ISSN: 2358-8829

ENSINO DE FÍSICA APLICADA ÀS CIÊNCIAS AGRÁRIAS: EFEITOS DA ILUMINAÇÃO LED NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE ALFACE

Thales Cerqueira Mendes [1]
Camila Carvalho Mota [2]
Raquel Cardoso da Mota [3]
Viviane Carvalho Mota [4]

INTRODUÇÃO

A olericultura ocupa posição de destaque na agricultura brasileira, tanto pela renda que gera em estabelecimentos de base familiar quanto pela importância nutricional de suas culturas. Entre as hortaliças folhosas, a alface (Lactuca sativa L.) é a mais consumida no País e a terceira hortaliça em volume de produção, movimentando, segundo estimativas do setor, cerca de R$ 8 bilhões por ano apenas no varejo, com produção superior a 1,5 milhão de toneladas anuais; o conjunto das folhosas — alface, repolho, couve e brócolis — envolve aproximadamente 1,5 milhão de produtores (ABCSEM, 2016).

A espécie reúne atributos que explicam essa expressão comercial: ciclo curto, arquitetura compacta, facilidade de cultivo, oferta ao longo de todo o ano e boa aceitação pelo consumidor. Do ponto de vista nutricional, é fonte de vitaminas do complexo B e de vitamina C, de pró-vitamina A e de minerais como cálcio, ferro e potássio, além de apresentar baixo valor calórico (FILGUEIRA, 2008). Tais características fazem da alface uma cultura estratégica para a segurança alimentar e para a geração de renda, sobretudo em sistemas de agricultura familiar e em cinturões verdes próximos aos grandes centros urbanos.

[1]Doutor em Ensino de Ciências, Instituto Federal Baiano, campus Senhor do Bonfim - BA, thales.mendes@ifbaiano.edu.br;
[2]Licencianda em Ciências Agrárias, Instituto Federal Baiano, campus Senhor do Bonfim - BA, camilacarvalho68@outlook.com;
[33]Licencianda em Ciências Agrárias, Instituto Federal Baiano, campus Senhor do Bonfim - BA, rachelmottacardoso28@hotmail.com;
[44]Licencianda em Ciências Agrárias, Instituto Federal Baiano, campus Senhor do Bonfim - BA, carvalhoviviane212@gmail.com;

ISSN: 2358-8829

A expressão do potencial produtivo dessa cultura, no entanto, depende da combinação de fatores ambientais, entre os quais a radiação solar exerce papel determinante. A luz sustenta a fotossíntese, que converte energia luminosa em energia química, e atua simultaneamente como sinal, informando à planta sobre a qualidade do ambiente e orientando respostas de crescimento e de desenvolvimento (TAIZ et al., 2017). Em cultivos protegidos, em estufas e em regiões ou estações marcadas por baixa insolação, a limitação luminosa se traduz em mudas menos vigorosas, ciclo mais longo e menor produtividade. A esse fator somam-se pressões contemporâneas — mudanças climáticas, escassez hídrica e exigência crescente por materiais tolerantes a estresses — que ampliam a demanda por tecnologias capazes de tornar a produção mais previsível e eficiente.

Do ponto de vista físico, a luz é radiação eletromagnética e pode ser descrita por seu comprimento de onda, sua frequência e pela energia transportada por seus fótons, a qual é inversamente proporcional ao comprimento de onda, conforme a relação $E = h \cdot c/\lambda$, em que h é a constante de Planck, c é a velocidade da luz no vácuo e λ é o comprimento de onda. A faixa compreendida entre 400 e 700 nm, denominada radiação fotossinteticamente ativa (RFA), corresponde à porção do espectro efetivamente aproveitada na fotossíntese. Dentro dela, as bandas do azul, entre aproximadamente 400 e 500 nm, e do vermelho, entre aproximadamente 600 e 700 nm, coincidem com os picos de absorção das clorofilas a e b e dos carotenoides, o que explica a centralidade dessas faixas no manejo da iluminação artificial.

Além de fonte energética, a luz funciona como informação ambiental. As plantas percebem comprimento de onda, intensidade, direção e duração da radiação por meio de fotorreceptores específicos — fitocromos, sensíveis às faixas do vermelho e do vermelho-distante; criptocromos e fototropinas, sensíveis ao azul e ao ultravioleta próximo — que desencadeiam respostas fotomorfogenéticas, isto é, mudanças de arquitetura, de expansão foliar e de alocação de biomassa (TERZAGHI; CASHMORE, 1995; CASHMORE et al., 1999). Compreender esse mecanismo é condição para que a suplementação luminosa seja utilizada de forma racional, e não apenas como acréscimo indiscriminado de luz.

Nesse cenário, a suplementação com diodos emissores de luz (LEDs) consolidou-se como alternativa técnica viável. Por emitirem espectros estreitos, permitirem a composição de misturas de comprimentos de onda e apresentarem elevada eficiência de conversão energética, os LEDs possibilitam prolongar o fotoperíodo, elevar a dose diária

ISSN: 2358-8829

de luz e ajustar a qualidade espectral ao interesse produtivo (THOMAS; VINCE-PRUE, 1997; CHEN et al., 2021). A manipulação do fotoperíodo, aliás, é um dos recursos clássicos da fisiologia vegetal: o comprimento do dia pode ser artificialmente prolongado ou reduzido para induzir a floração ou para manter o crescimento vegetativo, o que evidencia o alcance prático do controle da iluminação.

O problema investigado neste trabalho, contudo, não se restringe ao domínio agronômico. O estudo foi concebido no âmbito da disciplina de Física do curso de Licenciatura em Ciências Agrárias e parte da constatação de que, nesses cursos, os conteúdos de óptica tendem a ser tratados de forma abstrata, desvinculados dos problemas que os futuros professores enfrentarão em sua atuação profissional. A interdisciplinaridade, entendida como exigência epistemológica decorrente da fragmentação do saber e como projeto pedagógico deliberado, oferece o caminho para superar esse distanciamento (JAPIASSU, 1976; FAZENDA, 1994). As orientações curriculares vigentes reforçam essa direção ao defender a contextualização e a integração entre áreas do conhecimento na formação de professores (BRASIL, 2002; 2018). Ao converter um conceito de óptica em um problema agronômico real, a prática proposta busca dar sentido ao conteúdo físico e, ao mesmo tempo, produzir conhecimento aplicado sobre a produção de mudas.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos da suplementação luminosa com espectros vermelho e azul sobre o desenvolvimento inicial de mudas de alface e, de forma articulada, examinar o potencial dessa prática experimental como estratégia didática interdisciplinar na formação de licenciados em Ciências Agrárias.

METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como pesquisa experimental de abordagem quantitativa, com dupla finalidade: agronômica, ao avaliar respostas morfológicas de mudas de alface a diferentes qualidades espectrais de luz; e formativa, ao constituir-se como prática de ensino de Física no curso de Licenciatura em Ciências Agrárias. As duas dimensões não são justapostas, mas integradas, uma vez que o delineamento experimental foi construído, executado e interpretado como atividade curricular da disciplina de Física, envolvendo a

ISSN: 2358-8829

formulação de hipóteses, a definição de variáveis, a coleta sistemática de dados e o tratamento estatístico dos resultados.

O experimento foi instalado sobre bancada de cimento, em condição de exposição à radiação solar, de modo que o tratamento controle recebesse apenas luz natural. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e dezesseis repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Cada unidade experimental correspondeu a um tubete, considerado como uma parcela independente.

Como substrato, utilizou-se mistura de adubo orgânico e areia na proporção 1:1, homogeneizada previamente e distribuída de forma uniforme entre os tubetes, de modo a reduzir a variabilidade inicial entre as unidades experimentais. As sementes de alface foram semeadas diretamente nos tubetes e, imediatamente após a semeadura, realizou-se irrigação inicial destinada a assegurar a umidade necessária ao processo germinativo.

Os tratamentos foram definidos pela qualidade da luz incidente: (i) luz vermelha; (ii) luz azul; e (iii) luz natural, esta última como controle. Para evitar a interferência entre tratamentos, barreiras de isopor foram instaladas ao redor de cada conjunto de tubetes, isolando fisicamente os grupos e impedindo que a luz emitida por um tratamento alcançasse as unidades experimentais vizinhas. Nos tratamentos com luz artificial, utilizaram-se lâmpadas de LED com filtro espectral, posicionadas acima de cada conjunto de tubetes, mantidas acesas por quatro horas diárias, em complemento à radiação solar. Essa configuração buscou reproduzir a condição de suplementação luminosa e permitir a avaliação controlada do efeito de diferentes qualidades espectrais sobre o desenvolvimento das plantas.

Ao longo de todo o período experimental foram realizadas práticas regulares de manejo, com o objetivo de manter condições adequadas de desenvolvimento e de minimizar a influência de variáveis externas sobre os resultados. Essas práticas incluíram irrigação periódica, para manutenção da umidade do substrato; remoção manual de plantas espontâneas, para evitar competição por água, luz e nutrientes; e monitoramento constante da integridade estrutural dos tubetes, das barreiras de isolamento e do sistema de iluminação. A regularidade desses procedimentos foi essencial para assegurar a uniformidade do crescimento e a confiabilidade dos dados obtidos.

As avaliações foram iniciadas após o estabelecimento das plântulas e realizadas de forma periódica até o final do acompanhamento. Três variáveis morfológicas foram mensuradas: o comprimento da parte aérea, obtido com auxílio de régua graduada e

expresso em centímetros; o número de folhas, obtido por contagem direta; e o comprimento da raiz, medido com régua graduada e expresso em centímetros. Todos os registros foram feitos de maneira padronizada, em planilha própria, de modo a permitir a conferência e a análise estatística posterior.

O tratamento estatístico foi conduzido em duas etapas. Inicialmente, verificaram-se os pressupostos de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk, e de homogeneidade de variâncias, pelo teste de Levene. Uma vez atendidos esses pressupostos, aplicou-se a análise de variância a um fator (ANOVA) para comparação das médias dos três tratamentos, adotando-se nível de significância de 5%; nessa formulação, a hipótese nula estabelece a igualdade entre as médias dos tratamentos e a hipótese alternativa, a existência de ao menos uma diferença. Como a ANOVA não identifica quais grupos diferem entre si, empregou-se o teste de comparações múltiplas de Tukey. As análises foram realizadas no ambiente Jamovi, com conferência no software R.

Do ponto de vista ético, o estudo não envolveu seres humanos nem animais, razão pela qual dispensou apreciação por comitê de ética em pesquisa; o registro fotográfico do experimento foi realizado pelas próprias autoras, a quem pertence o direito de uso das imagens. As fotografias do experimento e os desdobramentos gráficos das análises estatísticas integram o banner de apresentação do trabalho, uma vez que o modelo do evento veda a inserção de tabelas, quadros e figuras no corpo do resumo expandido.

REFERENCIAL TEÓRICO

A luz como grandeza física e a resposta fotobiológica das plantas

A luz pode ser descrita como onda eletromagnética, caracterizada por comprimento de onda e frequência, e também como fluxo de fótons, cuja energia é dada por $E = h \cdot c/\lambda$. Dessa relação decorre um aspecto frequentemente negligenciado no ensino de óptica: fótons de menor comprimento de onda, como os da faixa do azul, transportam mais energia individualmente do que os do vermelho. A fotossíntese, contudo, responde ao número de fótons absorvidos e não à energia de cada fóton, o que explica por que o vermelho sustenta taxas fotossintéticas elevadas quando há disponibilidade suficiente de fótons. A absorção depende dos pigmentos dos cloroplastos: as clorofilas a e b apresentam picos na faixa do azul, em torno de 430 a 450 nm, e na do vermelho, em torno de 640 a 660 nm, enquanto os carotenoides ampliam a captação em outras regiões do espectro. A

ISSN: 2358-8829

faixa de 400 a 700 nm que reúne essas regiões constitui a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), base conceitual de qualquer sistema de iluminação artificial voltado à produção vegetal (TAIZ et al., 2017). Em termos aplicados, a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos e a dose diária de luz acumulada são as grandezas que permitem comparar sistemas de iluminação e dimensionar a suplementação.

Além de alimentar a fotossíntese, a luz orienta o desenvolvimento por meio da fotomorfogênese. Os fitocromos, sensíveis ao vermelho e ao vermelho-distante, informam à planta sobre a razão entre essas faixas e regulam o alongamento do caule, a expansão foliar e respostas de evitação de sombra; os criptocromos e as fototropinas respondem ao azul e ao ultravioleta próximo e medeiam a abertura estomática, o fototropismo, a inibição do alongamento e a modulação do relógio circadiano (TERZAGHI; CASHMORE, 1995; CASHMORE et al., 1999). O efeito de um espectro sobre a arquitetura da planta resulta, portanto, da interação entre esses sistemas receptores, e não de um comprimento de onda isolado.

Os LEDs ampliaram a capacidade de manipular essa interação, por emitirem bandas estreitas e permitirem composições espectrais ajustáveis. Chen et al. (2021), ao avaliarem diferentes proporções de vermelho e azul em alface, observaram que o menor número de folhas ocorreu sob azul puro, enquanto os maiores valores foram obtidos em composições com 70% a 90% de vermelho, sem diferença significativa entre elas; os autores também reportaram efeito da composição espectral sobre a eficiência de uso da energia e o conteúdo nutricional da cultura. Li et al. (2021) verificaram que a substituição parcial do azul e do vermelho por verde alterou a morfologia e as trocas gasosas das plantas. Para a produção de mudas, esses achados convergem em uma indicação prática: o vermelho tende a favorecer a expansão foliar e o acúmulo de biomassa, enquanto o azul, relevante para a abertura estomática e o fototropismo, é pouco eficiente como fonte exclusiva. Tal convergência, porém, foi construída em ambientes totalmente controlados, com fotoperíodos longos e irradiâncias elevadas; a transposição para a suplementação de curta duração sob radiação solar permanece uma lacuna, e é nesse espaço que o presente estudo se posiciona.

Interdisciplinaridade e o ensino de Física nas ciências agrárias

A formação de professores para as ciências agrárias defronta-se com um problema recorrente: conteúdos de física são apresentados em sua formulação abstrata, sem

articulação com os processos que definem a área de atuação do licenciando. A interdisciplinaridade, nesse contexto, não se reduz a uma técnica de ensino, mas responde a uma exigência epistemológica, uma vez que a divisão do saber em disciplinas estanques é resultado de uma construção histórica e não da natureza dos fenômenos (JAPIASSU, 1976). Assumida como projeto pedagógico, ela implica a construção deliberada de pontes entre campos, com objetivos de aprendizagem compartilhados e não apenas justapostos (FAZENDA, 1994). As orientações curriculares brasileiras incorporaram essa perspectiva: os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio propõem a organização dos conteúdos em torno de competências e defendem a contextualização e a interdisciplinaridade como princípios articuladores da área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (BRASIL, 2002), orientação reafirmada pela Base Nacional Comum Curricular ao valorizar a aplicação do conhecimento científico na resolução de problemas concretos (BRASIL, 2018). Em cursos de licenciatura, tais princípios ganham dupla relevância, pois o modo como o futuro professor aprende tende a reproduzir-se no modo como ensina.

A experimentação ocupa lugar central nesse processo. Ao participar de todas as etapas de um experimento — definição do problema, formulação de hipóteses, escolha de variáveis, coleta de dados, análise estatística e interpretação —, o licenciando vivencia a ciência como prática e não como produto acabado. A prática aqui relatada explora essa possibilidade ao tomar a composição espectral da luz como variável independente de um experimento agronômico, cujo efeito é medido em variáveis biológicas de crescimento. A física deixa, assim, de ser conteúdo a ser memorizado e passa a ser instrumento de leitura de um problema real, o que constitui precisamente o tipo de integração entre ensino e pesquisa que se espera promover na formação docente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise foi iniciada pela verificação dos pressupostos estatísticos, etapa necessária para a escolha do teste adequado. O teste de Shapiro-Wilk indicou ausência de violação do pressuposto de normalidade para as três condições avaliadas: luz vermelha ($W = 0,891$; $p = 0,057$), luz azul ($W = 0,977$; $p = 0,936$) e luz natural ($W = 0,918$; $p = 0,158$). Como todos os valores de p foram superiores a 0,05, não se rejeitou a hipótese de normalidade da distribuição dos resíduos em nenhum dos grupos.

ISSN: 2358-8829

Verificada a normalidade, procedeu-se ao teste de Levene para avaliação da homogeneidade de variâncias. O resultado ($F = 3,09$; $gl1 = 2$; $gl2 = 45$; $p = 0,055$) situou-se acima do nível de significância adotado, indicando variâncias homogêneas entre os tratamentos e, portanto, atendendo ao segundo pressuposto da análise de variância. Cumpridas ambas as condições, aplicou-se a ANOVA a um fator, adequada ao caso de uma variável dependente quantitativa — o comprimento da parte aérea — comparada entre três grupos independentes e não pareados.

A ANOVA revelou efeito significativo dos tratamentos sobre o comprimento da parte aérea ($F = 6,59$; $gl1 = 2$; $gl2 = 45$; $p = 0,003$). Com p inferior a 0,05, rejeitou-se a hipótese nula de igualdade entre as médias, podendo-se afirmar, com 95% de confiança, que ao menos um dos tratamentos produziu resposta distinta dos demais. A ordenação das médias seguiu a sequência luz vermelha, luz azul e luz natural, do maior para o menor valor.

Como a ANOVA não identifica a origem da diferença, recorreu-se ao teste de Tukey. O desdobramento mostrou diferença significativa entre luz vermelha e luz natural ($p = 0,002$), mas não entre luz vermelha e luz azul ($p = 0,247$) nem entre luz azul e luz natural ($p = 0,123$). Esse é o resultado central do estudo e exige interpretação cuidadosa: a superioridade do espectro vermelho está estatisticamente demonstrada em relação à condição de luz natural, porém não em relação ao espectro azul. Em outros termos, os dados sustentam que a suplementação artificial com vermelho promoveu crescimento superior ao observado sob luz natural, mas não permitem afirmar que o vermelho seja superior ao azul.

As variáveis número de folhas e comprimento de raiz foram analisadas de forma descritiva, sem teste inferencial, em razão do escopo e das condições de condução do experimento. Os valores acompanharam a mesma tendência observada para o comprimento da parte aérea: maiores médias sob luz vermelha, valores intermediários sob luz azul e menores médias sob luz natural. O comportamento do sistema radicular merece registro: embora o comprimento de raiz tenha sido inferior sob luz natural, a diferença entre azul e natural para essa variável foi a mais discreta entre as observadas, o que é coerente com o papel do azul na regulação de respostas de enraizamento e de exploração do substrato. Tais observações, por não terem sido submetidas a teste estatístico, devem ser lidas como indicativas e não como evidência conclusiva.

ISSN: 2358-8829

A superioridade da luz vermelha em relação à luz natural admite explicação consistente com a fisiologia vegetal. A faixa do vermelho coincide com um dos picos de absorção das clorofilas e com a região de maior eficiência quântica da fotossíntese, de modo que o acréscimo de fótons nessa banda eleva a assimilação de carbono e, consequentemente, o acúmulo de biomassa. Além disso, a luz vermelha atua sobre os fitocromos, cuja forma ativa regula a expansão foliar e o alongamento celular; o estímulo a essa via tende a produzir plantas com maior área de captação de luz, o que retroalimenta a própria assimilação. Chen et al. (2021) observaram que as maiores contagens de folhas em alface ocorreram justamente em composições com predomínio de vermelho, achado convergente com a tendência registrada neste experimento.

O desempenho intermediário da luz azul também encontra respaldo na literatura. Os criptocromos, ao mediarem respostas ao azul, tendem a inibir o alongamento do caule e a restringir a expansão foliar quando essa é a única banda disponível. Chen et al. (2021) registraram o menor número de folhas exatamente sob azul puro, o que é coerente com o comportamento observado neste estudo, em que as plantas sob azul superaram numericamente as de luz natural, mas sem alcançar as de luz vermelha e sem diferença estatística em relação a qualquer dos extremos. É plausível, ainda, que o azul tenha contribuído para a manutenção da funcionalidade estomática e para a qualidade óptica dos tecidos, benefícios que não se convertem necessariamente em maior crescimento longitudinal no curto prazo.

A condição de luz natural, por sua vez, apresentou o menor desempenho. É importante distinguir duas explicações possíveis, que os dados disponíveis não permitem separar completamente. A primeira é de natureza espectral: a composição da radiação solar, embora ampla, não é a mais eficiente para o crescimento em condições de baixa disponibilidade. A segunda é de natureza quantitativa: os tratamentos artificiais receberam quatro horas diárias de luz adicional, o que implica dose diária de luz superior à do controle. Como a irradiância não foi quantificada por meio de sensores, não é possível atribuir com segurança o efeito observado exclusivamente à qualidade espectral, uma vez que quantidade e qualidade variam simultaneamente entre os tratamentos. Essa é a principal limitação metodológica do estudo e deve orientar sua interpretação.

Cabe considerar, ainda, a magnitude da suplementação empregada. Protocolos descritos na literatura para alface frequentemente adotam fotoperíodos de 16 horas e irradiâncias entre 150 e 300 micromol de fótons por metro quadrado por segundo em

ISSN: 2358-8829

sistemas totalmente fechados. A suplementação de quatro horas diárias, em complemento à radiação solar, corresponde a uma dose substancialmente menor, o que ajuda a explicar a moderação das diferenças observadas e sugere que respostas de maior magnitude podem exigir doses mais elevadas. Essa constatação tem implicação prática direta: a definição da dose é tão importante quanto a escolha do espectro, sobretudo quando se considera o custo energético da suplementação.

Do ponto de vista formativo, os resultados oferecem um desdobramento que merece destaque. A constatação de que a diferença entre vermelho e azul não foi significativa, ainda que a média do vermelho tenha sido superior, constitui um aprendizado relevante para licenciandos: a ordenação de médias não equivale a evidência de diferença, e a inferência estatística opera com margens de incerteza que precisam ser comunicadas com precisão. Trabalhar essa distinção em uma situação experimental concreta é mais eficaz do que abordá-la de forma abstrata, pois o estudante se vê diante da necessidade de decidir o que os seus próprios dados autorizam afirmar. A prática, assim, cumpriu uma função que transcende a obtenção de um resultado agronômico: ensinou a interpretar resultados não significativos sem convertê-los em conclusões indevidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo avaliou os efeitos da suplementação luminosa com espectros vermelho e azul sobre o desenvolvimento inicial de mudas de alface, articulando finalidade agronômica e finalidade formativa. Os resultados permitem concluir que a suplementação com luz vermelha promoveu crescimento significativamente superior ao observado sob luz natural, tanto para o comprimento da parte aérea quanto, de forma descritiva, para o número de folhas e o comprimento das raízes, enquanto a luz azul produziu resposta intermediária, numericamente superior à natural, porém sem diferença estatística em relação aos demais tratamentos. A leitura conjunta indica que o espectro vermelho constitui a fração mais promissora da suplementação em condições de baixa disponibilidade de luz natural, o que é coerente com a fisiologia da cultura, pois essa faixa coincide com a região de maior eficiência fotossintética e com o estímulo à expansão foliar mediado pelos fitocromos. O azul, isoladamente, não se mostrou suficiente para

sustentar ganhos equivalentes, o que reforça a necessidade de compor espectros em vez de privilegiar uma única banda.

Do ponto de vista metodológico, o delineamento não permitiu separar o efeito da qualidade espectral do efeito da quantidade de luz, uma vez que os tratamentos artificiais receberam dose diária superior à do controle e a irradiância não foi mensurada. Estudos futuros devem equalizar a dose diária de luz entre tratamentos e quantificar a densidade de fluxo de fótons, de modo a isolar a variável espectral; recomenda-se, ainda, avaliar misturas de vermelho e azul em diferentes proporções, incluir maior número de cultivares, mensurar massa seca e área foliar por métodos destrutivos, acompanhar o ciclo por período mais longo e analisar o consumo energético de cada protocolo, para que a recomendação técnica considere simultaneamente eficácia biológica e viabilidade econômica.

No plano da formação docente, a experiência cumpriu o propósito de materializar a teoria física em um problema agronômico real, permitindo percorrer integralmente o ciclo da investigação científica, da formulação de hipóteses ao tratamento estatístico dos dados, e evidenciando que a interpretação de resultados não significativos é parte constitutiva do raciocínio científico. A convergência entre investigação científica, tecnologia aplicada e formação docente indica, assim, um caminho produtivo para aproximar a universidade das demandas concretas da agricultura brasileira.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS (ABCSEM). **Levantamento de dados socioeconômicos da cadeia produtiva de hortaliças no Brasil.** 2016. Disponível em: https://abcsem.com.br/informacoes-do-setor/dados-do-setor. Acesso em: 29 out. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Brasília, DF: MEC/SEMTEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular.** Brasília, DF: MEC, 2018.

CASHMORE, A. R.; JARILLO, J. A.; WU, Y.-J.; LIU, D. **Cryptochromes: blue light receptors for plants and animals.** Science, Washington, v. 284, n. 5415, p. 760-765, 1999.

CHEN, X.-L.; LI, Y.-L.; WANG, L.-C.; GUO, W.-Z. **Red and blue wavelengths affect the morphology, energy use efficiency and nutritional content of lettuce (Lactuca sativa L.).** Scientific Reports, London, v. 11, art. 8374, 2021.

FAZENDA, I. C. A. **Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa.** Campinas: Papirus, 1994.

FILGUEIRA, F. A. A. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2008.

JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e patologia do saber.** Rio de Janeiro: Imago, 1976.

LI, L.; TONG, Y.-X.; LU, J.-L.; LI, Y.-M.; LIU, X.; CHENG, R.-F. **Morphology, photosynthetic traits, and nutritional quality of lettuce plants as affected by green light substituting proportion of blue and red light.** Frontiers in Plant Science, Lausanne, v. 12, art. 627311, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TERZAGHI, W. B.; CASHMORE, A. R. **Light-regulated transcription.** Annual Review of Plant Biology, Palo Alto, v. 46, p. 445-474, 1995.

THOMAS, B.; VINCE-PRUE, D. **Photoperiodism in plants.** 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997.