XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DE CULTIVOS CONSORCIADOS EM ÁREAS DE REÚSO HIDROAGRÍCOLA UTILIZANDO MONITORAMENTO MULTIESPECTRAL E INSTRUMENTAÇÃO NO AGRESTE PERNAMBUCANO

Vitória Gabriele Chagas Silva [1]; Raví Emanoel de Melo [2]; Eric Gabriel Fernandez Albuquerque da Silva[3]; Eline Dias Barbosa[4]; Thayná Alice Brito Almeida[5] & Abelardo Antônio de Assunção Montenegro[6]

RESUMO – O Semiárido brasileiro é caracterizado pela irregularidade pluviométrica e elevadas taxas de evapotranspiração, demandando estratégias que conciliem segurança hídrica e sustentabilidade. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de práticas conservacionistas associadas à irrigação com águas residuárias, buscando compreender como fatores edáficos e climáticos influenciam a cobertura vegetal e o desenvolvimento de sistemas consorciados. O estudo vem sendo conduzido por meio de monitoramento ambiental na Unidade Experimental de Reúso Hidroagrícola de Rendeiras (ETE Rendeiras), em Caruaru–PE, e na Unidade Experimental de Reúso Hidroagrícola Unifamiliar, localizada no Vale Aluvial do Mimoso (VAM), em Pesqueira–PE. A metodologia baseou-se no uso de sensoriamento remoto com drone para obtenção do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da palma forrageira consorciada com outras espécies forrageiras. Os resultados demonstraram que a cobertura morta promoveu maior vigor vegetativo e redução da temperatura superficial, minimizando os efeitos da qualidade da água utilizada na irrigação. Conclui-se que a cobertura morta constitui estratégia eficiente para melhorar as condições edáficas e favorecer o desenvolvimento vegetal em ambientes semiáridos.

ABSTRACT – The Brazilian semi-arid region is characterized by irregular rainfall distribution and high evapotranspiration rates, requiring strategies that reconcile water security and environmental sustainability. This study aimed to evaluate the efficiency of conservation practices associated with wastewater irrigation, seeking to understand how edaphic and climatic factors influence vegetation cover and the development of intercropping systems. The research is being conducted through environmental monitoring at the Hydroagricultural Reuse Experimental Unit of the Rendeiras, located in Caruaru, Pernambuco State, and at the Single-Family Hydroagricultural Reuse Experimental Unit in the Mimoso Alluvial Valley (MAV), Pesqueira, Pernambuco State, Brazil. The methodology was based on remote sensing using unmanned aerial vehicles (UAVs) to obtain the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of forage cactus intercropped with other forage species. Results showed that mulch application improved vegetation vigor, increased soil moisture, and reduced soil surface temperature, mitigating the effects of irrigation water quality. It can be

[1])Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, PE, Brasil; e-mail: vichagas26@gmail.com
[2])Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, PE, Brasil; e-mail: ravi.melo@ufrpe.br
[3])Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, PE, Brasil; e-mail: eric.fernandez@ufrpe.br
[4])Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, PE, Brasil; e-mail: l.elineagro0@gmail.com
[5])Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, PE, Brasil; e-mail: thayna.britoalmeida@ufrpe.br
[6])Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, PE, Brasil; e-mail: montenegro.ufrpe@gmail.com

concluded that mulch is an effective conservation practice for improving edaphic conditions and supporting plant development in semiarid environments.

Palavras-Chave – Semiárido, NDVI, Palma forrageira.

INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro compreende aproximadamente 12% do território nacional, abrangendo nove estados e uma população de cerca de 28 milhões de habitantes (INSA, 2023). A região é caracterizada por chuvas irregulares e elevadas taxas de evapotranspiração, condições que intensificam a escassez hídrica e limitam o desenvolvimento da produção agrícola (Ferreira *et al*., 2019; Falkenmark & Rockström *et al*., 2010). Por sua vez, a escassez hídrica configura-se como um problema de escala mundial, especialmente em regiões semiáridas (Ingrao *et al*., 2023), estando diretamente relacionado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 (fome zero e agricultura sustentável), 6 (água potável e saneamento), 12 (consumo e produção responsáveis) e 13 (ação contra a mudança global do clima) (ONU, 2015).

Nesse contexto, Azevedo Junior (2019) propõe o uso de efluentes tratados como fonte hídrica alternativa para períodos prolongados de estiagem, enquanto Mainardi *et al*. (2022) destacam que o reúso de águas também representa uma fonte de nutrientes, reduzindo a dependência de fertilizantes sintéticos. Entretanto, embora a irrigação com efluente tratado seja reconhecida como um recurso valioso para a agricultura, seu uso pode levar ao acúmulo excessivo de nutrientes no solo, causando impactos ambientais negativos (Mclennon *et al*., 2020). Desta forma, a adoção de práticas conservacionistas associadas a um manejo adequado da irrigação constitui uma estratégia para melhorar a produção de forragem durante os períodos de estiagem.

A cobertura morta, por exemplo, contribui para a conservação da umidade do solo e proporciona benefícios como o aumento da produtividade das culturas, especialmente em regiões com baixa disponibilidade hídrica (Li *et al*., 2018). Outro método conservacionista que vem sendo difundido é o consórcio de culturas. De acordo com Jardim *et al*. (2021), são variados os benefícios para os recursos naturais do solo, como adição de matéria orgânica, aumento de nutrientes, melhoria da biodiversidade e preservação da água. Essa prática é muito utilizada pelos agricultores para melhorar e intensificar o uso da terra de forma sustentável.

As geotecnologias tornam possível monitorar variáveis ambientais em grandes áreas com maior frequência, resolução espaço-temporal. Segundo Zhang *et al*. (2022), a coleta de dados e informações à distância utilizando equipamentos de registro, denominada sensoriamento remoto, pode utilizar Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) para a obtenção de informações referentes às áreas de estudo com alta resolução, sendo aplicada às mais diversas áreas. Por meio de câmeras multiespectrais

instaladas nos VANTs, índices podem ser determinados para auxiliar na compreensão das condições ambientais no momento da captura (Santos *et al.*, 2023). Essas abordagens permitem analisar padrões espaciais e temporais com maior robustez, viabilizando diagnósticos mais precisos e estratégias adaptativas de manejo.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade temporal de variáveis ecohidrológicas em lotes agrícolas do semiárido irrigados com efluente doméstico tratado, por meio do monitoramento de variáveis ambientais com sensores e da análise da produtividade e temperatura dos cultivos agrícolas sob diferentes condições de manejo do solo e conta com a parceria entre a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e a empresa privada TPF Engenharia, com apoio da empresa de paisagismo Verd'Fica, a fim de fortalecer ações de extensão, popularização e apropriação da temática por parte da sociedade.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em duas unidades experimentais de reúso hidroagrícola localizadas no Agreste de Pernambuco (Figura 1). A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Rendeiras, em Caruaru-PE (8º 16' 98" S; 35º 56' 31" W), e a Unidade Experimental de Reúso Hidroagrícola Unifamiliar, localizada no Vale Aluvial do Mimoso, em Pesqueira-PE (8º 21' 42" S; 36º 41' 41" W). Ambas as áreas apresentam clima BSh (semiárido quente), caracterizado por elevada evapotranspiração e precipitação irregular de acordo com Köppen-Geiger (1928).

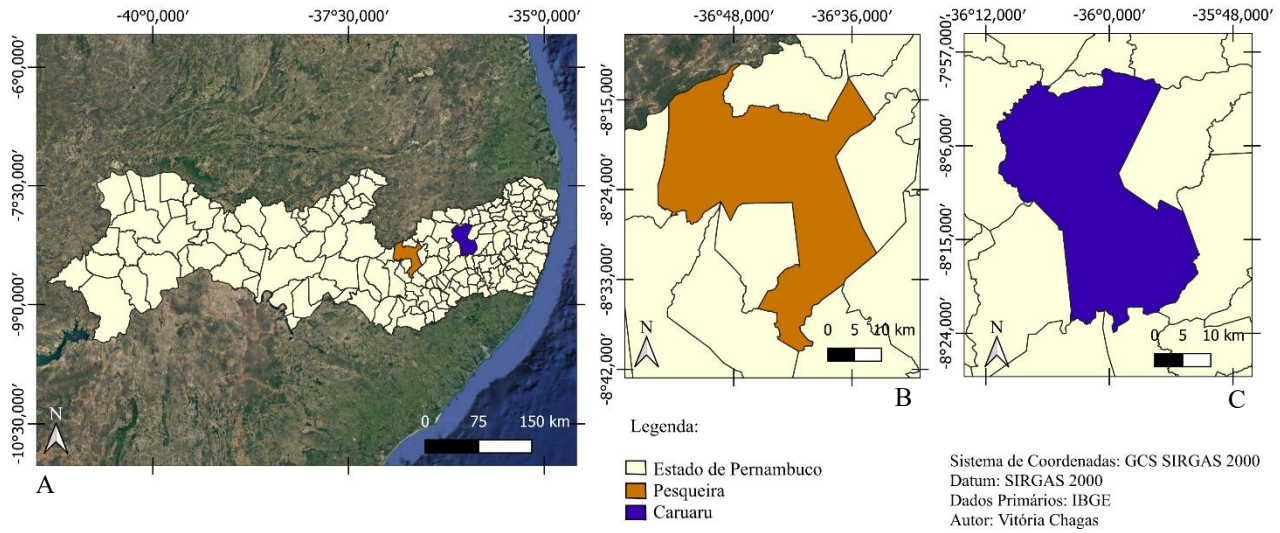


Figura 1 – Mapa de Pernambuco (A) com a localização do município de Pesqueira (B) e do município de Caruaru (C)

A ETE Rendeiras realiza um tratamento completo: inicia-se pelo preliminar, com gradeamento, desarenação e medição de vazão; seguindo para o secundário em reatores UASB, lodos ativados e lagoas de polimento para remoção de matéria orgânica; e finaliza com desinfecção por cloração.

Na Unidade Unifamiliar é utilizado o sistema SARA (Saneamento Ambiental e Reúso de Água), é um modelo unifamiliar com capacidade para 2650 litros (Mayer *et al*., 2021), desenvolvido pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA). É composto de caixa de gordura, tanque de equalização, reator UASB e lagoas de polimento para remoção de matéria orgânica.

Monitoramento multiespectral

Foram realizadas coletas de imagens com drone do modelo DJI Phantom 4 Multiespectral, o equipamento possui um sistema de câmeras que englobam cinco bandas multiespectrais, sendo elas: Azul; Verde; Vermelho; Borda vermelha e Infravermelho próximo. Os voos em altitude de 40 m geraram imagens com resolução de aproximadamente 1,6 cm por pixel e com 75% de sobreposição entre as imagens. Os índices de vegetação analisados foi o NDVI, determinado pela Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (1)$$

em que: NIR= Banda do Infravermelho Próximo; R= Banda do Vermelho.

O processamento das imagens em ortomosaico foi realizado através do software Agisoft Metashape e os índices de vegetação foram processados no software QGIS 3.40.11. Após os cálculos dos valores dos índices, os dados foram submetidos a análise utilizando a estatística descritiva, sendo determinado média, máximo, mínimo e desvio padrão para o índice.

Monitoramento das variáveis meteorológicas

As condições meteorológicas das áreas experimentais foram monitoradas por meio de dados de temperatura do ar, precipitação e evapotranspiração de referência (ET_0). Em Rendeiras (Figura 2), obtidos da estação automática da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e em Pesqueira, registrados por uma estação automática Campbell Scientific (CR1000).

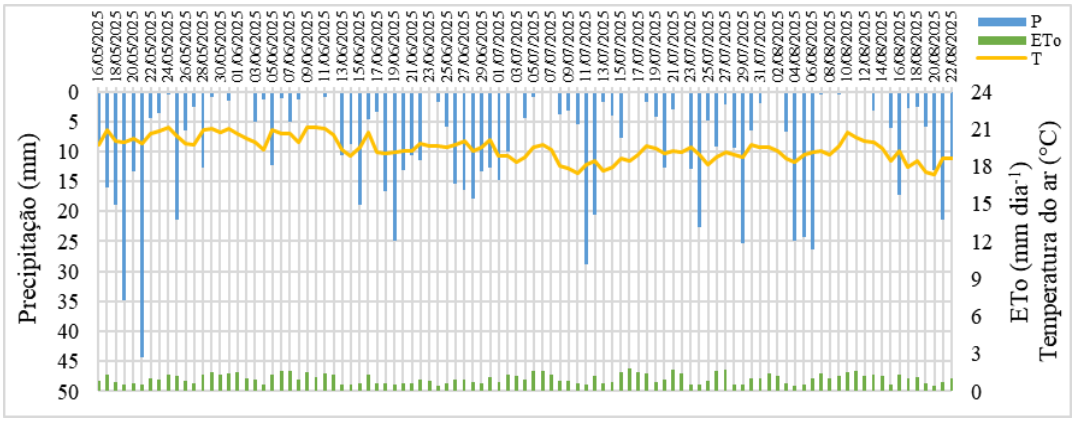


Figura 2 – Série temporal de temperatura, precipitação e evapotranspiração do município de Caruaru no período de 16 de maio de 2025 até 22 de agosto 2025

Os dados climáticos foram utilizados para a caracterização ambiental das áreas e para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) em Pesqueira (Figura 3) pelo método de Penman-Monteith, conforme proposto no FAO Irrigation and Drainage Paper 56 (Allen *et al*., 1998) como mostra a Equação 2:

$$ET_0 = \frac{0{,}408\times\Delta\times(R_n-G)+\gamma\times\frac{900}{T+273}\times u_2\times(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma\times(1+0{,}34\times u_2)} \qquad (2)$$

em que: ET_0= evapotranspiração de referência (mm.dia^{-1}); R_n = radiação útil na superfície da cobertura vegetal (MJ.(m².d^{-1})$^{-1}$); G= densidade do fluxo de calor no solo (MJ.(m².d^{-1})$^{-1}$); T=temperatura média diária a 2 m de altitude (ºC); u_2= velocidade do vento a 2 m de altitude (m.s^{-1}); e_s= pressão do vapor de saturação (kPa); e_a= pressão de vapor (kPa); Δ= declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa ºC $^{-1}$), γ= coeficiente psicrométrico (kPa °C^{-1}).

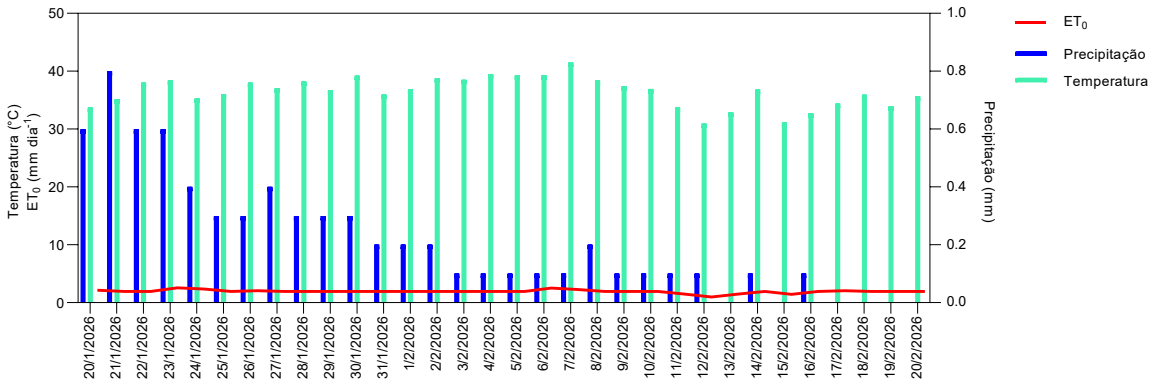


Figura 3 – Série temporal de temperatura, precipitação e evapotranspiração da comunidade de Mimoso, município de Pesqueira no período de 20 de janeiro de 2026 até 20 de fevereiro de 2026

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Monitoramento multiespectral

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos dados de NDVI obtidos na unidade ETE Rendeiras durante voo realizado em 16 de julho de 2025.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas do NDVI em palma forrageira e sorgo sob condições com e sem cobertura do solo

NDVI	Palma forrageira		Sorgo forrageiro	
	Com cobertura	Sem cobertura	Com cobertura	Sem cobertura
Média	0,684	0,661	0,787	0,763
Máximo	0,784	0,721	0,889	0,862
Mínimo	0,637	0,566	0,709	0,631
Desvio padrão	0,064	0,028	0,052	0,076

Os maiores valores médios de NDVI foram observados nos tratamentos com cobertura morta para ambas as culturas, chegando a 0,784 para palma e 0,889 para o sorgo forrageiro, evidenciando melhor condição vegetativa. O efeito foi mais pronunciado no sorgo forrageiro, indicando maior dependência da conservação da umidade do solo promovida pela cobertura.

Na Unidade Experimental de Reuso hidroagrícola unifamiliar, a estatística descritiva do NDVI da palma forrageira nos voos realizados no dia 20 de janeiro de 2026 (janeiro) e 25 de fevereiro de 2026 (fevereiro) é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Estatística descritiva do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada em duas datas de avaliação (20 de janeiro de 2026 e 25 de fevereiro de 2026), onde LI e LS representam os limites inferior e superior do intervalo de confiança (95%). CV = coeficiente de variação

Data	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	DP	CV(%)	1º Q	3º Q	LI	LS
Janeiro	0,647	0,646	0,779	0,475	0,079	12,221	0,601	0,713	0,433	0,882
Fevereiro	0,458	0,458	0,606	0,287	0,080	17,385	0,393	0,520	0,202	0,712

Houve redução dos valores médios de NDVI entre janeiro e fevereiro, passando de 0,647 para 0,458, indicando diminuição do vigor vegetativo ao longo do período monitorado. O aumento do coeficiente de variação sugere maior heterogeneidade espacial da cobertura vegetal, possivelmente associada às condições climáticas mais restritivas observadas no segundo período (Figura 3).

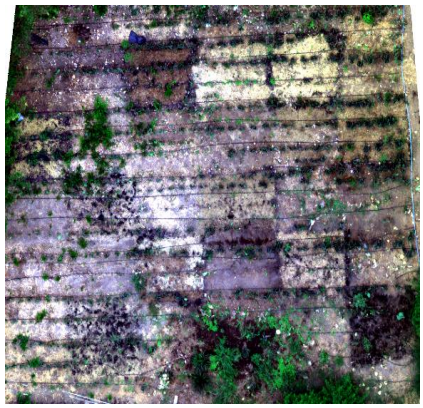
A  B 

Figura 3 – Imagem do voo do dia 20.01.2026 (A) e voo do dia 25.02.2026 (B)

Os resultados obtidos reforçam o papel da cobertura morta como uma prática conservacionista eficiente na redução das perdas de água por evaporação, favorecendo a manutenção da umidade do solo e proporcionando um ambiente mais estável para os processos físicos, químicos e biológicos do sistema edáfico. Resultados semelhantes foram reportados por Li *et al*. (2018), que observaram melhorias na conservação da água no solo e no desempenho das culturas sob diferentes técnicas de cobertura morta, e por Zhang, Yuan e Han (2022), que verificaram que a cobertura vegetal reduz o acúmulo de sais e melhora as condições hídricas do solo em ambientes sujeitos à escassez de água.

Sob a perspectiva do reúso hidroagrícola, a associação entre irrigação com águas residuárias tratadas e práticas conservacionistas potencializa a eficiência do manejo, minimizando os efeitos das condições climáticas adversas características do Semiárido e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Nesse contexto, Azevedo Júnior *et al*. (2019) demonstraram que a irrigação com efluente doméstico tratado promove ganhos produtivos e nutricionais na palma forrageira, enquanto Mayer *et al*. (2021) e Santos *et al*. (2023) destacam o reúso agrícola como uma estratégia viável para aumentar a disponibilidade hídrica e a resiliência dos sistemas agrícolas em regiões de escassez. Dessa forma, a adoção integrada dessas estratégias representa uma alternativa promissora para o aumento da eficiência do uso da água, a conservação dos recursos naturais e o fortalecimento da sustentabilidade da agricultura familiar no Semiárido brasileiro.

CONCLUSÕES

A utilização da cobertura morta promoveu melhorias no desenvolvimento vegetativo das culturas, refletidas pelos maiores valores de NDVI observados nas áreas manejadas com essa prática. Esse comportamento evidencia a capacidade da cobertura em proporcionar condições mais favoráveis ao crescimento das plantas, especialmente pela redução das perdas de água por evaporação,

manutenção da umidade do solo e atenuação das variações térmicas na superfície, fatores essenciais para o estabelecimento e o vigor vegetativo em ambientes semiáridos.

As variações temporais do NDVI demonstraram sensibilidade às condições meteorológicas, indicando a influência direta da disponibilidade hídrica e das oscilações microclimáticas sobre a dinâmica das culturas. Esses resultados ressaltam a importância do monitoramento contínuo de indicadores biofísicos e ambientais para a compreensão das respostas das plantas às condições de manejo e do ambiente.

Além disso, a integração entre o reúso hidroagrícola, a adoção de cobertura morta e o cultivo consorciado apresentou potencial para aumentar a eficiência do uso da água e a resiliência dos sistemas produtivos do Semiárido, constituindo uma estratégia promissora para a sustentabilidade da agricultura familiar em regiões de elevada vulnerabilidade hídrica. Nesse contexto, o emprego de geotecnologias, especialmente o sensoriamento remoto, mostrou-se uma ferramenta eficiente para o monitoramento da vegetação, fornecendo informações relevantes para subsidiar práticas de manejo sustentável da água e do solo e apoiar a tomada de decisão em sistemas agrícolas irrigados.

AGRADECIMENTOS

Ao suporte do CNPq (projeto MAIDAI), COMPESA e TPF Engenharia, pelo financiamento das investigações. Os autores também agradecem a parceria com Instituto Nacional do Semiárido (INSA), e com a empresa Verd´Fica.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO JÚNIOR, M.S.; *et al*. (2019). *"Produtividade e teor de nutrientes em palma forrageira irrigada com efluente de esgoto doméstico"*. Irriga 24(4), pp. 830–842.

FALKENMARK, M.; ROCKSTRÖM, J. (2006). *"The new blue and green water paradigm"*. Journal of Water Resources Planning and Management 132(3), pp. 129–132.

FERREIRA, D.F. (2026). *Sisvar*. Versão 5.6. Lavras: UFLA/DEX. Disponível em: http://www.dex.ufla.br/~danielff/programas/sisvar.html. Acesso em: 09 fev. 2026.

INGRAO, C.; *et al*. (2023). *"Water scarcity in agriculture"*. Heliyon 9(8), e18507.

INSA – INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (2026). *O Semiárido brasileiro*. Disponível em: https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro. Acesso em: 05 fev. 2026.

JARDIM, A.M.R.F.; *et al*. (2021). *"Intercropping forage cactus and sorghum"*. Journal of Arid Environments 188, pp. 1–11.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag.

LI, S.; LI, Y.; LIN, H.; FENG, H.; DYCK, M. (2018). *"Effects of different mulching technologies"*. Agricultural Water Management 201, pp. 309–318.

MAINARDI, P.H.; BIDOIA, E.D. (2022). "*Processos convencionais e promissores de inativação ou remoção do SARS-COV-2 de esgotos: revisão de princípios e mecanismos de ação".*

MAYER, M.C.; *et al*. (2021). *"Tratamento de esgoto na zona rural visando ao reuso agrícola"*. Revista DAE 69(229), pp. 104–114.

MCLENNON, E.; *et al*. (2020). *"Biochar and nitrogen application rates"*. Science of the Total Environment 715, 137012.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*.

SANTOS, A.F.; *et al*. (2023). *"Urban wastewater as a source of reclaimed water"*. Environments 10, p. 17.

SILVA, J.A. (2023). *"Wastewater treatment and reuse"*. Sustainability 15, 10940.

ZHANG, Y.; YUAN, W.; HAN, L. (2022). *"Residue mulching alleviates salt accumulation".* Agriculture 12(4), p. 509.