo, em que, os grupos de maturação menores são cultivados em regiões de maior latitude, com um fotoperíodo crítico maior, enquanto, grupos de maturação maiores são utilizados em regiões de baixas latitudes e períodos críticos menores ou período juvenil mais longo, gerando as recomendações nas diferentes regiões do país.

Para melhorar o crescimento das plantas e a eficiência do uso da luz, regulando a luz ambiente, diodos emissores de luz (LEDs) têm sido usados gradualmente na produção de plantas internas. Este tipo de sistema de iluminação artificial destaca-se pelo seu alto desempenho, baixo consumo de energia, ampla faixa de comprimento de onda, baixas emissões de radiação térmica e apresentar tamanhos menores, facilitando o manejo e instalação (MUNEER *et al.*, 2014).

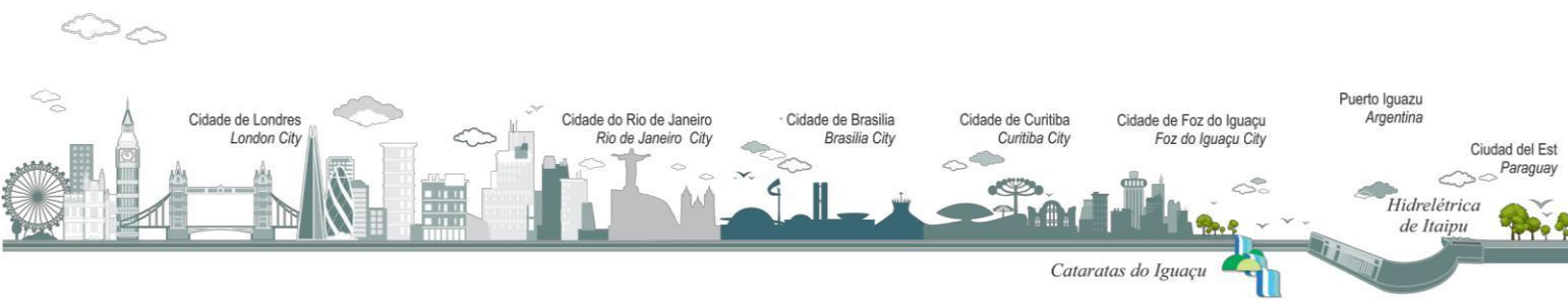
Dentre os espectros de luz do ambiente emitidos pelas lâmpadas de LEDs, pode-se destacar a luz azul, vermelha, verde e combinações. A influência na fisiologia das plantas promovidas por esses espectros de luz, varia de espécie para espécie, e podem refletir positivamente na produção final das culturas (LAZZARINI *et al.*, 2017).

Diante do exposto, foi objetivo do estudo verificar o uso da iluminação artificial com lâmpadas de LEDs, em sistemas de irrigação sobre o desenvolvimento da cultura de soja.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Cultura da soja

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais commodities do Brasil, com produção de 153,5 milhões de toneladas na safra de 2022/2023 e área plantada superior a 43 milhões de



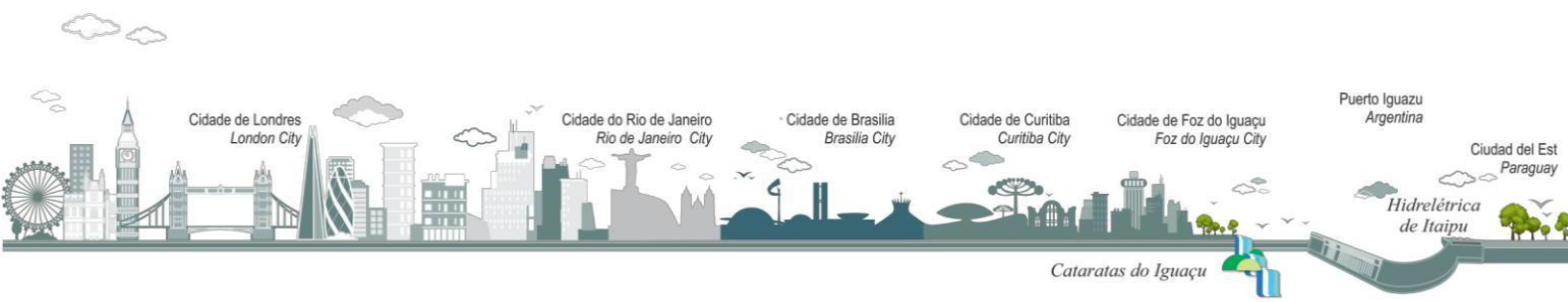


hectares. Atualmente, os principais estados produtores são: Mato Grosso, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul, com respectivas produções de 41,5; 17,4; 12,2 e 9,1 milhões de toneladas. Os produtos e subprodutos, como soja em grão, farelo e óleo, são de extrema importância econômica ao Brasil, tanto para consumo interno, avaliado em 47,8 milhões de toneladas de soja em grão para processamento, quanto para exportação, estimada em 96,6 milhões de toneladas, impulsionando o agronegócio e a economia (CONAB, 2022).

É uma leguminosa da família das fabáceas que vem sendo domesticada e melhorada ao longo do tempo. É considerada uma das culturas mais antigas e importantes, ocupando a quarta posição na produção e consumo mundial (FAO, 2021).

A soja é uma das cinco culturas mais importantes do mundo. Os números globais de importação e exportação de soja ultrapassaram todas as outras culturas importantes, como o trigo, o arroz e o milho, mesmo sem incluir o óleo de soja ou outros produtos processados (XIONG *et al.*, 2021). É amplamente utilizada na indústria alimentícia como uma rica fonte de proteínas de alta qualidade e óleo comestível (NIWIŃSKA *et al.*, 2020). A cultura pode ser cultivada em regiões tropicais, subtropicais e temperadas. Mas, grande parte da produção mundial é limitada pelos riscos climáticos, especialmente pelo estresse hídrico, devido ao aumento da variabilidade na temperatura do ar e na precipitação, à escassez de água e aos recursos hídricos agrícolas limitados (KUNERT *et al.*, 2016).

A produção eficiente começa na fase de crescimento vegetativo desde a emergência (VE) até o início da floração (R1). Nesta fase, formam-se órgãos que fornecem o mecanismo necessário para a produção de biomassa através da fotossíntese e da absorção e assimilação de nutrientes. O número de nós, que é um componente importante do rendimento, é determinado durante a fase de crescimento vegetativo. O número de sementes, que é o componente mais importante do rendimento da soja, é determinado no período seguinte, desde o início da floração (R1) até logo após o enchimento das sementes (R5 a R6). A terceira fase é o período de enchimento de sementes, desde o período inicial de enchimento lento de sementes (R5-R6), até o período de enchimento rápido de sementes (R6-R7), no qual o peso da semente é amplamente determinado (EGLI; CRAFTS-BRANDNER, 1996). Essas fases sobrepostas conferem à soja uma flexibilidade fenotípica significativa no rendimento final.





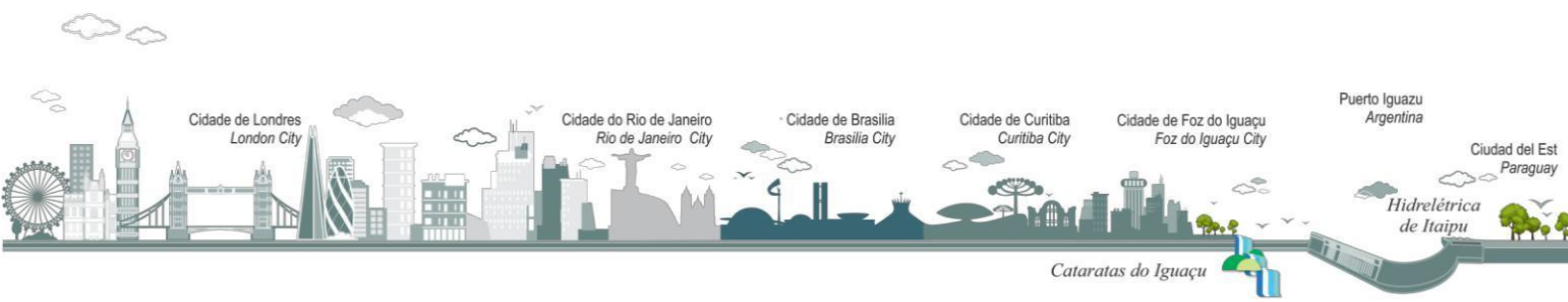
Fotoperíodo e fotossensibilidade da cultura da soja

A soja é uma cultura sensível ao fotoperíodo e essa característica possibilita a adaptabilidade dos seus genótipos (YANG *et al.*, 2019)

O ambiente também afeta a floração e, portanto, o ciclo. A floração da soja responde ao nictopério, duração da noite ou intervalo de tempo durante o qual a luz está disponível. O fotoperíodo é a duração do dia em que a cultura da soja é classificada como cultura de dias curtos, pois os dias longos atrasam a floração e prolongam o ciclo. Porém, ao utilizar a floração tardia em dias curtos, foi possível a adaptação fotoperiódica ao cultivo comercial. Esse foi um fator que rendeu ao Brasil o título de “soja tropicalizadora”, já que a cultura fica até abaixo da linha do Equador (FERREIRA, 2018).

O fotoperíodo está relacionado a diversos processos fisiológicos na planta da soja, que vão desde a formação da flor até a formação dos grãos, diferenciação meristemática, microsporogênese e desenvolvimento pós-floração. Por ser uma planta de dias curtos, a soja apresenta formação de flores precocemente quando a duração do dia diminui, levando à conversão prematura de folhas e caules em 15 estruturas reprodutivas, alterando o tamanho final da planta e reduzindo a área foliar. O índice e a presença de fotoassimilados interferem nos componentes do rendimento, como número de vagens por planta, grãos por vagem, massa de grãos e produtividade (FERREIRA, 2018).

Está comprovado que diferentes épocas de plantio têm efeitos na soja dependendo do fotoperíodo. Por exemplo, quando a semeadura é realizada em outubro, a floração ocorre com fotoperíodo aumentado porque o desenvolvimento vegetativo ocorre com fotoperíodo menor que o crítico (cerca de 13 horas), resultando em menor crescimento vegetativo. Nos cultivos de novembro, o desenvolvimento vegetativo ocorre durante um período mais longo do que o fotoperíodo crítico, em comparação com outubro. Nesse período, é alcançado o crescimento máximo da soja e o tempo entre a emergência e o início da floração aumenta, resultando em maior altura devido ao maior tempo de desenvolvimento. Subperíodo entre a emergência e o início da floração, daí maior acúmulo de fotoassimilados (BATTISTI, 2013).



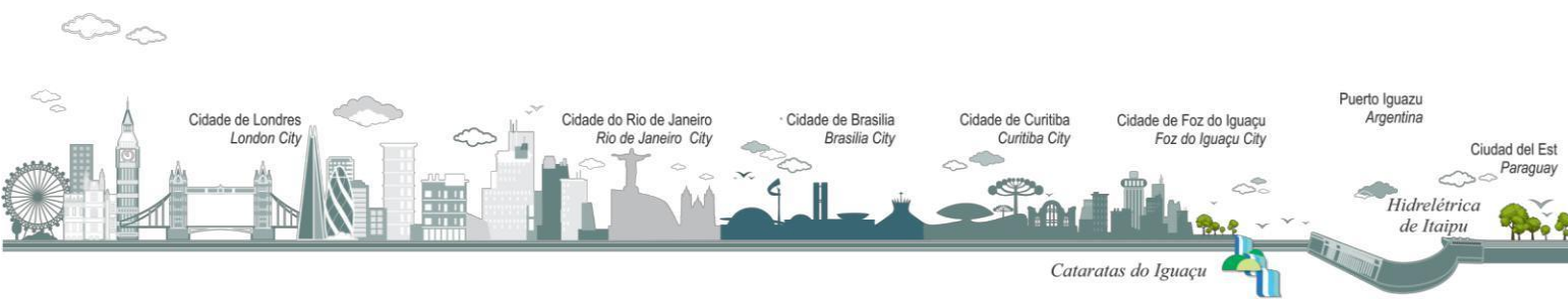


Número de horas de brilho solar na cultura da soja

O fotoperíodo (número de horas de luz por dia) na região do Sealba (Sergipe, Alagoas e Bahia) varia de 11,4 a 11,7 horas durante a fase vegetativa da cultura da soja (abril a setembro). Como a soja é uma planta de dias curtos (o florescimento é induzido com a redução do fotoperíodo), a indução ao florescimento é muito intensa nessa região, devido à época de semeadura ser realizada em período de dias curtos (PROCÓPIO *et al.*, 2022).

Ainda segundo os mesmos autores, Relative Maturity Group (GMR) é uma classificação de variedades de soja estabelecida nos Estados Unidos com base no período em dias entre a emergência e a maturidade. Recentemente, esse conceito foi atualizado e as variedades de soja passaram a ser agrupadas em 14 grupos de maturidade relativa (0000; 000; 00; 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10). O GMR 0000 representa variedades adaptadas a regiões onde os dias de verão são muito longos (como o Norte do Canadá), e o GMR 10 abrange variedades adaptadas a regiões tropicais onde o fotoperíodo é mais curto (perto de 12 horas de luz durante o período de crescimento). Cada um desses 14 GMRs pode ser dividido em decimais, por exemplo: GMR 8,1; GMR 8,2; GMR 8,3; etc. Cada aumento decimal no GMR representa um dia adicional no ciclo da variedade.

É importante ressaltar que o fotoperíodo durante o período vegetativo na colheita da soja na região do Sealba varia de 11,4 horas a 11,7 horas e essa região se diferencia das demais regiões produtoras de soja, com um período chuvoso ocorrendo no período de outono-inverno. Como a soja é uma cultura de dias curtos (floração em fotoperíodos mais curtos que o crítico), a indução de floração é muito intensa nesta região, portanto, é de fundamental importância, principalmente para variedades cujo crescimento apresentam um “longo período juvenil” (o período juvenil é o período do qual a planta não emerge até o início da indução fotoperiódica). Assim, a floração não ocorre numa época em que as plantas de soja apresentam poucos nós e ramos reprodutivos. Deve-se notar também que variedades com desenvolvimento incerto não demonstraram qualquer superioridade em termos de crescimento e produtividade em relação aos materiais com desenvolvimento estável nesta região até o momento (PROCÓPIO *et al.*, 2022).





Radiação solar fotossinteticamente ativa para a cultura da soja

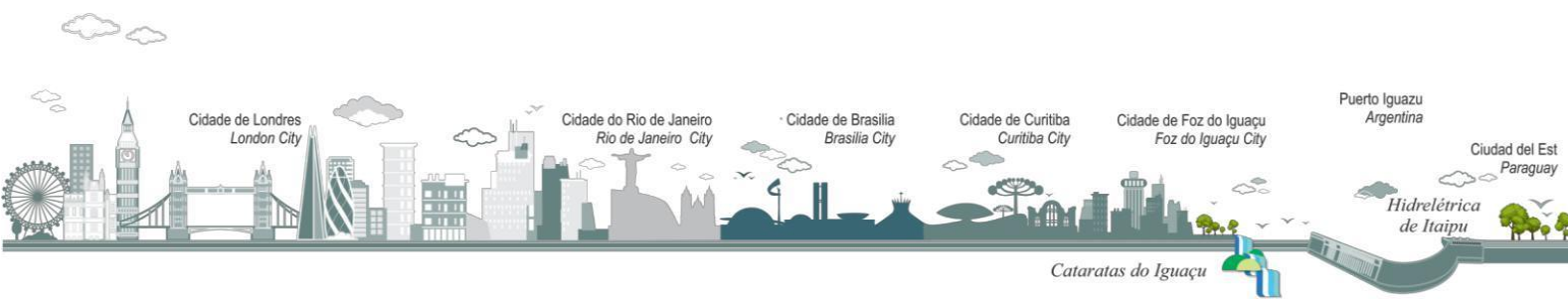
A radiação solar é uma fonte de energia essencial para a manutenção de qualquer espécie cultivada (EHRENBERGEROVÁ *et al.*, 2016), cujas interações com a vegetação criam um microclima que pode afetar a quantidade e a qualidade da energia disponível na copa e, portanto, os processos fisiológicos das plantas (HUNG *et al.*, 2016).

A radiação solar desempenha um papel fundamental no meio ambiente quando captada por uma cultura, e o balanço energético disponível está associado à produção de biomassa. A quantidade de radiação apresentada às plantas é função de diversos fatores, incluindo características fisiológicas e morfológicas como padrão de crescimento, ângulo e posição das folhas (PÉLLICO NETTO *et al.*, 2015).

O crescimento das plantas depende da matéria seca acumulada pela fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013). A absorção da radiação recebida pelas plantas depende do índice de área foliar (BEHLING *et al.*, 2015), ângulo do sol, geometria, tamanho, ângulo e distribuição das folhas, idade, arranjo da planta, época do ano, cobertura de nuvem, condições meteorológicas e práticas de gestão das culturas. Assim, uma abordagem quantitativa pode ser utilizada para determinar a relação entre a produção de biomassa e a radiação capturada. Essas informações podem ser úteis para analisar o crescimento das plantas, prever o crescimento e desenvolvimento e estimar o potencial de produção (CARON *et al.*, 2014).

Importância do período escuro para a cultura da soja

O carbono perdido através de processos "expiratórios" nas plantas pode ocorrer através de dois mecanismos: fotorrespiração e respiração escura/mitocondrial. Esses processos liberam CO₂, mas a respiração escura nas células vegetais ocorre independentemente da luz (BANTIS *et al.*, 2018). Bioquimicamente, a respiração escura é um processo anfóbico de várias etapas regulado enzimaticamente que produz ATP pela oxidação da glicose formada durante a fotossíntese. A glicose é inicialmente decomposta em piruvato durante a glicólise, este piruvato é oxidado para formar acetil-CoA e uma molécula de CO₂ é liberada. O acetil-CoA entra então no ciclo do ácido tricarbóxico (TCA), onde é oxidado a CO₂ e também produz redutores (dinucleotídeo de nicotinamida adenina: NADH; dihidroflavina-adenina dinucleotídeo: FADH₂) que passam pela cadeia de transporte de





elétrons mitocondrial (ETC). A oxidação dos redutores produz um gradiente de prótons através da membrana mitocondrial interna que impulsiona a síntese de ATP.

As altas temperaturas afetam a respiração escura nas plantas com um aumento exponencial (KANG *et al.*, 2016), o que pode se tornar prejudicial devido a danos irreversíveis ao mecanismo enzimático. Os modelos de previsão das alterações climáticas preveem que, para cada aumento de 1°C nas temperaturas médias globais, haverá uma diminuição de 3-20% no rendimento das culturas, como trigo, arroz, milho e soja, o que torna apropriado associar essa perda ao desperdício de carbono respiratório (NAZNIN *et al.*, 2019).

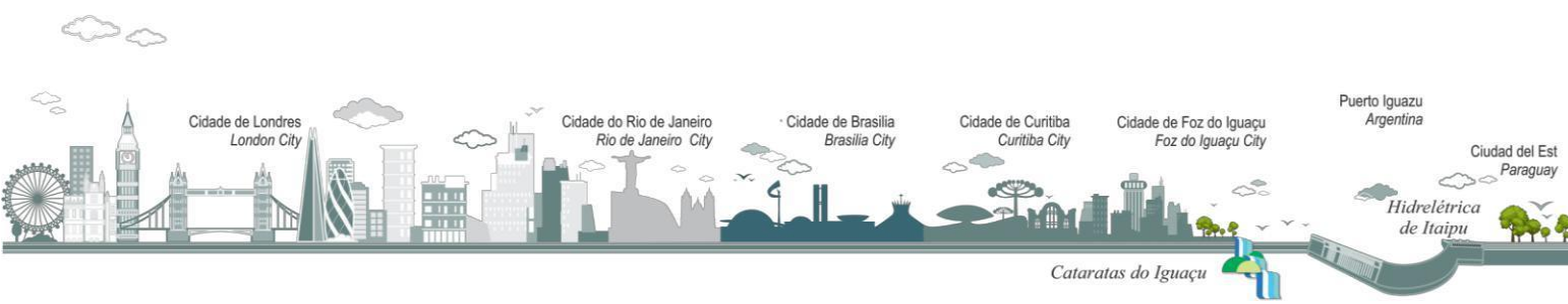
Iluminação artificial com LEDs no desenvolvimento das plantas

Os fatores mais importantes que afetam diretamente as taxas de crescimento e desenvolvimento de plantas cultivadas sob luz artificial, como os diodos emissores de luz (LEDs), são o ambiente luminoso, a concentração de CO₂ e a velocidade do ar (TIAN *et al.*, 2014). O ambiente luminoso é muito importante para o crescimento das plantas, pois fornece a energia e os sinais necessários para a fotossíntese (BAYAT *et al.*, 2018).

Entre o amplo espectro de luz fornecido pelos LEDs, os comprimentos de onda vermelho e azul são a combinação mais eficaz para o cultivo de plantas de interior, como a alface (BANTIS *et al.*, 2018).

Muitos estudos descobriram que a combinação de LEDs vermelhos e azuis promove eficazmente o crescimento e a eficiência do uso da luz em plantas de alface cultivadas sob luz artificial (BANTIS *et al.*, 2018; KANG *et al.*, 2016). A proporção de luz azul entre 5-20% tem sido associada como a proporção ideal para melhorar o crescimento, a eficiência de utilização da luz, as taxas fotossintéticas e da transpiração de alface produzidas em estufas de plantas (AHMED *et al.*, 2020; NAZNIN *et al.*, 2019).

Os fotoperíodos 16-20 hd⁻¹ foram relatados por Ahmed *et al.* (2020) como período ideal para alto desempenho e baixo consumo de energia nas estufas. Segundo Sago (2016), aumentar a intensidade de iluminação para 150 μmol m⁻² s⁻¹ aumentou o peso fresco e seco da parte aérea, a taxa de crescimento relativo e o número de folhas de uma planta de alface americana cultivada em uma estufa de plantas.





Kang *et al.* (2016) verificaram que a intensidade de iluminação de $290 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foi encontrada na maior altura da planta e nos maiores pesos fresco e seco das alfaces. Apesar dos resultados positivos dos esforços anteriores para melhorar o crescimento e a qualidade das plantas através da regulação da luz ambiente, o elevado consumo de eletricidade e a baixa eficiência na utilização da luz continuam a ser problemas nas estufas. Portanto, o controle ideal da concentração de CO_2 e da velocidade do ar deve ser considerado para melhorar o crescimento das plantas e o uso eficiente da luz.

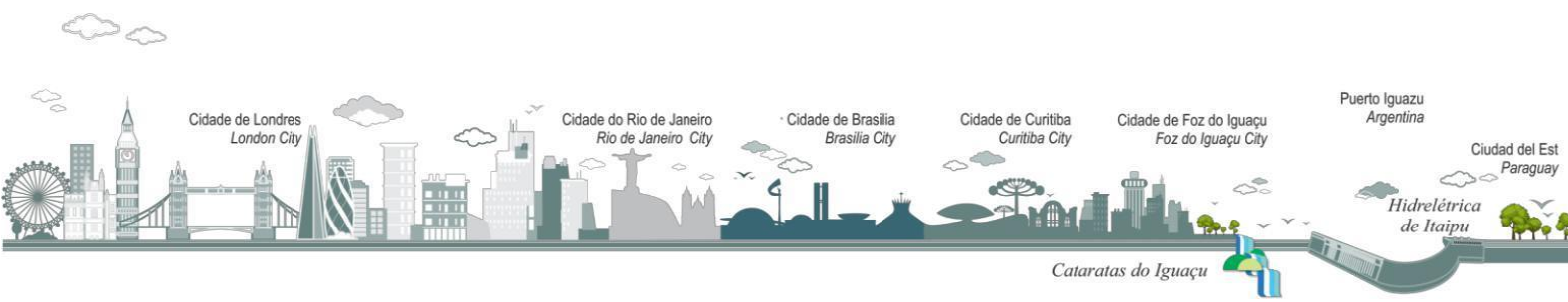
O ambiente luminoso interage significativamente com a velocidade do ar, particularmente a condutividade estomática, bem como o seu efeito combinado na fotossíntese e na transpiração (AHMED *et al.*, 2020). A velocidade do ar aumenta o crescimento das plantas, facilitando o transporte de água e nutrientes para as folhas das plantas durante a transpiração. Até o momento, faixas de velocidade do ar de $0,5$ a $0,7 \text{ ms}^{-1}$ foram identificadas como a faixa ideal para o crescimento de muitos vegetais folhosos produzidos em sistemas de cultivo interno (ZHANG *et al.*, 2016).

A concentração de CO_2 interage significativamente com a luz ambiente (PARK *et al.*, 2012) e a velocidade do ar, particularmente seus efeitos combinados no crescimento das plantas e nas taxas de troca gasosa. Assim, a velocidade ideal do ar pode melhorar a dispersão da concentração de CO_2 na copa da planta e reduzir a resistência da camada limite foliar, resultando num aumento na taxa fotossintética da copa (AHMED *et al.*, 2020).

Uso de led para o cultivo de plantas (*indoor* e *outdoor*)

A iluminação artificial utilizada na agricultura é a tecnologia que já é usada no cultivo de plantas que podem ser de formas diferentes como o cultivo interno (*indoor*) adicionando luz que aumenta as horas de luz que uma planta específica recebe todos os dias. A iluminação artificial pode ser empregada tanto em cultivos realizados em ambientes fechados, conhecidos como *indoor*, como em cultivos realizados em ambientes abertos. Em locais fechados, a presença da luz do sol é ausente, enquanto em locais abertos cultivo *outdoor*, é possível recorrer à iluminação artificial como complemento luminoso (TEIXEIRA *et al.*, 2022).

A aplicação de iluminação interna (*indoor*) com LEDs provoca um impacto favorável no processo de fotossíntese de plantas (FREITAS *et al.*, 2021).





A utilização apenas do espectro de luz vermelho, sem a inclusão do espectro azul, resulta em taxas fotossintéticas muito baixas, indicando assim um processo fotossintético com falhas, entretanto a combinação entre o vermelho, azul e o verde, traz os melhores resultados para o desenvolvimento das plantas com influência da intensidade de luz aplicada (FRANÇA *et al.*, 2022).

O cultivo *indoor* é realizado em um ambiente totalmente fechado, no qual os fatores que afetam o desenvolvimento das plantas são controlados. O ambiente tem a capacidade de operar independentemente das condições climáticas, permitindo a redução do uso de recursos naturais, como água ("Brota Company - Horta Inteligente", [s.d.]). A técnica do cultivo *indoor* pode ser utilizada tanto em grandes fazendas verticais como em sistemas domésticos e sem fins lucrativos, que se beneficiam de pequenas estufas (TEIXEIRA *et al.*, 2022).

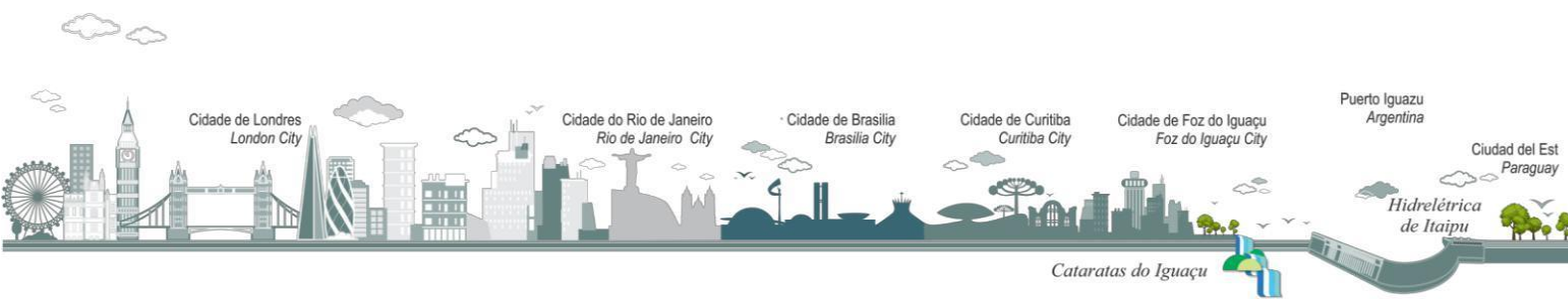
Principais grandezas luminotécnicas

A evolução da tecnologia em iluminação está intimamente ligada à transformação dos costumes e hábitos da sociedade. Com o decorrer do tempo, tornou-se imprescindível desenvolver técnicas ainda mais eficientes para a produção de luz, a fim de garantir que as atividades sejam realizadas com total segurança, conforto e precisão (REIS *et al.*, 2021).

O fluxo luminoso é a radiação total da fonte de luz entre os limites de comprimento de onda especificados (380 e 780nm). Fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida pela fonte em lúmens, medida na tensão nominal de operação (OSRAM, 2006).

O Lúmen (lm) é a unidade utilizada para medir o fluxo luminoso. A denominação "lúmen" deriva da discrepância na sensibilidade do olho humano aos diferentes comprimentos de onda. A definição de lúmen (lm) é o fluxo luminoso emitido de forma uniforme em todas as direções por um ponto focal, com uma intensidade de uma candela (cd), e avaliado de acordo com um ângulo sólido de um esterradiano (REIS *et al.*, 2021).

Se a fonte luminosa irradiasse a luz de maneira uniforme em todas as direções, o fluxo luminoso seria distribuído em uma forma esférica. Isso se torna quase impossível de acontecer, entretanto, é essencial que sejam medidos os lúmens emitidos em cada direção. A intensidade luminosa é representada por vetores nessa direção, em que o comprimento dos vetores corresponde à intensidade luminosa. Assim, trata-se do fluxo luminoso que é emitido em direção a um ponto específico (OSRAM, 2006).





A intensidade luminosa é o valor da energia radiante emitida por uma fonte de luz puntiforme em uma direção específica. Essa grandeza é medida em candela (cd) (REIS *et al.*, 2021).

A curva de distribuição luminosa (CDL) é a representação da intensidade luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada em um plano. Geralmente, as curvas são padronizadas referindo-se a 1000 lm para uniformizar os valores. Para realizar essa ação, é preciso realizar a multiplicação do valor encontrado na CDL com o fluxo luminoso da lâmpada específica e, em seguida, realizar a divisão do resultado por 1000lm. A curva de distribuição luminosa (CDL), representada pelo símbolo CDL e medida na unidade de candela (cd), é obtida traçando linhas que conectam as extremidades de todos os vetores originados da lâmpada em um plano transversal (OSRAM, 2006). Essa métrica avalia o sistema quanto ao nível de iluminação (MARCONI *et al.*, 2021).

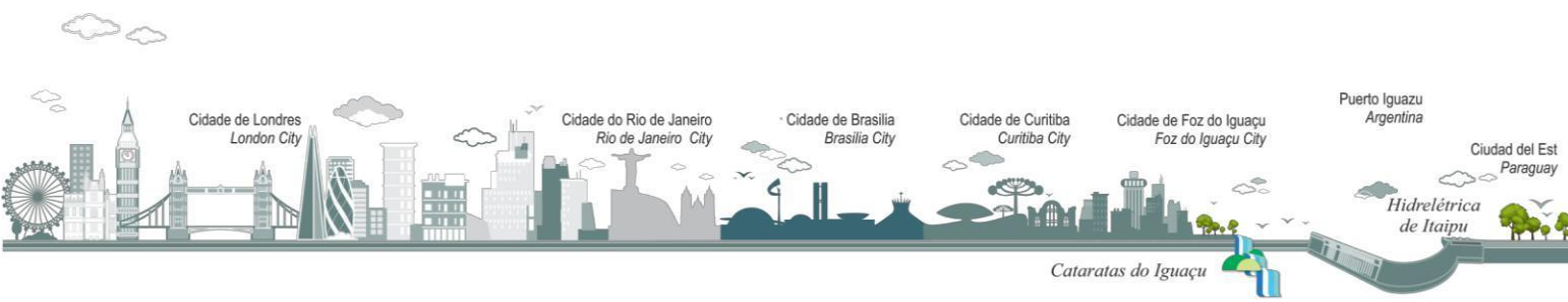
O Iluminamento, ou também conhecido como Iluminância, é a medida da luz emitida por uma lâmpada, relacionada à área sobre a qual ela incide. Essa grandiosidade luminotécnica engloba a quantidade de luz presente em determinado local. Em lux (lx), o lux expressa o fluxo luminoso que uma fonte de luz emite ao atingir uma superfície localizada a uma determinada distância dessa fonte (OSRAM, 2006).

A luminância é um termo que descreve o brilho de uma superfície, resultante da emissão ou reflexão da intensidade luminosa de uma candela por metro quadrado. Uma vez que o raio luminoso não é visível a menos que seja interceptado por um meio material, o propósito da luz é gerar luminosidade. Dessa forma, o olho é capaz de perceber o brilho, mas não consegue gerar a iluminação (REIS *et al.*, 2021).

Necessidade hídrica da cultura da soja

O sucesso do cultivo da soja depende de uma série de fatores agrônômicos, sendo o manejo hídrico um dos aspectos cruciais (COSTAMILAN *et al.*, 2012).

O êxito na produção de soja está diretamente ligado a diversos aspectos agrônômicos. O preparo correto do solo, escolha de cultivares adequadas, espaçamento e densidade de plantio, controle de práticas e doenças, e a aplicação balanceada de nutrientes são fundamentais, o fornecimento adequado de água é um dos aspectos mais críticos durante o desenvolvimento da cultura (CARAFFA *et al.*, 2019).





É importante gerenciar adequadamente a água nessas áreas para garantir uma produção saudável, a utilização de técnicas e manejo adequado de irrigação é uma alternativa para escassez hídrica (TESTEZLAF, 2015).

Irrigação na cultura da soja

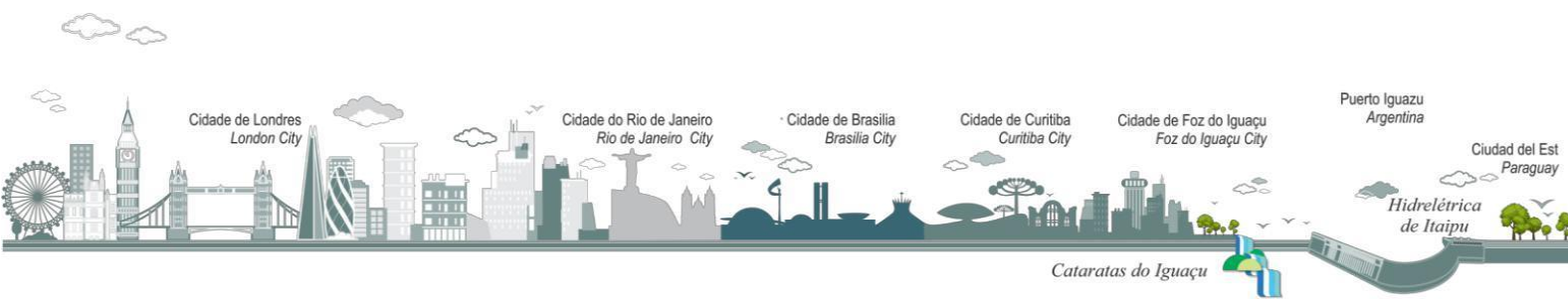
Dentre os principais métodos de irrigação podem ser incluídos: Irrigação por aspersão: Nesse método, a água é pulverizada sobre a cultura por meio de aspersores. É uma técnica eficaz para cobrir grandes áreas, mas pode resultar em desperdício de água devido à evaporação e ao arrasto pelo vento (TESTEZLAF, 2015). Ainda segundo o mesmo autor, a classificação dos aspersores pode variar de acordo com a pressão que atingem e o alcance do jato.

Irrigação por gotejamento: A água é aplicada diretamente no solo próximo às plantas por meio de gotejadores. Isso reduz significativamente o desperdício de água e permite uma aplicação precisa, economizando recursos hídricos. Irrigação por sulcos ou valetas: Os sulcos ou valetas são criados entre as fileiras de plantas, permitindo que a água flua diretamente ao longo das raízes. É uma técnica eficaz, mas pode resultar em maior perda de água por evaporação. Irrigação subterrânea: Envolve a instalação de tubos de agricultura estrutural, proporcionando uma distribuição uniforme da água diretamente na zona radicular das plantas (TESTEZLAF, 2015).

A escolha do método de supervisão dependerá das condições locais, dos recursos disponíveis e das preferências do agricultor. O importante é garantir que certa quantidade de água seja fornecida no momento correto, otimizando assim a produção de soja. Em resumo, o cultivo bem-sucedido da soja requer uma compreensão profunda dos aspectos agrônômicos, incluindo o manejo adequado da água. A escolha do método de supervisão e o monitoramento contínuo das necessidades hídricas ao longo do ciclo da cultura são determinantes para alcançar altos rendimentos e qualidade na produção de soja (TESTEZLAF, 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse estudo de revisão pode-se verificar, que ainda serão necessários maiores avanços tecnológicos no uso de lâmpadas de LEDs para outras culturas, como a soja.





Espera-se que, em próximos estudos, possa-se avaliar a relação do fotoperíodo de outras espécies de plantas, em termos de resposta fisiológica com o uso das lâmpadas de LEDs.

Outra questão importante a ser considerada, seria a avaliação do desempenho de sistemas de irrigação com e sem o uso de lâmpadas LEDs.

Considera-se por fim, que o uso das lâmpadas de LEDs para uso em sistemas de produção vegetal outdoor, necessita também, da avaliação do tempo de retorno de investimento desse sistema, quando comparado com os sistemas sem o uso de LEDs.

AGRADECIMENTO: Os autores agradecem a Universidade Estadual do Oeste do Paraná, ao Programa Engenharia de Energia na Agricultura (PPGA), ao Laboratório Multiusuário de Tecnologias Sustentáveis (LABTES) e a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela bolsa concedida, que é de fundamental importância para realização dos trabalhos.

REFERÊNCIAS

AHMED, H. A.; YU-XIN, T.; QI-CHANG, Y. Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review. **South African Journal Botany**, Países Baixos, v. 130, p. 75-89, 2020.

BANTIS, F. *et al.* Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). **Scientia Horticulturae**, Países Baixos, 235, 437–451, 2018.

BATTISTI, R. **Época de semeadura da cultura da soja com base no risco climático e na rentabilidade líquida para as principais regiões produtoras do Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

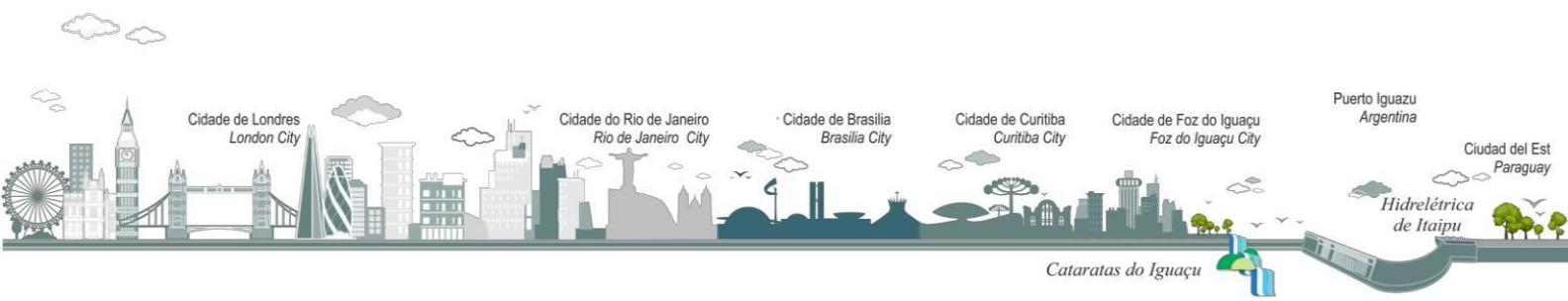
BAYAT, L. *et al.* Effects of growth under different light spectra on the subsequent high light tolerance in rose plants. **AoB Plants**, Reino Unido, v. 10, n. 5, p. ply052, 2018.

BEHLING, A. *et al.* Analysis of leaf area in black wattle throughout its plantation cycle. **African Journal of Agricultural Research**, Kenia, v. 10, n. 34, p. 3382-3386, 2015.

BROTA COMPANY. **Entenda como a Brota Company começou sua jornada e hoje está inovando no plantio**. Disponível em: <https://brotacompany.com.br/>. Acesso em: 31 out. 2023.

CARAFFA, M. *et al.* **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2018/2019 e 2019/2020**. Três de Maio-RS: Setrem, p. 105, 2019.

CARON, B. O. *et al.* Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 833-842, 2012.





CONAB. Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, v. 8, safra 2021/22, 3º levantamento**. Brasília: CONAB, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 31 Ago. 2023.

COSTAMILAN, L. M. *et al.* **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safra 2012/2013 e 2013/2014**. Passo fundo: Embrapa Trigo, 2012.

EGLI, D. B.; CRAFTS-BRANDNER, S. J. **Photoassimilate Distribution Plants and Crops Source-Sink Relationships**. New York: Routledge, 1996.

EHRENBERGEROVÁ, L. *et al.* Carbon stock in agroforestry coffee plantations with different shade trees in Villa Rica, Peru. **Agroforestry Systems**, Suíça, v. 90, n. 3, p. 433-445, 2016.

FAO. World Food and Agriculture - **Statistical Yearbook**. Rome. 2021.

FERREIRA, R. **Modelagem da produtividade de soja em função de variáveis meteorológicas no Centro-Sul do Paraná**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná, Guarapuava, 2018.

FRANÇA, M. T. A. *et al.* Efeitos provenientes da aplicação de iluminação LED em um modelo de plantio vertical para cultivo de alface crespa. **SciELO Preprints**, [s.l.], 2022. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.369>.

FREITAS, I. *et al.* The responses of photosynthesis, fruit yield and quality of mini-cucumber to LED-interlighting and grafting. **Horticultura Brasileira**, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 86-93, mar. 2021.

HUNG, T. T. *et al.* Predicting productivity of Acacia hybrid plantations for a range of climates and soils in Vietnam. **Forest Ecology and Management**, Holanda, v. 367, p. 97-111, 2016.

KANG, W. H. *et al.* Leaf photosynthetic rate, growth, and morphology of lettuce under different fractions of red, blue, and green light from light-emitting diodes (LEDs). **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, Coreia do Sul, v. 57, p. 573–579, 2016.

KUNERT, K. J.; VENCOVSKY, R.; CAMARGO, L. E. A. Genetic architecture of soybean agronomic traits. **Genetics and Molecular Biology**, Brazil, v. 39, n. 1, p. 68-76, 2016.

LAZZARINI, L. E. S. *et al.* Uso de diodos emissores de luz (LED) na fisiologia de plantas cultivadas – Revisão. **Scientia Agraria Paranaenses**, Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 2, p. 137-144, 2017.

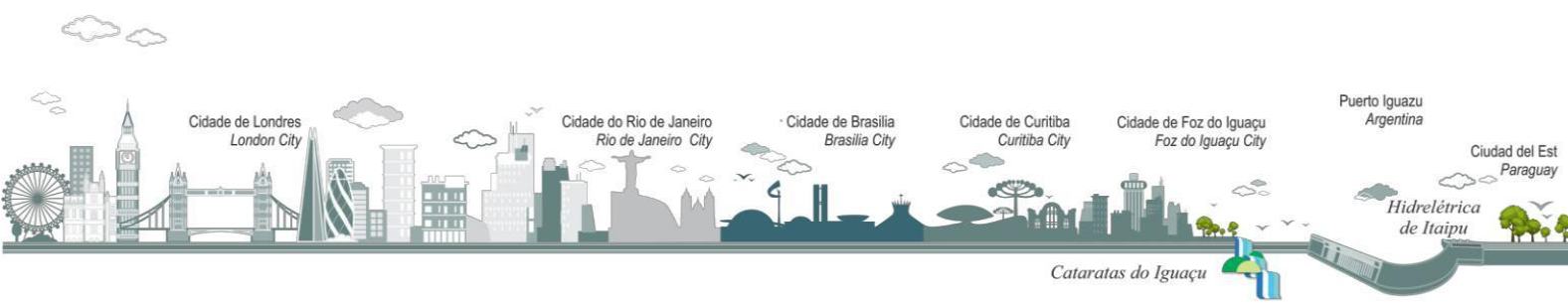
LEE, J. G. *et al.* Effects of air temperature and air flow rate control on the tipburn occurrence of leaf lettuce in a closed-type plant factory system. **Horticulture Environment Biotechnology**, Coreia do Sul, v. 54, p. 303-310, 2013.

MARCONI P. F.; MARQUES, J. C.; ALMEIDA, S. IDSIP – Proposta de indicador de desempenho em sistemas de iluminação pública. **Revista Ifes Ciência**, Espírito Santo, v. 7, n. 1, p. 01-12, 2021.

MUNEER, S. *et al.* Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 15, n. 3, p. 4657-4670, 2014.

NAZNIN, M. T. *et al.* Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. **Plants**, Suíça, v. 8, n. 93, p. 1-12, 2019.

NIWIŃSKA, B. *et al.* Seeds of n-GM soybean varieties cultivated in Poland and their processing products as high-protein feeds in cattle nutrition. **Agriculture**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 174, 2020.





OSRAM, **Manual Luminotécnico Prático**. 2006. [Online]. Disponível em:

<https://facnopar.com.br/conteudo-arquivos/arquivo-2019-08-28-15670309785134.pdf>. Acesso em: 15 Setembro 2023.

PARK, Y. G. *et al.* Light source and CO₂ concentration affect growth and anthocyanin content of lettuce under controlled environment. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, [S.l.], v. 53, p. 460–466, 2013.

PEDERSON, P.; LICHT, M. A. **Soybean Growth and Development, PM 1945**. Ames, IA: Iowa State University Extension and Outreach, 2014.

PÉLLICO NETTO, S. *et al.* Ground level photosynthetically active radiation dynamics in stands of *Acacia mearnsii* De Wild. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.l.], v. 87, n. 3, p. 1833-1845, 2015.

PROCÓPIO, S. O. *et al.* Recomendações técnicas para a produção de soja na região agrícola do Sealba. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, Aracaju, SE, ed. 1, p. 1-74, 2022.

REIS, O. A. D. O. *et al.* **Estudo luminotécnico de uma indústria de confecções**. Luminotechnical study of a clothing industry, v. 7, 2021.

SENTELHAS, P. C. *et al.* **Clima e produtividade da soja: variabilidade climática como fator controlador da produtividade**. In: Boletim de Pesquisa da Soja, p. 21-35, 2017.

TAIZ L, ZEIGER E. **Plant physiology**. Porto Alegre: Artmed; 2013.

XIONG, R. *et al.* Root system architecture, physiological and transcriptional traits of soybean (*Glycine max* L.) in response to water deficit: A review. **Physiologia Plantarum**, [S.L.], v. 172, n. 2, p. 405-418, 2021.

TEIXEIRA, M. D. L. *et al.* Suplementação luminosa aplicada ao cultivo de hortaliças. 1. 2022. In: PROCEEDINGS OF THE 14TH SEMINAR ON POWER ELECTRONICS AND CONTROL (SEPOC 2022). **Anais eletrônicos...** [S.l.], 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.53316/sepoc2022.005>. Acesso em: 31 Ago. 2023.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. 1. ed. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, 2017. 215p.

TIAN, L. *et al.* A Study on Crop Growth Environment Control System. **Internation Journal of Control and Automation**, v. 7, n. 9, p. 357–374, 2014.

VILELA, G. F. *et al.* **Cultivares de soja: macrorregiões 4 e 5 norte e nordeste do Brasil**. Londrina: EMBRAPA SOJA, 2016. 57p.

YANG, W. *et al.* Critical photoperiod measurement of soybean genotypes in different maturity groups. **Crop Science**, [S.l.], v. 59, n. 5, p. 2055-2061, 2019.

ZHANG, Y.; KACIRA, M.; AN, L. A CFD study on improving air flow uniformity in indoor plant factory system. **Biosystems Engineering**, London, v. 147, p. 193–205, 2016.

