



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CECA
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



LAYSA MIRELLY RAMALHO DA SILVA

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM
SISTEMA AGROFOTOVOLTAICO EM ALAGOAS**

RIO LARGO, AL

2025

LAYSA MIRELLY RAMALHO DA SILVA

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM
SISTEMA AGROFOTOVOLTAICO EM ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Agronomia do
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias -
CECA da Universidade Federal de Alagoas -
UFAL, como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Araujo Ferreira
Junior

Rio Largo
2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 – 1512

S586a Silva, Laysa Mirelly Ramalho da.

Análise do crescimento da cultura da cana-de-açúcar em sistema agrofotovoltaico em Alagoas. / Laysa Mirelly Ramalho da Silva. – 2025.

34 f.: il.

Orientador: Ricardo Araújo Ferreira Júnior.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Índice de área foliar. 2. Radiação solar. 3. Condições microclimáticas. I. Título.

CDU: 633.61(813.5)

Folha de Aprovação

LAYSA MIRELLY RAMALHO DA SILVA

ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UM
SISTEMA AGROFOTOVOLTAICO EM ALAGOAS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
banca examinadora do curso de Agronomia da
Universidade Federal de Alagoas e aprovada em
08 (dia) de outubro (mês) de 2025 (ano).

Orientador- Prof. Dr. Ricardo Araujo Ferreira Junior

Banca examinadora:

(Examinador(a) Externo(a) 1 -
Prof. MSc., José Wanderson Silva dos Santos, UFAL - CECA

(Examinador(a) Externo(a) 2 - Prof. Ma., Jéssica Mota Pimenta)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus e à Imaculada Conceição, pela sabedoria, força e inspiração que me capacitaram a concluir este trabalho.

Aos meus pais, Flavia Ramalho da Silva e Israel Lopes da Silva, pelo amor incondicional, pelas orações constantes e pelo incentivo em todos os momentos. Ao meu irmão, Kelvy Emanuel Ramalho da Silva, pela amizade, companheirismo e auxílio ao longo da minha vida e durante a graduação. Aos demais familiares, pelo apoio e pelo estímulo ao meu crescimento pessoal e acadêmico.

Ao meu orientador, Dr. Ricardo Araújo Ferreira Junior, pela dedicação, pelas críticas construtivas, paciência e incentivo, que foram fundamentais para a continuidade e conclusão desta jornada.

À Universidade Federal de Alagoas (UFAL), ao Centro de Ciências Agrárias (CECA) e ao Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA), pela infraestrutura, equipamentos e pelo apoio dos professores e funcionários que contribuíram de forma essencial à minha formação. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), pela concessão da bolsa que possibilitou a realização deste trabalho.

Aos professores do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia: Iêdo Teodoro, Marcos Alex, Guilherme Lyra, Alexsandro Almeida, pelos ensinamentos e incentivos ao longo do curso. Ao corpo docente do CECA/UFAL, por sua valiosa contribuição na minha formação acadêmica e profissional.

Aos amigos do Laboratório: José Wanderson, Jéssica Pimenta, Maria Fernanda, Tiago Amaral, Thiago Cirilo, José Antonio, Marcelo Tertuliano, Marcos Feitosa, Gustavo Santos, Francisco Bento, Hanyson dos Santos, Denílson Boia, João Guilherme, Samuel Lopes, Leticia Silva, Kayky Victor, Maria Emily. Pela amizade, pelo companheirismo, pelas trocas de experiências e por todos os momentos de aprendizado e descontração.

Aos colegas de turma e aos amigos: Josefa Marcia, Wedja Barbosa, Artur dos Santos, Erick Marques, Laura Borlhões, pela amizade construída e por todos os momentos compartilhados, tanto os felizes quanto os desafiadores.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para a concretização desta etapa decisiva em minha vida.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar o crescimento da cana-de-açúcar, os balanços de radiação e hídrico, bem como comparar as condições microclimáticas entre o sistema modificado e o sistema convencional, com ênfase nas variáveis de radiação e umidade do solo. Para isso, foram realizadas uma vez ao mês as medições biométricas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, comparando o ambiente SAF com sistema convencional de referência (REF). O experimento foi conduzido na área de cultivo comercial da Usina Santa Clotilde, localizada no município de Rio Largo, Alagoas. Os valores de Radiação Solar Global (R_g) e Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) para ambos os ambientes foram estimados com base nos dados de sensores instalados no campo de cultivo e na Estação Agrometeorológica do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). O sistema agrofotovoltaico (SAF) apresentou Índice de Área Foliar (IAF) máximo de $2,62 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e altura média das plantas de 3,14 m, superiores ao sistema convencional (REF). A interceptação luminosa variou entre 6,58 e 14,22 no SAF e 28,68 no REF. No SAF, a radiação incidente é variável no tempo e no espaço devido ao sombreamento dinâmico dos painéis fotovoltaicos. As variáveis de radiação (R_g , PAR e PAR interceptada) mostraram diferenças significativas entre os sistemas, evidenciando influência direta do SAF sobre a absorção de energia radiante e o microclima. O SAF apresentou menores temperaturas foliares e maior estabilidade na umidade do solo, mesmo sob padrões semelhantes de precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET_0), indicando melhor conservação hídrica e ambiente mais favorável ao desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Índice de área foliar, radiação solar, condições microclimáticas.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze sugarcane growth, radiation and water balances, and to compare microclimatic conditions between the modified system and the conventional system, with emphasis on radiation and soil moisture variables. To this end, biometric measurements were taken monthly throughout the crop development cycle, comparing the agroforestry system (AFS) environment with a conventional reference system (CRS). The experiment was conducted in the commercial cultivation area of the Santa Clotilde Sugar Mill, located in the municipality of Rio Largo, Alagoas. Global Solar Radiation (R_g) and Photosynthetically Active Radiation (PAR) values for both environments were estimated based on data from sensors installed in the cultivation field and at the Agrometeorological Station of the Campus of Engineering and Agricultural Sciences (CECA) of the Federal University of Alagoas (UFAL). The agrophotovoltaic system (AFS) presented a maximum Leaf Area Index (LAI) of $2.62 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ and an average plant height of 3.14 m, superior to the conventional system (CFS). Light interception varied between 6.58 and 14.22 in the AFS and 28.68 in the CFS. In the AFS, incident radiation is variable in time and space due to the dynamic shading of the photovoltaic panels. Radiation variables (R_g , PAR, and intercepted PAR) showed significant differences between the systems, evidencing a direct influence of the AFS on radiant energy absorption and microclimate. The AFS presented lower leaf temperatures and greater stability in soil moisture, even under similar precipitation (P) and reference evapotranspiration (ET_0) patterns, indicating better water conservation and a more favorable environment for sugarcane development.

Keywords: leaf area index, solar radiation, microclimatic conditions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área experimental.	20
Figura 2: Vista aérea do sistema agrofotovoltaico instalado em Rio Largo, AL.....	21
Figura 3: Coleta dos dados na área experimental da altura (A), comprimento (B), largura(C).	22
Figura 4: Temperatura mínima, média e máxima do ar em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 de mês de setembro a 31 de mês de agosto, na região de Rio Largo, AL.	27
Figura 5: Índice de área foliar (IAF) no cultivo da cana-de-açúcar em dois ambientes de cultivos: sistema agrofotovoltaico - SAF(A) e sistema de referência - REF (B), em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 de mês de setembro a 31 de agosto.....	28
Figura 6: Altura do dossel da cana-de-açúcar em regime sequeiro em dois sistemas: agrofotovoltaico (SAF, A) e referência (REF, B), em função dos dias após o corte (DAC), de 1º de setembro a 31 de agosto, em Rio Largo, AL.	29
Figura 7: Temperatura foliar (t_c) média para a cultura da cana-de-açúcar em dois ambientes, sistema agrofotovoltaico – SAF e sistema de referência - REF), em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 de mês de setembro a 31 de mês de agosto, na região de Rio Largo, AL.	30
Figura 8: Radiação solar global (R_g), Frações da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), Frações da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (PAR interceptada) em dois ambientes: sistema agrofotovoltaico - SAF(A) e sistema de referência - REF(B), em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 do mês de setembro a 31 do mês de agosto, na região de Rio Largo, AL.	31
Figura 9: Variação da precipitação (P), evapotranspiração de referência (ET_0), em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 de mês de setembro a 31 de mês de agosto, na região de Rio Largo, AL.	33
Figura 10: Umidade do solo para ambos as áreas de manejo, sistema agrofotovoltaico - SAF e sistema de referência – REF, em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 de mês de setembro a 31 de mês de agosto, na região de Rio Largo, AL.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FV -	Sistema fotovoltaico
SAF -	Sistema agrofotovoltaico
AF -	Área foliar
C -	Comprimento da folha
L -	Largura da folha
IAF -	Índice de área foliar
NPML -	Número de plantas por metro linear
AS -	Área ocupada pelas plantas
I_t -	Intensidade do feixe transmitido
I_o -	Intensidade do feixe incidente
K -	Coefficiente de extinção de luz da cana-de-açúcar
GD -	Graus-dia
T_x -	Temperatura do ar máxima
T_n -	Temperatura do ar mínima
T_b -	Temperatura basal
$R_{g\text{ SAF}}$ -	Radiação solar global para o sistema agrofotovoltaico
R_g -	Radiação solar global
PAR -	Radiação fotossinteticamente ativa
PAR_{SAF}	Radiação fotossinteticamente ativa para o sistema agrofotovoltaico
-	
H_0 -	Radiação solar no topo da atmosfera
E_0 -	Fator de correção de excentricidade da terra
H_n -	ângulo horário
K_t -	Transmitância atmosférica
T_c -	Temperatura
Φ -	Latitude
δ -	Declinação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVO	16
2.1 Geral	16
2.2 Específico	16
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1. Morfologia e Fatores de Crescimento da Cana-de-Açúcar.....	17
3.2. Sistemas Agrofotovoltaico.....	17
3.3. Impacto da Sombreamento em Sistemas Agrofotovoltaico na Produção Agrícola.	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1. Área experimental.....	20
4.2. Sistema fotovoltaico	21
4.3. Biometria	21
4.4 Coeficiente de extinção de luz da cana-de-açúcar.....	23
4.4.1 Aplicação da Lei de Beer-Lambert.....	23
4.5 Interpolação do Índice de Área Foliar em função de GDA.....	23
4.6. Observações Agrometeorologias	23
4.6.1. Precipitação	24
4.6.2. Relações Radiométricas.....	24
4.6.2.1. Radiação solar global para o sistema agrofotovoltaico	24
4.6.2.2. Radiação fotossinteticamente ativa (PAR)	24
4.6.2.3. Radiação fotossinteticamente ativa para o sistema agrofotovoltaico (PAR SAF)	25
4.6.2.4. Radiação solar no topo da atmosfera.....	25
4.6.2.5. Transmitância atmosférica.....	25
4.7. Temperatura Foliar.....	26
4.8. Evapotranspiração de referência.....	26
4.9. Umidade do solo.....	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

A utilização de combustíveis fósseis pela população intensificou-se desde a Revolução Industrial, contribuindo para o esgotamento dos recursos energéticos e para o aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE), o que tem provocado alterações climáticas significativas. De acordo Fluck (1979), parte expressiva das atividades agrícolas depende desses combustíveis, cujo custo impacta toda a cadeia produtiva. Conforme o Grupo Consultivo sobre Pesquisa Agrícola Internacional (CGIAR, 2020), os setores agrícola e alimentício consomem cerca de 30% da energia mundial, sendo responsáveis por aproximadamente 19 a 29% das emissões globais de GEE.

Nesse contexto, o uso de fontes renováveis de energia surge como uma alternativa promissora para a produção agrônômica e o desenvolvimento sustentável, ao reduzir a dependência de recursos não renováveis. A energia solar, por ser uma das fontes mais abundantes e confiáveis, oferecendo uma alternativa promissora para a otimização de recursos na agricultura. Diferentemente das usinas termoelétricas que utilizam carvão, gás natural ou petróleo, a energia fotovoltaica converte diretamente a luz solar em eletricidade, sem a necessidade de processos de combustão. Por meio dos módulos fotovoltaicos (FV), essa tecnologia limpa contribui significativamente para a sustentabilidade energética e a mitigação das emissões de GEE (IEA, 2020).

A integração da energia fotovoltaica com a agricultura no mesmo espaço físico resulta no chamado Sistema Agrofotovoltaico (SAF). Esse sistema permite a coexistência entre a geração de energia e a produção agrícola, embora modifique o ambiente de cultivo, especialmente pela alteração da incidência de radiação solar devido ao sombreamento parcial causado pelos módulos FV (AMADUCCI; YIN; COLAUZZI, 2018). Por esse motivo, a determinação do balanço de radiação no cultivo sob influência do SAF é fundamental para compreender as alterações microclimáticas e seus impactos sobre as culturas.

O balanço de energia em sistemas agrícolas é essencial para compreender como a radiação solar é distribuída entre os diferentes fluxos, como radiação líquida, calor sensível, calor latente e fluxo no solo. No SAF, parte dessa radiação é interceptada pelos módulos fotovoltaicos e convertida em eletricidade, enquanto outra parcela é transmitida ou refletida, modificando a partição energética disponível para as culturas. Estudos como o de Hassanpour Adeg et al. (2018) demonstram que a presença dos painéis influencia processos-chave, como evapotranspiração, fotossíntese e temperatura do dossel, podendo gerar efeitos positivos ou negativos dependendo da espécie cultivada.

O sombreamento causado pelos painéis solares pode gerar efeitos positivos ou negativos sobre as plantas, dependendo da espécie cultivada, da intensidade e do padrão de sombreamento, bem como das condições climáticas locais. Em regiões com elevada radiação solar, a sombra parcial pode atenuar o estresse térmico e hídrico, reduzir a perda de água por evaporação e melhorar o desempenho fotossintético de culturas sensíveis à radiação excessiva (DUARTE et al., 2021).

A cana-de-açúcar é uma cultura central para a economia brasileira, destacando-se pela sua versatilidade na produção de açúcar e etanol (SILVA et al., 2020). O Brasil é um dos principais produtores mundiais de cana-de-açúcar e investe continuamente em pesquisas acadêmicas e tecnológicas voltadas à inovação e ao aumento da eficiência produtiva (PARIDA et al., 2020). Nesse contexto, o estado de Alagoas possui relevância nacional, figurando como o quinto maior em área plantada, com cerca de 289,7 mil hectares e produtividade média de 65.878 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023).

Embora a produtividade seja influenciada por fatores climáticos e de manejo, a cana-de-açúcar possui uma vantagem agrônômica: seu mecanismo de fotossíntese do tipo C₄. Essa característica confere à planta alta eficiência na fixação de CO₂ e maior eficiência no uso da água, resultando em elevadas taxas de produção de biomassa por unidade de Radiação Ativa Interceptada e menor sensibilidade ao estresse hídrico (MOHAMMED et al., 2023).

2 OBJETIVO

2.1 Geral

Este estudo tem como objetivo analisar a cultura da cana-de-açúcar nas condições microclimáticas em um ambiente modificado por um sistema agrofotovoltaico..

2.2 Específico

Analisar o crescimento da cultura, relações radiométricas e as condições hídricas, bem como comparar as condições microclimáticas entre o sistema modificado e o sistema convencional, com ênfase nas variáveis de radiação e umidade do solo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Morfologia e Fatores de Crescimento da Cana-de-Açúcar.

A cultura da cana-de-açúcar possui destacada importância socioeconômica, configurando-se como um dos principais produtos agrícolas do Brasil (ALFONSI et al., 1976). Pertencente à família Poaceae, do gênero *Saccharum* (CRONQUIST, 1981), trata-se de uma planta semiperene originária da Nova Guiné e Indonésia, no Sudeste Asiático (JAMES, 2004; MOZAMBANI et al., 2006).

O desenvolvimento da cana-de-açúcar ocorre em forma de touceiras, com perfilhos originados na base. Sua parte aérea é composta por colmos (caules típicos das gramíneas), folhas, inflorescências e frutos, enquanto o sistema subterrâneo é formado por raízes e rizomas (MOZAMBANI et al., 2006). O colmo, órgão de reserva da planta, apresenta forma cilíndrica e é envolto por folhas dispostas alternadamente. É constituído por nós e entrenós, sendo que em cada nó há uma gema protegida pela bainha foliar.

As folhas, responsáveis pelas trocas gasosas, são divididas em lâmina e bainha, sendo que esta envolve o colmo e se estende por pelo menos um entrenó completo. A inflorescência apresenta-se na forma de panícula e a floração é desejável apenas em programas de melhoramento genético. Em cultivos comerciais, sua ocorrência é indesejável, pois acarreta consumo de sacarose e, conseqüentemente, redução na qualidade da matéria-prima (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2010).

O crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como a produtividade das culturas, estão diretamente relacionados a fatores bióticos e abióticos, sendo os elementos meteorológicos considerados os mais influentes (SCHWERZ, 2020).

3.2. Sistemas Agrofotovoltaico.

Os sistemas agrofotovoltaicos (SAF) consistem na utilização simultânea de uma mesma área de terreno para a produção agrícola e a geração de energia solar fotovoltaica. Nesse contexto, os SAF apresentam-se como uma alternativa viável e promissora, ao permitir a integração de sistemas que visam otimizar o uso da terra e aumentar a eficiência na utilização de recursos naturais. Além disso, possuem o potencial de contribuir para a mitigação de conflitos relacionados ao uso do solo (DUPRAZ et al., 2011; GOETZBERGER; ZASTROW, 1982; WESELEK et al., 2019).

O conceito foi proposto pela primeira vez em 1981, pelos pesquisadores Adolf de Goetzberger e Armin Zastrow, que visualizaram a possibilidade de integrar, de forma simultânea, a captação de energia solar com a produção agrícola. Desde então, diversos

estudos têm sido realizados com o objetivo de analisar os efeitos dessa integração sobre o desempenho agrícola e energético.

O funcionamento dos SAFs baseia-se na instalação de módulos fotovoltaicos elevados sobre áreas cultiváveis, o que permite a passagem parcial da radiação solar para as plantas, criando um microclima modificado. Essa modulação da luz resulta em uma redução da temperatura do solo e da vegetação, o que pode diminuir a evapotranspiração e promover um ambiente mais favorável para o desenvolvimento das culturas, especialmente em regiões com altas temperaturas e estresse hídrico (MARROU et al., 2013; WESELEK et al., 2019).

Do ponto de vista socioeconômico, os SAFs representam uma estratégia para diversificação da renda no meio rural, integrando produção de alimentos e geração de energia elétrica, o que pode aumentar a resiliência dos sistemas produtivos frente a mudanças climáticas e oscilações de mercado (LI et al., 2020; MAIMAITIYIMING et al., 2020). Ainda assim, a adoção em larga escala enfrenta desafios relacionados a custos iniciais, regulamentação e necessidade de capacitação técnica (WESELEK et al., 2019).

Em síntese, os sistemas agrofotovoltaicos configuram uma estratégia promissora para o futuro da agricultura e da geração de energia, unindo eficiência, sustentabilidade e inovação tecnológica. No entanto, para sua expansão e consolidação, são necessários estudos multidisciplinares que abordem as particularidades regionais, o aprimoramento tecnológico e a viabilidade econômica, consolidando-os como uma alternativa viável para o uso sustentável do solo.

3.3. Impacto da Sombreamento em Sistemas Agrofotovoltaico na Produção Agrícola.

Os sistemas agrofotovoltaicos representam uma abordagem inovadora que visa integrar a geração de energia solar com a produção agrícola em um mesmo espaço físico, promovendo o uso mais eficiente da terra (GOETZBERGER; ZASTROW, 1982). Nesse sistema, os módulos fotovoltaicos são instalados acima da lavoura, proporcionando sombra parcial ao cultivo. Essa configuração pode modificar significativamente o microclima, influenciando variáveis como a radiação solar incidente, temperatura do ar, umidade relativa e evapotranspiração (MARROCU; LEONI, 2020; HASSANPOUR ADELI et al., 2021).

Por outro lado, o sombreamento excessivo pode comprometer a taxa fotossintética da cana-de-açúcar, cultura que possui metabolismo fotossintético C4 e elevada exigência por radiação solar (INMAN-BAMBER, 2004; MACHADO et al., 1982). A redução da disponibilidade de luz pode limitar o acúmulo de biomassa, afetar negativamente o alongamento dos colmos e reduzir o teor de sacarose, comprometendo a produtividade e a

qualidade tecnológica da matéria-prima. Além disso, a distribuição da luz ao longo do dia, associada à altura, inclinação e espaçamento entre os módulos fotovoltaicos, exerce influência direta sobre o padrão de crescimento da cultura em sistemas agrofotovoltaicos (SCHWERZ et al., 2023; WERNER et al., 2022).

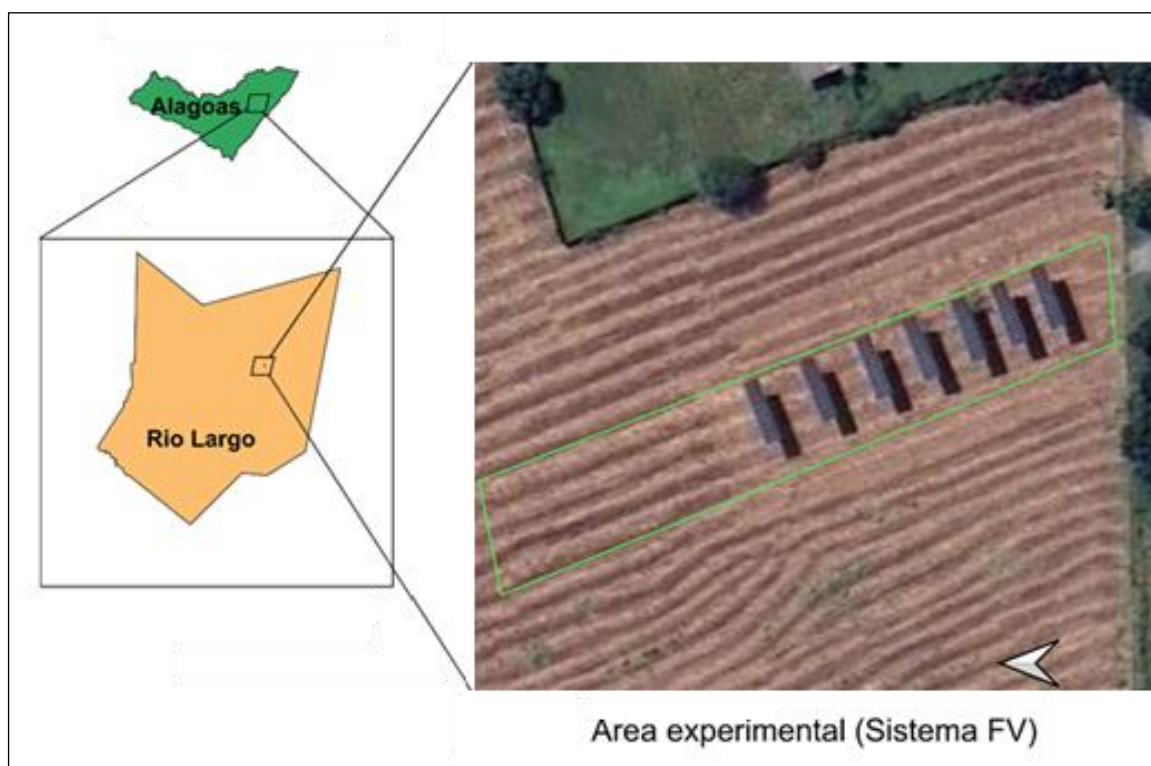
Além dos efeitos microclimáticos, os SAFs podem promover benefícios adicionais como a proteção contra intempéries (chuvas fortes, granizo e vento), aumento da biodiversidade, e diversificação da renda do agricultor com a geração de energia elétrica (WERNER et al., 2022; BARRON-GAFFORD et al., 2019). Contudo, a adoção dessa tecnologia requer estudos de viabilidade técnica e econômica específicos para cada região e cultura agrícola.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área experimental

O experimento foi conduzido na região de Tabuleiros Costeiros em área comercial de cana-de-açúcar, variedade RB92579, em cultivo de cana-soca, após o primeiro corte, durante o período de 02 de setembro de 2023 a 31 de agosto 2024. A área experimental pertencente à Usina Santa Clotilde S.A localizada em Rio Largo, AL (9° 28'04" S; 35°47'34" W e 127 m de altitude). O solo predominante é classificado como Latossolo Amarelo, e o clima da região corresponde ao tipo úmido megatérmico (THORTHWAITE E MATHER, 1955). A temperatura média anual do ar é de 25,4 °C, e a precipitação média anual 1.800 mm (SOUZA et al., 2004). O espaçamento adotado foi de linhas duplas de 1,5 m entrelinhas e 0,5 m entre plantas, com orientação das linhas de plantio no sentido norte-sul, em sistema de sequeiro.

Figura 1: Mapa de localização e imagem aérea da área experimental: Sistema agrofotovoltaico – Uma integração cana-de-açúcar e geração de energia fotovoltaica.

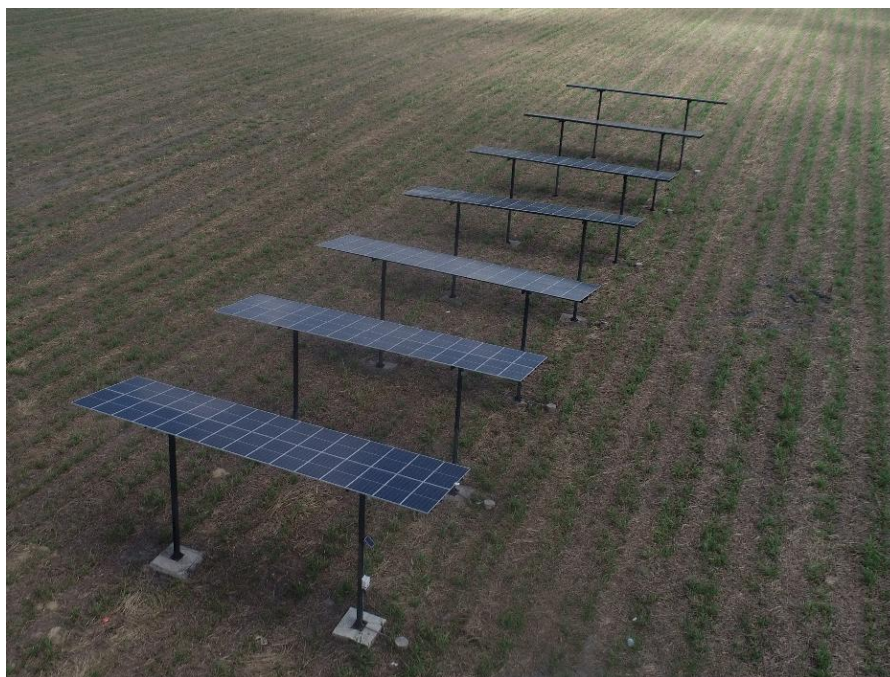


Fonte: Autor, 2025.

4.2. Sistema fotovoltaico

O sistema fotovoltaico (FV) é composto por sete estruturas metálicas de 15 m de largura e 7 m de altura, cada uma contendo duas fileiras de 15 módulos, totalizando 210 painéis. Os módulos são do tipo policristalino, com potência unitária de 340 Wp, o que resulta em 71,4 kWp de potência instalada. Todo o conjunto foi padronizado quanto à altura (7 m), orientação para o Norte e inclinação de 10°. No sistema agrofotovoltaico (SAF) foram avaliadas três configurações, variando apenas o espaçamento entre as estruturas (10, 8 e 6 m), o que corresponde a taxas de ocupação do solo de 0,285; 0,33 e 0,39, respectivamente (Figura 2). A instalação foi finalizada em julho de 2022.

Figura 2: Vista aérea do sistema agrofotovoltaico instalado em Rio Largo, AL.



Fonte: Autor, 2025.

4.3. Biometria

As coletas biométricas tiveram início em 18 de outubro de 2023, em duas áreas distintas: uma sob o sistema agrofotovoltaico (SAF), com sombreamento, e outra sob cultivo convencional, denominada área de referência. Em cada área, foram selecionados seis pontos aleatórios, totalizando 12 pontos de coleta. Foram selecionados seis pontos aleatórios em cada área, totalizando 12 pontos de coleta. Em cada ponto, foi delimitado 1 metro linear de plantio (correspondente a 1 m² de solo), onde foram coletadas as seguintes variáveis: altura da planta

(m), comprimento (m) e largura das folhas (m) (Figura 3). Esses dados foram utilizados para o cálculo da área foliar (AF), conforme a equação 1:

$$AF = L \times C \times 0,75 \quad (1)$$

em que: AF é a área foliar (m^2), C é comprimento da folha (m), L é a largura da folha (m), 0,75 é um fator de forma, de acordo Simões et al., 2017.

Figura 3: Coleta dos dados na área experimental da altura (A), comprimento (B), largura(C).



Fonte: Autor, 2025.

O índice de área foliar (IAF) foi determinado através da multiplicação da AF (média das plantas) pelo número de plantas por metro linear (NPML) e dividido pela área ocupada por essas plantas (AS). Para o plantio realizado em área sombreada e não sombra.

$$IAF = \frac{AF \times NPML}{AS} \quad (2)$$

Em que: NPML é o número de plantas por metro linear é AS é a área linear ocupadas pelas plantas que é $1m^2$.

4.4 Coeficiente de extinção de luz da cana-de-açúcar.

O valor médio do coeficiente de extinção da luz ($K = 0,51$) foi obtido a partir de Silva et al. (2023). Esse coeficiente foi determinado por meio da regressão linear forçada a passar pela origem, considerando a relação entre o Índice de Área Foliar (IAF) e o negativo do logaritmo natural da fração da radiação fotossinteticamente ativa transmitida (fPART), foi obtido a partir de medições simultâneas da radiação incidente e da radiação transmitida, registradas por sensores instalados na área experimental. Pontualmente, o cálculo de k também pode ser realizado a partir da equação derivada da Lei de Beer.

$$K = \frac{-\ln (fPART)}{IAF} \quad (3)$$

4.4.1 Aplicação da Lei de Beer-Lambert

A Lei de Beer-Lambert foi utilizada para estimar a absorção de radiação luminosa pela cultura da cana-de-açúcar, considerando a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) pelas folhas. Essa lei descreve o comportamento da radiação ao atravessar um meio absorvente, como o dossel foliar. A equação que expressa essa relação é:

$$I_T = I_o^{-K \times IAF} \quad (4)$$

Em que: I_T = Intensidade do feixe transmitido é I_o = Intensidade do feixe incidente.

4.5 Interpolação do Índice de Área Foliar em função de GDA

Os valores diários de IAF foram estimados por interpolação, utilizando a função IAF-f(GD), em que GDA representa os Graus-Dia acumulados, conforme tópico 3.5. Isso permitiu criar uma série contínua de valores diários de IAF, preenchendo as lacunas entre as medições mensais. A interpolação usou os valores de IAF obtidos no início e no fim de cada período de coleta para estimar o IAF entre essas datas, garantindo uma análise detalhada e precisa do crescimento da cultura ao longo do experimento.

4.6. Observações Agrometeorologias

Os elementos meteorológicos — temperatura do ar ($^{\circ}C$), umidade do ar (%), velocidade do vento ($m\ s^{-1}$), radiação solar global ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$), precipitação pluvial (mm), evapotranspiração de referência (mm) — foram obtidos na Estação Agrometeorológica

Automática, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Rio Largo, AL (Latitude: 9°28'29,1''S; Longitude: 35°49'43,6''W; Altitude: 127,0 m).

4.6.1. Precipitação

A precipitação (P) foi determinada por meio de um pluviômetro automático do tipo balsa (modelo TB3, Hydrological Services PTY. LTD., Sydney, Austrália), instalado a 1,5 m acima da superfície do solo. O equipamento encontra-se na Estação Agrometeorológica do CECA. Os registros foram obtidos em intervalos de 10 min e posteriormente consolidados em totais diários (mm dia⁻¹) para utilização nas análises.

4.6.2. Relações Radiométricas

Para determinar o balanço de radiação em sistemas que integram cana-de-açúcar com painéis fotovoltaica, considerou-se a radiação incidente sobre o cultivo, levando em conta o sombreamento causado pelos painéis, a reflexão da radiação e a absorção pela cultura. Os métodos e procedimentos para avaliar esses fatores são detalhados nos tópicos seguintes.

4.6.2.1. Radiação solar global para o sistema agrofotovoltaico

A radiação solar global no SAF ($R_{g\text{ SAF}}$) foi calculada ajustando-se os valores de radiação solar global disponível sob o sistema fotovoltaico, considerando a redução causado pelo sombreamento dos painéis e a variação da incidência luminosa. Esse ajuste reflete a radiação efetiva que chega ao solo. A radiação solar global (R_g) da estação Agrometeorológica Automática representa a energia solar total incidente no cultivo convencional. A equação a seguir é o ajuste entre a energia incidente sem influência dos painéis (R_g) e com a influência dos painéis ($R_{g\text{ SAF}}$).

$$R_{g\text{ SAF}} = 0,4845 \times R_g \quad (5)$$

4.6.2.2. Radiação fotossinteticamente ativa (PAR)

A PAR foi estimada a partir dos dados de R_g , com base na equação 7 proposta por Ferreira Junior (2013), que relaciona R_g e PAR. Essa equação é essencial para avaliar a radiação disponível para a fotossíntese e, conseqüentemente, a eficiência do sistema agrofotovoltaico.

$$PAR=R_g \times 0,43 \quad (6)$$

em que: 0,43 é a coeficiente empírico que converte R_g em PAR.

4.6.2.3. Radiação fotossinteticamente ativa para o sistema agrofotovoltaico (PAR SAF)

A equação converte R_g em PAR usando um fator de ajuste empírico que reflete a radiação absorvida pelas plantas para a fotossíntese. O fator de ajuste foi desenvolvido conforme dados experimentais adaptados de Ferreira Júnior (2013), o fator de conversão estima a radiação disponível para o crescimento das culturas, ajudando a otimizar a geração de energia e a eficiência das culturas.

$$PAR_{SAF} = 0,194 \times R_g \quad (7)$$

em que: 0,194 é a coeficiente empírico que converte R_g em PAR.

4.6.2.4. Radiação solar no topo da atmosfera

O R_0 foi estimado pela equação proposta por Duffie e Beckman (1974), dada por:

$$R_0=37,6 \times E_0[(hn \text{ sen } \Phi \text{ sen } \delta)+(\cos \Phi \cos \delta \text{ sen } hn)] \quad (8)$$

Em que: R_0 é a radiação solar no topo da atmosfera, 37,6 é a constante de ajuste que considera a intensidade solar média, E_0 fator de correção de excentricidade da terra., hn é o ângulo horário ($^\circ$), Φ é a latitude do local ($^\circ$), δ é a declinação solar ($^\circ$).

4.6.2.5. Transmitância atmosférica

A Transmitância atmosférica (K_t) foi determinado através da equação descrita por Liu e Jordan (1963) (equação 10), utilizando-se os valores da R_g observada e estimada no topo da atmosfera.

$$K_t = \frac{R_g}{R_0} \quad (9)$$

em que: K_t é parâmetro de nebulosidade.

4.7. Temperatura Foliar

A temperatura foliar (T_c) foi medida com termômetro infravermelho (modelo 4000.4GL, Everest Interscience, Tucson, AZ, EUA) em 10 plantas selecionadas aleatoriamente, sob condições de céu claro. As leituras foram realizadas nas folhas superiores totalmente expandidas, com o sensor posicionado na região central da superfície foliar.

4.8. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET_0) foi estimada pela equação de Penman-Monteith, padronizada pela FAO-56 (ALLEN et al., 1998).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a} u^2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad (10)$$

em que: T_a ($^{\circ}\text{C}$) é a temperatura média diária do ar a 2 m de altura [$T_a = (T_x + T_n)/2$]; T_x e T_n ($^{\circ}\text{C}$) são as temperaturas do ar máxima e mínima diária, respectivamente; Δ ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) é a derivada da curva de pressão de saturação do vapor d'água do ar no ponto de T_a ; R_n ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) é o saldo de radiação total diário; G ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) é o fluxo de calor no solo; γ ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) é o coeficiente psicrométrico; e_s e e_a (kPa) são as médias diárias das pressões de saturação e parcial de vapor d'água do ar, respectivamente, e u^2 (m s^{-1}) é a média diária da velocidade do vento a 2 m de altura. As medidas dos elementos meteorológicos utilizados para estimativa de ET_0 foram realizadas na estação agrometeorológica do CECA.

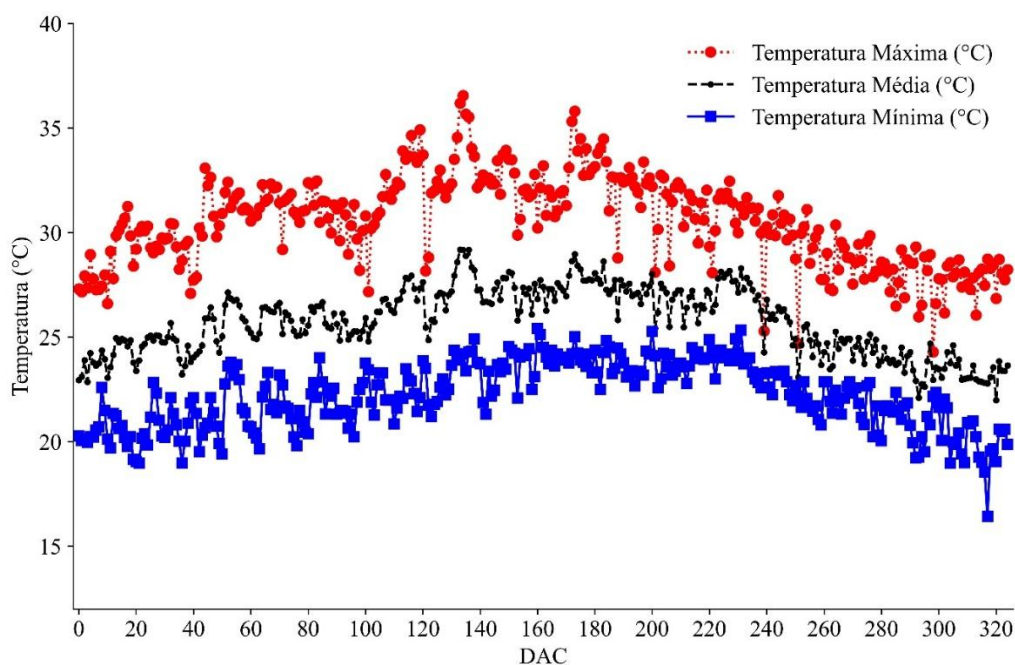
4.9. Umidade do solo.

A umidade volumétrica do solo (θ , $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) foi monitorada em ambos os ambientes (SAF e REF) por meio do sensor CS616, instalado a 10 cm de profundidade, em posição horizontal. No SAF, o sensor foi posicionado abaixo do tripé do sistema fotovoltaico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação pluvial durante os 9 meses de experimento (18/10/2023 a 31/07/2024 – 324 dias), somou 1.463,5 mm. O mês de junho obteve a maior precipitação pluvial (93,7 mm), quando comparada aos demais meses. A temperatura do ar mínima e máxima, nos 320 dias de cultivo, no período de 01 de mês de setembro a 31 de mês de agosto, variou, respectivamente, entre 16,40 e 30,2 °C, com média de 25,9 °C (Figura 4). Alagoas apresenta pouca variação sazonal da radiação solar, do fotoperíodo e da temperatura do ar devido à proximidade à linha do equador.

Figura 4: Temperatura mínima, média e máxima do ar em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 de mês de setembro a 31 de mês de agosto, na região de Rio Largo, AL.

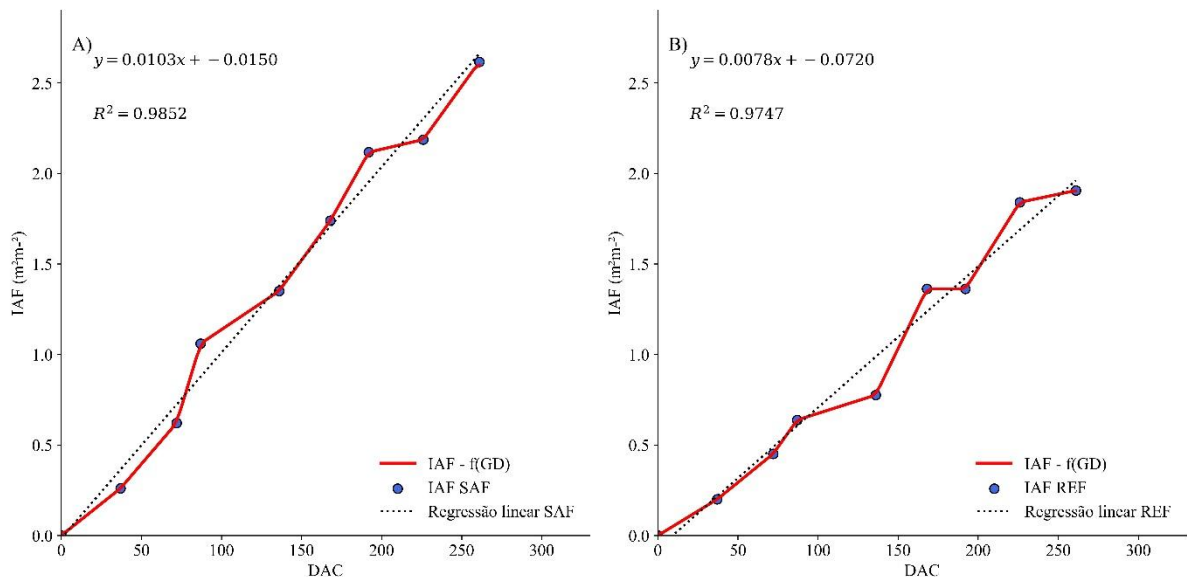


Fonte: Autor, 2025.

Em relação ao índice de área foliar (IAF), os resultados evidenciam padrões distintos de desenvolvimento foliar entre os dois sistemas de cultivo. No sistema agrofotovoltaico (SAF) (Figura 5A), observou-se aumento acentuado do IAF até 261 dias após o corte (DAC), momento em que a taxa de crescimento se estabilizou. O valor máximo registrado foi de 2,62 m² m⁻², indicando elevado acúmulo de biomassa foliar ao longo do ciclo. O modelo de ajuste apresentou elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,98$), evidenciando forte correlação

entre os valores observados e estimados. Dessa forma, o desenvolvimento do IAF no SAF indica que o sistema agrofotovoltaico favoreceu o crescimento vegetativo da cultura, possivelmente em razão de um microclima mais favorável, caracterizado por temperaturas mais amenas e maior umidade do solo.

Figura 5: Índice de área foliar (IAF) no cultivo da cana-de-açúcar em dois ambientes de cultivos: sistema agrofotovoltaico - SAF(A) e sistema de referência - REF (B), em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 de mês de setembro a 31 de agosto.



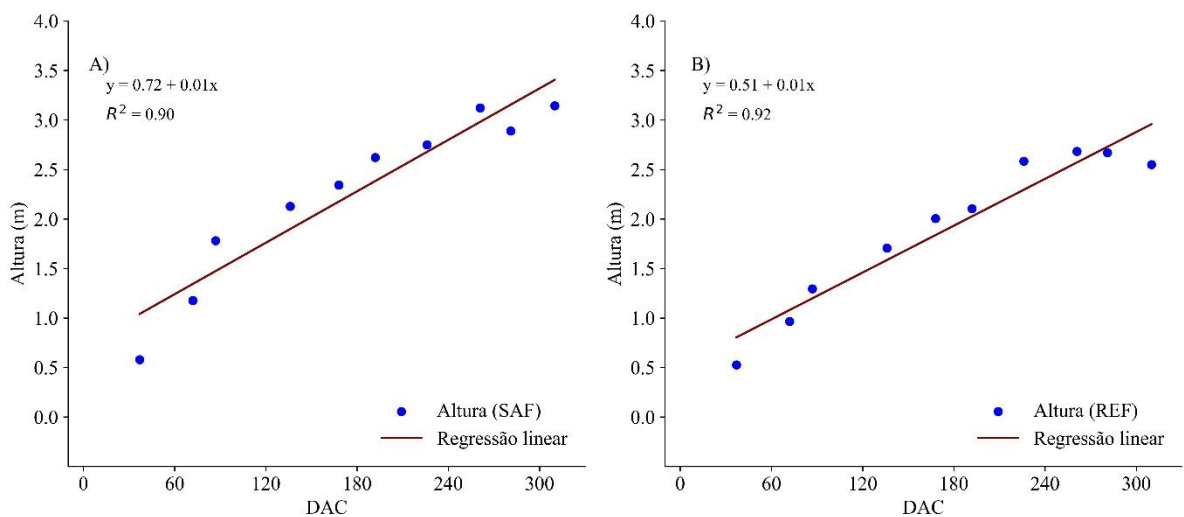
Fonte: Autor, 2025.

Em contraste, no ambiente REF (Figura 5B), o IAF também aumentou com o tempo, mas com menor intensidade. O valor máximo registrado foi de $1,91 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, representando uma redução considerável em relação ao SAF. O modelo ajustado também apresentou um bom ajuste ($R^2 = 0,97$), embora inferior ao apresentado no SAF. Indicando que a área foliar no REF, não apresentou condições favoráveis ao desenvolvimento do dossel vegetativo.

Em relação à altura do dossel e aos dias após o plantio (Figura 6), ambas as áreas apresentam crescimento das plantas ao longo do período de desenvolvimento da cultura. No ambiente SAF (Figura 6A), a altura média das plantas atingiu valor de $3,14 \text{ m}$ em 310 DAC . A rápida elevação da altura a partir dos 90 DAC sugere que o ambiente SAF proporcionou condições favoráveis ao crescimento em altura da cana-de-açúcar. Esse resultado pode estar associado ao sombreamento parcial dos módulos, que reduz a demanda evaporativa e contribui

para maior conservação da umidade do solo, favorecendo o desenvolvimento em condições de déficit hídrico moderado (DUARTE et al., 2021). Além disso, estudos recentes indicam que o microclima gerado pelo SAF pode mitigar o estresse térmico e hídrico, promovendo melhor desempenho da cana-de-açúcar em comparação ao sistema convencional (SILVA et al., 2024). Nos dois ambientes, os meses de junho e julho foram desconsiderados da análise, uma vez que, a partir desse período, a cultura da cana-de-açúcar apresentou início de acamamento.

Figura 6: Altura do dossel da cana-de-açúcar em regime sequeiro em dois sistemas: agrofotovoltaico (SAF, A) e referência (REF, B), em função dos dias após o corte (DAC), de 1º de setembro a 31 de agosto, em Rio Largo, AL.



Fonte: Autor, 2025.

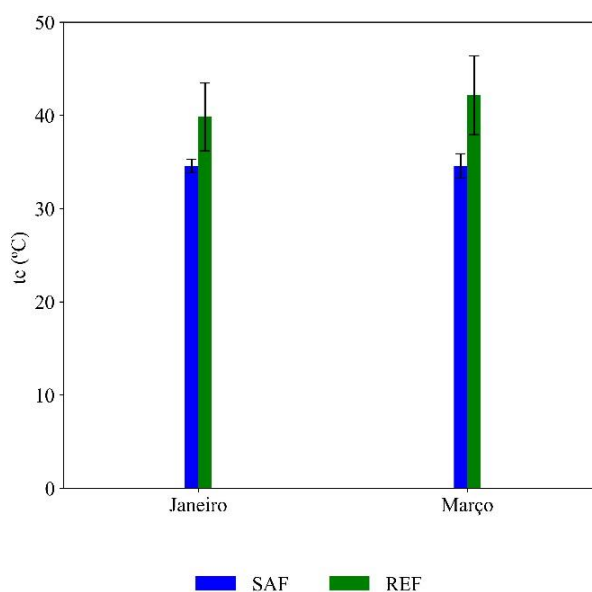
No sistema de referência (Figura 6B), o crescimento das plantas também ocorreu de forma contínua até 300 dias após o corte (DAC), atingindo altura máxima de 2,67 m. Observa-se um retardo nos estágios iniciais, que pode estar relacionado a condições ambientais menos favoráveis, como as variações de temperatura ou restrições na umidade do solo. Esses fatores tendem a limitar o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar nos primeiros meses após o plantio, antes que a planta estabeleça um crescimento mais rápido e constante, conforme evidenciado pela regressão linear ajustada aos dados.

Na Figura 7, são representados graficamente os períodos de coleta (janeiro e março) da temperatura foliar (t_c , °C) da cana-de-açúcar em dois ambientes: SAF e REF. Em janeiro,

a média da temperatura foliar na área SAF é consistentemente inferior à média registrada na área REF, que apresenta temperaturas significativamente mais elevadas. Além disso, a variância na área REF é consideravelmente maior. Em março, observa-se um aumento na média das temperaturas em ambos os ambientes em comparação com janeiro. A tendência indica que a área REF continua a registrar temperaturas superiores à área SAF. A temperatura foliar foi registrada apenas nesses dois meses, pois, durante o período experimental, ocorreram muitas chuvas. Como a coleta dos dados requer dias com céu claro, esses foram os únicos meses em que foi possível realizar as medições em campo.

Durante o período analisado, a temperatura média do ar variou de 31 °C em janeiro para 37 °C em março, evidenciando um aumento nas condições térmicas ao longo do experimento.

Figura 7: Temperatura foliar (t_c) média para a cultura da cana-de-açúcar em dois ambientes, sistema agrofotovoltaico – SAF e sistema de referência - REF), em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 de mês de setembro a 31 de mês de agosto, na região de Rio Largo, AL.



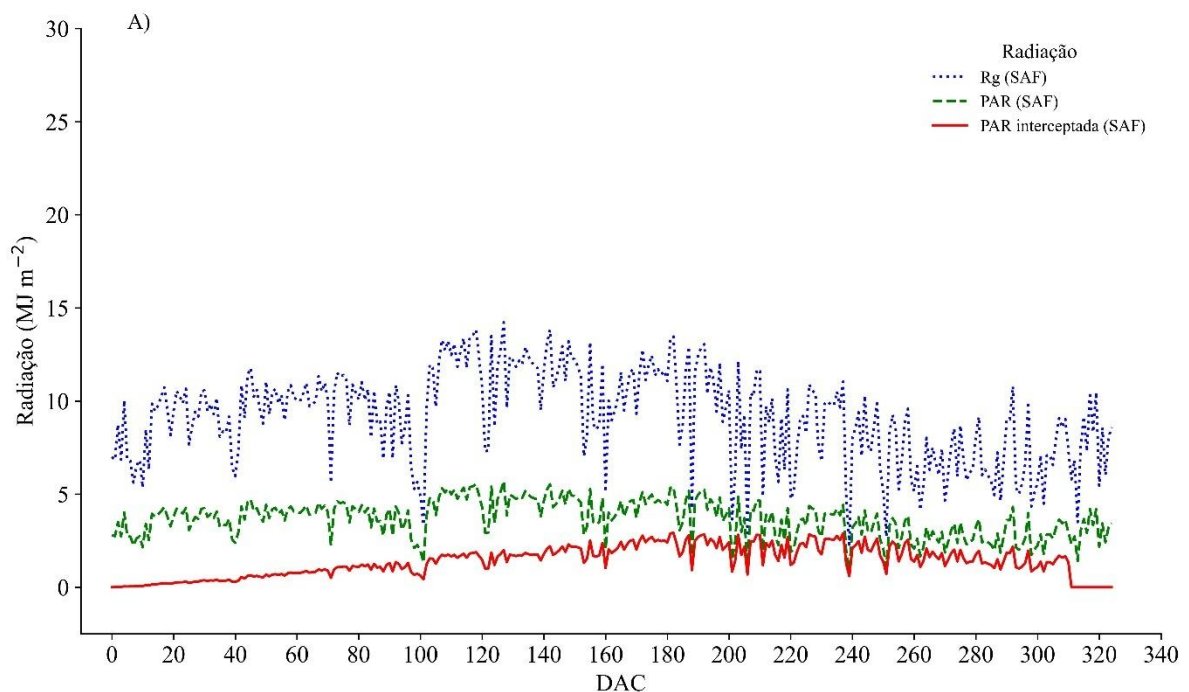
Fonte: Autor, 2025.

Em relação ao Kt, os dados que variam entre 0,15 e 0,76 sugerem diferentes condições de nebulosidade ao longo do período de estudo. Embora o Kt seja semelhante em ambas as áreas durante esses meses, a estrutura fotovoltaica presente na área SAF gera sombreamento. Área REF apresenta a maior temperatura foliar, devido à ausência de sombreamento causado

pelas placas fotovoltaicas, que estão presentes na área SAF.

A R_g apresentou variações significativas, com oscilações diárias marcadas principalmente nos estágios iniciais do desenvolvimento da cultura (0 a 100 DAC). Os valores variaram entre 2,28 e 14,22 (Figura 8a). Observou-se um aumento gradual da intensidade da radiação incidente entre o DAC 142 e 210, seguido por flutuações acentuadas por volta de 150 a 200 DAC. Novamente, a partir de cerca de 288 DAC, a R_g tende a apresentar valores mais elevados, o que pode estar associado a uma maior disponibilidade de radiação nesse período. No entanto, próximo ao encerramento do ciclo fenológico a radiação volta a oscilar de maneira mais estável.

Figura 8: Radiação solar global (R_g), Frações da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), Frações da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (PAR interceptada) em dois ambientes: sistema agrofotovoltaico - SAF(A) e sistema de referência - REF(B), em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 do mês de setembro a 31 do mês de agosto, na região de Rio Largo, AL.

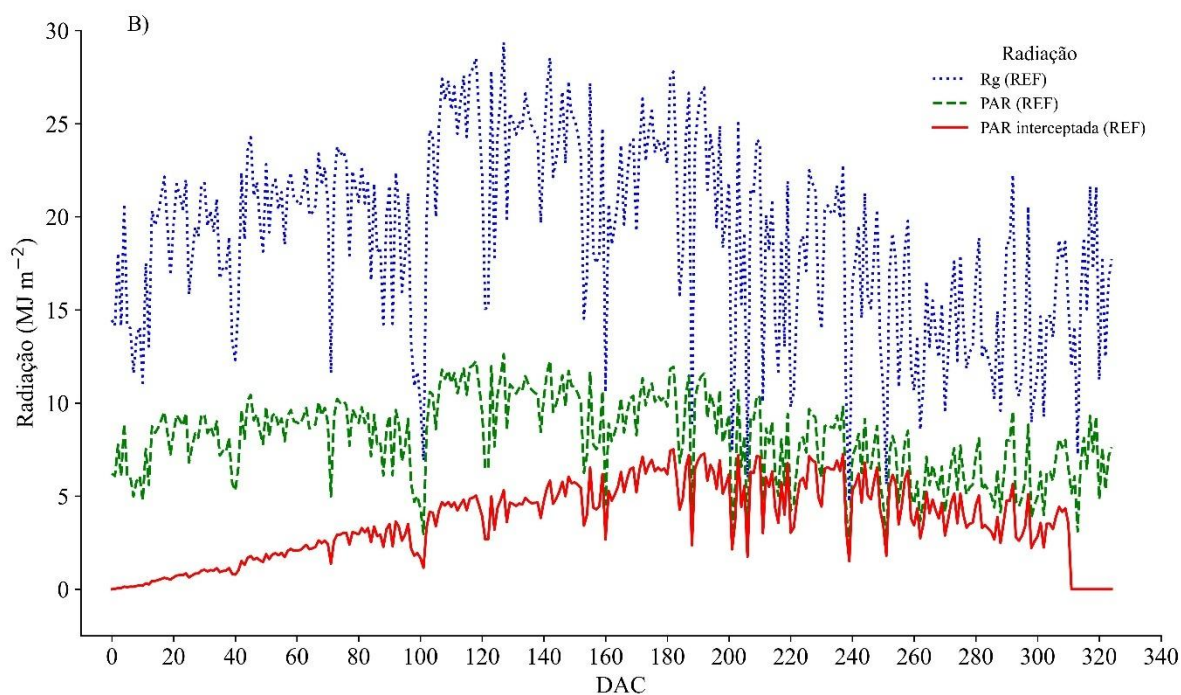


A PAR e a PAR interceptada, seguem padrões similares com a R_g , o que pode ser explicado, pois ambas são diretamente dependentes R_g . A PAR apresentou valores entre R_g e PAR interceptada, mantendo-se relativamente constante ao longo do experimento. Em contrapartida, a

PAR interceptada aumento progressivamente com o avanço do desenvolvimento da cultura e do desenvolvimento do dossel foliar, desta forma aumentando a interceptação da radiação.

De modo geral, R_g , apresentou valores mais elevados e maior amplitude de variações em comparação ao ambiente SAF (Figura 8), refletindo uma maior exposição da radiação solar, uma vez que não há interferências do sombreamento gerado pelas placas fotovoltaicas.

Durante os primeiros 100 DAC, os valores de R_g foram constantemente elevados e se intensificaram entre 120-250 DAC, períodos em que ocorrem maiores picos de radiação. Após esse intervalo, a R_g reduziu, no entanto, as oscilações continuam até o final do ciclo. A PAR, por ser proporcional a R_g , acompanhou a sua dinâmica. A PAR interceptada, aumentou gradualmente conforme o crescimento vegetativo da cana-de-açúcar, com maior interceptação observada próxima ao fechamento parcial do dossel. Padrão semelhante foi relatado por Monteiro (2012) em estudos de modelagem agrometeorologia com a cultura da cana-de-açúcar.

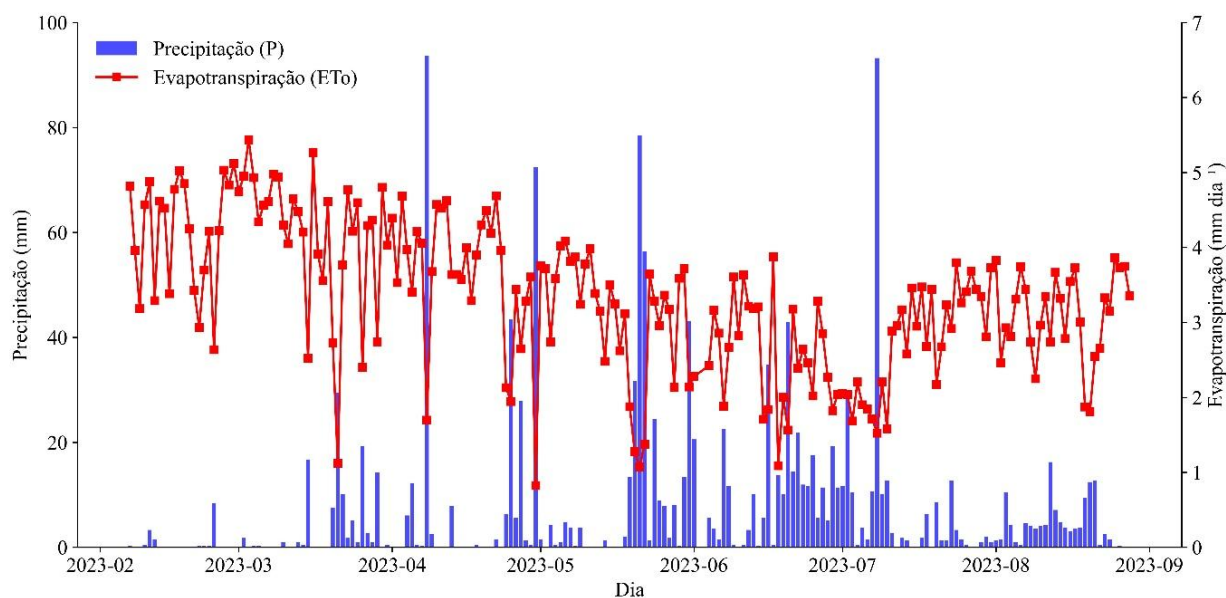


Fonte: Autor, 2025.

Conforme ilustrado na Figura 9, a precipitação apresentou distribuição irregular ao longo do período experimental, evidenciando a sazonalidade característica da região. Os

maiores volumes acumulados foram registrados nos meses de abril (29,5 mm), junho (93,7 mm) e julho (43,2 mm), coincidindo com o início e o pico do período chuvoso. A evapotranspiração de referência (ET_0) variou significativamente entre os meses, com valores mínimos de $0,8 \text{ mm dia}^{-1}$ em fevereiro e máximos de $5,4 \text{ mm dia}^{-1}$ em março. Essa amplitude reflete a influência das condições meteorológicas locais, especialmente da radiação solar e da temperatura do ar, sobre a demanda atmosférica por água. As oscilações diárias de ET_0 indicam um comportamento dinâmico do balanço hídrico, evidenciando períodos de maior exigência evaporativa seguidos de fases de relativa estabilidade.

Figura 9: Variação da precipitação (P), evapotranspiração de referência (ET_0), em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 de mês de setembro a 31 de mês de agosto, na região de Rio Largo, AL.

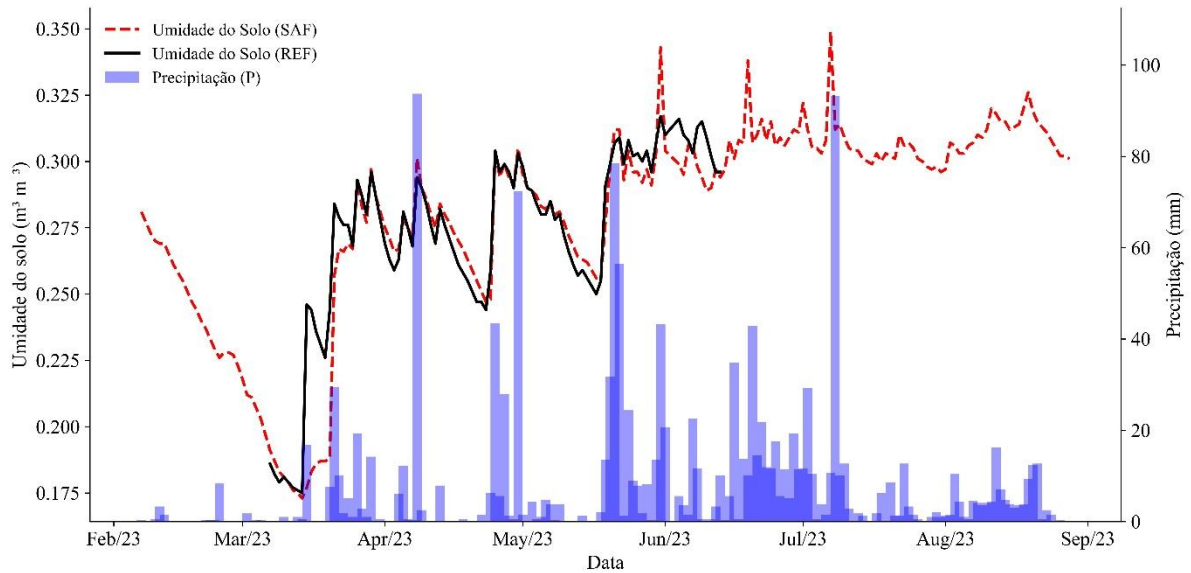


Fonte: Autor, 2025.

A umidade do solo para os dois sistemas variou entre $0,19$ e $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, não sendo observadas diferenças significativas entre eles. No ambiente SAF, os valores permaneceram relativamente elevados e estáveis variando entre $0,20$ e $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, provavelmente devido ao sombreamento proporcionado pelos módulos fotovoltaicos e pela vegetação, que atenua a radiação direta e reduz as perdas por evaporação. No ambiente REF, a umidade apresentou maior variabilidade e oscilações mais acentuadas, especialmente durante o período seco nos meses de maio e julho. Os maiores valores de umidade foram registrados entre junho e julho,

coincidindo com o período chuvoso característicos da região.

Figura 10: Umidade do solo para ambos as áreas de manejo, sistema agrofotovoltaico - SAF e sistema de referência – REF, em relação aos dias após o corte (DAC), no período de 1 de mês de setembro a 31 de mês de agosto, na região de Rio Largo, AL.



Fonte: Autor, 2025.

A comparação entre os dois ambientes evidencia o efeito do SAF sobre a estabilidade da umidade do solo. Apesar da similaridade nos padrões da P e ET_0 , o SAF apresentou maior conservação hídrica, mesmo em períodos com baixa pluviosidade.

6 CONCLUSÃO

O Sistema Agrofotovoltaico (SAF) apresenta maior Índice de Área Foliar (IAF) e maior altura das plantas em comparação ao sistema convencional (REF). Em relação à temperatura foliar, o SAF apresenta valores inferiores ao REF. As variáveis de radiação (R_g , PAR e PAR interceptada) apresentam variações significativas ao longo do ciclo da cana-de-açúcar entre os ambientes SAF e REF. As diferenças na interceptação luminosa indicam que o SAF influencia diretamente a absorção de radiação e contribui para melhores condições microclimáticas para o desenvolvimento das plantas. O SAF também demonstra maior estabilidade na umidade do solo, mesmo sob padrões semelhantes de precipitação (P) e evapotranspiração (ET_0), evidenciando melhor conservação hídrica em períodos de baixa pluviosidade.

REFERÊNCIAS

- ADEH, E. H.; GOOD, S. P.; CALAF, M. Solar photovoltaic panels reduce daily solar radiation and evapotranspiration but increase water-use efficiency on an intercropped alfalfa field. *Environmental Research Letters*, v. 14, n. 11, p. 114025, 2019.
- ALFONSI, R. R. et al. Condições climáticas para cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). *Cana-de-açúcar: cultivo e utilização*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42–55.
- AMADUCCI, S. et al. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy*, v. 220, p. 545 – 561, 2018.
- AMADUCCI, Stefano; YIN, Xinyou; COLAUZZI, Michele. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy*, v. 220, p. 545-561, 2018. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.03.081. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918304197>. Acesso em: 21 out. 2025.
- BARRON-GAFFORD, G. A. et al. Agrivoltaics provide mutual benefits across the food – energy – water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, v. 2, p. 848 – 855, 2019.
- BOURGET, C. M. An introduction to light-emitting diodes. *HortScience*, v. 43, n. 7, p. 1944 – 1946, 2008.
- CARVALHO, A. L. Estação de Cultivo Baseada na Precipitação Pluvial Diária e na Ocorrência de Períodos Secos para a Região de Rio Largo, Alagoas, 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas. CARVALHO, A. L.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; PORFIRIO, A. C. S.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; SANTOS, M. A.; WANDERLEY, H. S. Probabilidade de ocorrência de períodos secos para a região de Rio Largo, Alagoas. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XVI, Belo Horizonte – MG, Anais... (CD-Rom), 2009.
- CRONQUIST, A. An integrated system of classification of flowering plants. New York: Columbia University Press, 1981. 1262 p.
- CUSTODIO, R.; KUBOTA, L. T.; DE ANDRADE, J. C. Lei dos processos de absorção da radiação. *Revista Chemkeys*, n. 3, p. 1 – 5, 2000.

DINESH, H.; PEARCE, J. M. The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 54, p. 299 – 308, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>. Acesso em: 22 jul. 2025.

DUARTE, W. F.; SILVA, A. G.; ALMEIDA, A. C.; SOUSA, L. A.; PEREIRA, G. T.; COSTA, E. A. Efeitos do sombreamento parcial sobre o crescimento da cana-de-açúcar em sistema agrofotovoltaico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 25, n. 7, p. 497-504, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/rbeaa.v25n7p497-504>.

DUPRAZ, C. et al. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, v. 36, n. 10, p. 2725 – 2732, 2011.

DUPRAZ, C.; TALBOT, G.; NOGIER, A. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimizing land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, v. 126, p. 136 – 146, 2018.

GOETZBERGER, A.; ZASTROW, A. Potential of a new solar energy conversion system. *Solar Energy*, v. 22, n. 2, p. 145 – 150, 1982.

HASSANPOUR ADEH, E.; SELKER, J. S.; HIGGINS, C. W. Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *PLoS ONE*, v. 13, n. 11, e0203256, 1 nov. 2018. doi: 10.1371/journal.pone.0203256.

HASSANPOUR ADELI, M. et al. Agrivoltaics: Synergies and trade-offs between land, food, and clean energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 141, 110380, 2021.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field Crops Research*, v. 89, p. 107-122, 2004.

JAMES, G. Sugarcane. Oxford: Blackwell Science (World Agriculture Series), 2004. 216 p.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I. Photosynthetic response of sugarcane to irradiance. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 17, n. 5, p. 663-667, 1982.

MAIMAITIYIMING, M.; WUSHOUER, S.; MAIMAITIJIANG, M. Agrivoltaics: Prospects and challenges in agricultural production. *Agronomy*, v. 10, n. 12, p. 1951, 2020.

MALU, P. R.; SHARMA, U. S.; PEARCE, J. M. Agrivoltaic potential on grape farms in India. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 23, p. 104 – 110, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.08.004>. Acesso em: 22 jul. 2025.

MARROCU, M.; LEONI, S. The role of shading in agrivoltaic installations: A case study in Mediterranean climate. *Energy Reports*, v. 6, p. 300 – 306, 2020.

MOHAMMED, K. et al. Sugarcane Responses to Water Deficit Are Modulated by Environmental CO₂ Concentration in a Genotype and Scale Dependent-Manner. *Agronomy*, v. 15, n. 3, p. 726, 2023.

MONTEIRO, Leonardo Amaral. *Modelagem agrometeorológica como base para a definição de ambientes de produção para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo*. 2012. 1 v. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-13032012-162302/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

MOZAMBANI, A. E. et al. História e morfologia de cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. et al. *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 11–18

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Orgs.). *Cana-de-açúcar*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. p. 45 – 56. 882 p.

SCHWERZ, F. et al. Assessing Yield, Growth and Climate Traits in Agroforestry Systems in Southern Brazil. *Journal of Sustainable Forestry*, v. 39, p. 1 – 20, 2020.

SCHWERZ, F. et al. Microclimatic changes and plant responses under an agrophotovoltaic system in sugarcane. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 333, 109302, 2023.

SEKIYAMA, T.; NAGASHIMA, A. Solar sharing for both food and clean energy production: Performance of agrivoltaic systems for corn, lettuce and strawberry. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 280, 107796, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107796>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SILVA, L.M.R.; FERREIRA JUNIOR, R.A.; SANTOS, M.A.; SANTOS, A.A.R.; SILVA, G.S.; SANTOS, A.; FEITOSA, M.A.M.; BUENO, I.J. Coeficiente de extinção de luz da cana-de-açúcar em um sistema agrofotovoltaico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROFOTOVOLTAICOS, 2., 2023, Rio Largo. Anais [...]. Rio Largo: CECA/UFAL, 2023. p. 208-210.

- SILVA, M. A.; SANTOS, L. P.; FERREIRA, R. C.; OLIVEIRA, T. C. Sistemas agrofotovoltaicos melhoram a produtividade da cana-de-açúcar e promovem o uso sustentável da terra no Brasil. SSRN Electronic Journal, 2024. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.5200517>.
- SIMÕES, W. L.; GUIMARÃES, M. J. M.; OLIVEIRA, A. R. de. Estimativa da área foliar de variedades de cana-de-açúcar no Submédio do Vale do São Francisco. Juazeiro, BA: Embrapa Semiárido, 2017. 18 p. (Embrapa Semiárido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 131).
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)
- TOUIL, A.; OULADSINE, M.; HADJ ARAB, A. Impact of agrivoltaic systems on crop yield and energy production: A review. Sustainability, v. 12, n. 10, p. 4069, 2020.
- WERNER, C. M. et al. Agrivoltaic systems—Opportunities for agriculture and the energy transition. Agronomy, v. 12, n. 1, p. 88, 2022.
- WESELEK, A. et al. Agrophotovoltaic systems: Applications, challenges, and opportunities. A review. Agronomy for Sustainable Development, v. 39, n. 4, p. 1 – 20, 2019.