

XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

DINÂMICA HISTÓRICA DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA DA CANA-DE- AÇÚCAR EM REGIÃO AGRÍCOLA DO NORDESTE DO BRASIL

Antônio Heriberto de Castro Teixeira¹ ; Inajá Francisco de Sousa²; Janice Freitas Leivas³;

Celina Maki Takemura⁴ & Thiago Luiz dos Santos⁵

RESUMO – Imagens MODIS foram usadas com dados climáticos para o período de 2007 a 2024, para análises em larga escala da produção de biomassa (BIO) em canaviais na região do SEALBA, Nordeste do Brasil. A precipitação (P) foi espacialmente quantificada com dados de pluviômetros interpolados e a BIO estimada com aplicação conjunta do algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) e do modelo da eficiência do uso da radiação (EUR). A média anual de P ficou na faixa de 3.172 mm em 2021 a 8.555 mm em 2009, enquanto BIO esteve entre 8,3 Mt em 2020 e 11,6 Mt em 2007. As análises mostraram atrasos entre o suprimento de água pelas chuvas e os níveis de umidade na zona das raízes, destacando a razão de evapotranspiração, i.e. a razão entre a evapotranspiração atual (ET) pela de referência (ET₀), como o melhor indicador de umidade para a zona das raízes as plantas, cujos valores mostraram benefícios de irrigação suplementar durante a transição nas fases iniciais e finais da cultura. Foi demonstrado que as análises de BIO em larga escala têm potencial para subsidiar as políticas públicas que almejam o manejo sustentável da cultura da cana-de-açúcar bem como sua expansão racional.

ABSTRACT– MODIS satellite images were used with weather data for large-scale biomass production (BIO) assessments in sugarcane fields, with a long-term data set from 2007 to 2024 in SEALBA region, Northeast Brazil. Precipitation (P) was spatially quantified from interpolated pluviometer data and BIO estimated by coupling SAFER with the radiation use efficiency model (RUE). The mean annual P ranged from 3,172 mm in 2021 to 8,555 mm in 2009, while for BIO this range was from 8.3 Mt in 2020 to 11.6 Mt in 2007. The assessments showed gaps between rainfall water supplies and root-zone moisture levels, highlighting the evapotranspiration ratio, i.e. the ratio of the actual (ET) to reference (ET₀) evapotranspiration, as the best plant root-zone moisture indicator, which showed benefits of supplementary irrigation during the initial and end crop phases. It was demonstrated that the BIO large-scale assessments using long-term series of data has potential to subsidize public policies which aim the sustainable sugarcane crop management as well as its rational expansion.

Palavras-Chave – bioenergia; radiação fotossinteticamente ativa, umidade na zona das raízes.

¹) Universidade Federal de Sergipe: Av. Marcelo Deda Chagas, bairro Rosa Else, CEP 49107-230, São Cristóvão SE; fone 79 988627751; e-mail: heribertoteixeira11@gmail.com

²) Universidade Federal de Sergipe: Av. Marcelo Deda Chagas, bairro Rosa Else, CEP 49107-230, São Cristóvão SE, fone: 79 91694585; email: inajafrancisco@gmail.com

³) Embrapa Territorial: Av. Soldado Passarinho, n. 303, bairro Jardim Chapadão, CEP 13070-115, Campinas-SP, fone: 19 983075555; email: janice.leivas@embrapa.br.

⁴) Embrapa Territorial: Av. Soldado Passarinho, n. 303, bairro Jardim Chapadão, CEP 13070-115, Campinas-SP, fone: 19 998393893; celina.takemura@embrapa.br

⁵) Universidade Federal de Sergipe: Av. Marcelo Deda Chagas, bairro Rosa Else, CEP 49107-230, São Cristóvão SE, fone: 79 988380530; e-mail: thiagolluiz@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A cultura da cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) é importante em várias partes do mundo, particularmente em regiões tropicais e subtropicais. Além da produção de açúcar, é também cultivada para a produção de etanol. O etanol proveniente do seu cultivo é consideravelmente menos impactante ao meio ambiente, em comparação com combustíveis fósseis, reduzindo consideravelmente a pegada de carbono (CHOOYOK et al., 2013). Entretanto, os manejos sustentáveis dos recursos hídricos e da vegetação nos canaviais são cruciais para prevenção dos impactos ambientais na coexistência com os ecossistemas naturais (JESUS et al., 2019).

A cultura da cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil é muito significativa para a economia regional. Entretanto os impactos ambientais provocados pela sua expansão podem causar riscos ao meio ambiente, demandando pesquisas para o manejo desses impactos com implementação de práticas para a sustentabilidade do seu cultivo (JESUS et al., 2019). Geotecnologias são ferramentas robustas para o monitoramento da BIO em larga escala, quando se visa a otimização dos manejos da cultura da cana-de-açúcar, aumentando a sustentabilidade enquanto se atinge a demanda de açúcar e de álcool (TEIXEIRA et al., 2024).

Para determinação e análises de BIO e das condições de umidade em larga escala nos campos cultivados com cana-de açúcar algoritmos distintos podem ser usados. No estudo corrente, o algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) é usado em conjunto com o modelo a eficiência do uso da radiação (EUA) (TEIXEIRA et al., 2024). As análises foram realizadas na região de crescimento agrícola chamada SEALBA, limitada pelos estados de Sergipe (SE), Alagoas (AL) e Bahia (BA), Nordeste do Brasil. Shapes de uso a terra delimitando os canaviais dentro do SEALBA em cada ano no período de 2007 a 2024, informações de produção municipal, imagens de reflectância do sensor MODIS e dados climáticos foram integrados para análises das dinâmicas da BIO visando-se subsídios ao manejo sustentável dos cultivos existentes e suas expansão racionais.

MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta a localização da região do SEALBA no Nordeste do Brasil (Fig. 1a) e seus municípios produtores com as estações climáticas do Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET - <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inmet>) (Fig.1b).

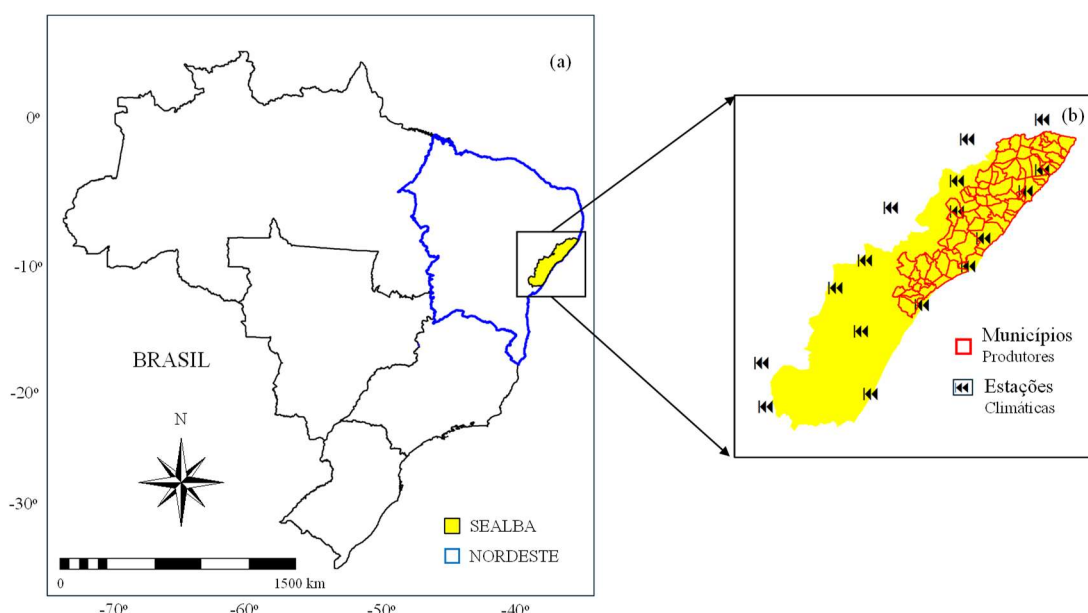


Figura 1 – Localização do SEALBA no Nordeste o Brasil (a) e municípios produtores com as estações climáticas (b).

As condições climáticas dos canaviais na região do SEALBA são tropicais, influenciadas pelas massas de ar úmidas provenientes do Oceano Atlântico, com elevadas temperaturas e umidade sob chuvas bem distribuídas ao longo do ano (FARIAS et al., 2023). Seguindo Silva et al. (2015), para o ciclo generalizado de doze meses da cultura da cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil, as fases consideradas foram quatro: Fase 1: Germinação; Fase 2: Perfilhamento, com duração de 120 dia, começando após 40 dias da germinação; Fase 3: Grande Crescimento, de 120 dias após a germinação até 270 dias depois desta; e Fase 4: Maturação, de 270 dias após a germinação até 360 dias após esta.

Os dados climáticos foram interpolados pelo método da Krigagem Ordinária, cruzando-se os shapes das áreas de canaviais com os municípios produtores dentro do SEALBA em um período histórico de 2007 a 2024. Para a BIO, os dados utilizados foram da radiação solar global incidente (R_G) e temperatura do ar (T_a) em conjunto com as reflectâncias das bandas 1 e 2 do produto MOD13Q1, com 250 m e 16 dias de resoluções espacial e temporal, respectivamente, sendo posteriormente extrapolados para escalas anuais. Em adição dados de precipitação também foram usados para caracterização do regime hídrico nos canaviais em condições de sequeiro e análises da relação das chuvas com BIO.

As equações da modelagem, bem como de suas validações em diferentes agroecossistemas do Nordeste do Brasil, estão descritas em detalhes em Teixeira et al. (2024), sendo aqui portanto resumidas aqui apenas as equações principais.

Com a utilização do SAFER, os valores diários da razão da evapotranspiração atual pela de referência ($ET_r = ET/ET_0$) foram modelados:

$$ET_r = \exp \left[a_{sf} + b_{sf} \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (1)$$

onde a_{sf} e b_{sf} são os coeficientes de regressão, T_0 é a temperatura da superfície, α_0 é o albedo da superfície e NDVI é o índice da diferença de vegetação normalizado

Na estimativa da BIO, o modelo da eficiência do uso da radiação será aplicado introduzindo o efeito da umidade na zona das raízes através de ET_r :

$$BIO = \varepsilon_{max} ET_r RAF_{abs} 0.864 \quad (2)$$

onde ε_{max} é eficiência máxima de uso da luz, considerada como $1,96 \text{ g MJ}^{-1}$ para cana-de-açúcar (MUCHOW et al., 1997), 0,864 é um fator de conversão e RAF_{abs} é a radiação fotossinteticamente absorvida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta, na escala de 16 dias das imagens MODIS, os valores, dos totais médios dos pixels para precipitação (P) e médios diários da razão de evapotranspiração (ET_r) (Fig. 2a); e médias diárias para a radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) e fração dessa radiação absorvida (f_{RFA}), nos canaviais dentro dos municípios produtores do SEALBA, para o período de 2007 a 2024, em termos de dia juliano (DJ).

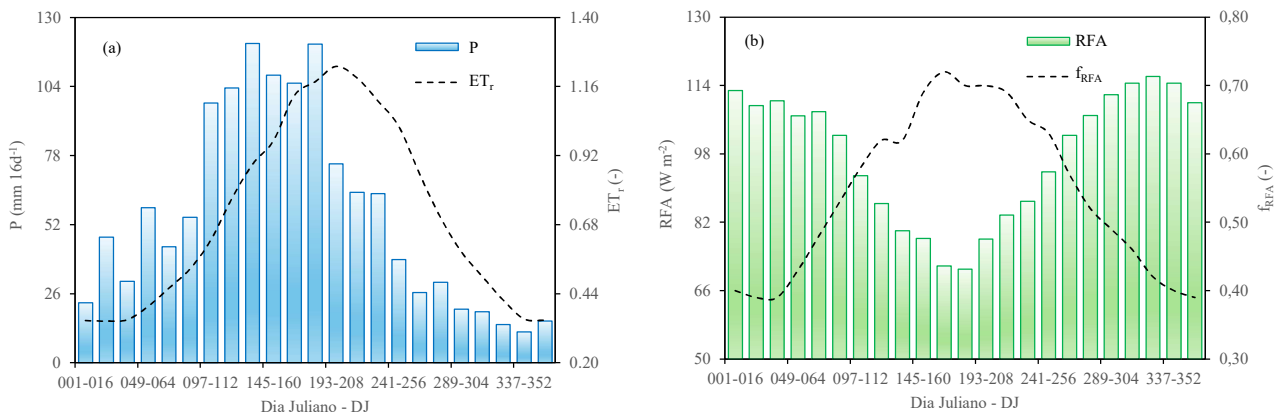


Figura 2 – Valores médios do totais de precipitação (P) na escala de 16 dias das imagens MODIS e diários para a razão de evapotranspiração (ET_r) (a); e médias diárias para a radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) e fração dessa radiação absorvida (b), nos canaviais relativos ao período de 2007 a 2024 dentro dos municípios produtores do SEALBA, em termos de dia juliano (DJ).

Com relação às condições hídricas, os maiores valores para P (Fig. 2a), acima de $100 \text{ mm } 16\text{d}^{-1}$, ocorrem de abril a julho (DJ 097 a 192), enquanto os menores, abaixo de $30 \text{ mm } 16\text{d}^{-1}$ são de setembro a janeiro (DJ 257 a 016). Considerando a umidade na zona das raízes representada pela razão de evapotranspiração (ET_r) (Fig. 2b), seus maiores valores são após o período chuvoso, mostrando um atraso nessas condições com relação a dinâmica das chuvas. Os valores superiores de ET_r , acima de 1,00, são geralmente na transição das fases generalizadas de grande crescimento à maturação, de junho a setembro (DJ 161-257), enquanto os valores inferiores, abaixo de 0,50 são de novembro a março (DJ 321-080), envolvendo as fases de transição maturação a colheita e germinação a perfilhamento.

Os valores de ET_r caracterizam as condições de umidade na zona das raízes afetando a BIO (LU et al., 2011) e sob ótimos níveis esse indicador pode ser considerado como o coeficiente de cultura (K_c), usado no manejo da irrigação (ZHANG et al., 2015) e para zoneamentos agroclimáticos (TEIXEIRA et al., 2024). Embora os valores de ET_r no estudo corrente sejam para a cultura da cana-de-açúcar sob condições de sequeiro, estes variaram entre 0,35 e 1,25, com média de 0,71, mostrando que em geral, as plantas estão sob boas condições de umidade na zona das raízes similares de K_c tabelados pela FAO por Allen et al. (1998) que representam condições potenciais para a cultura sob condições de irrigação, diferindo apenas próximo às colheitas, quando o K_{c_end} da FAO é de 0,75, contra o valor de 0,40 nas áreas produtoras do SEALBA.

O período de maior radiação solar disponível para o processo fotossintético das plantas ocorre de setembro a abril (DJ 257 a 096), coincidindo com as menores quantidade de chuvas, sendo os valores médios de radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) acima de 100 Wm^{-2} (Fig. 2b), envolvendo o período de posição zenital do Sol com ausência de chuvas na região (FARIAS et al. 2023). Os valores inferiores, abaixo de 80 Wm^{-2} são de maio a julho (DJ 145-208), momentos envolvendo o solstício de inverno hemisfério Sul, entretanto, mesmo este período de menor disponibilidade energética coincide com a fase de grande crescimento dos canaviais, a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFA_{abs}) é elevada, favorecendo a BIO. Os períodos de maiores níveis de RFA no começo e no final do ano ocorrem das Fases 1 e 4 dos canaviais, mas como a região é próxima ao equador (Fig. 1), as amplitudes energéticas não são tão grandes, com pouca limitação nos efeitos na BIO, mesmo com menores valores da RFA no meio do ano.

A Figura 3 mostra as variações dos valores médios dos pixels com desvio padrão (DP) da BIO na escala temporal de 16 dias das imagens MODIS ao longo do ano, nos canaviais nos municípios produtores do SEALBA, em termos de dias julianos (DJ).

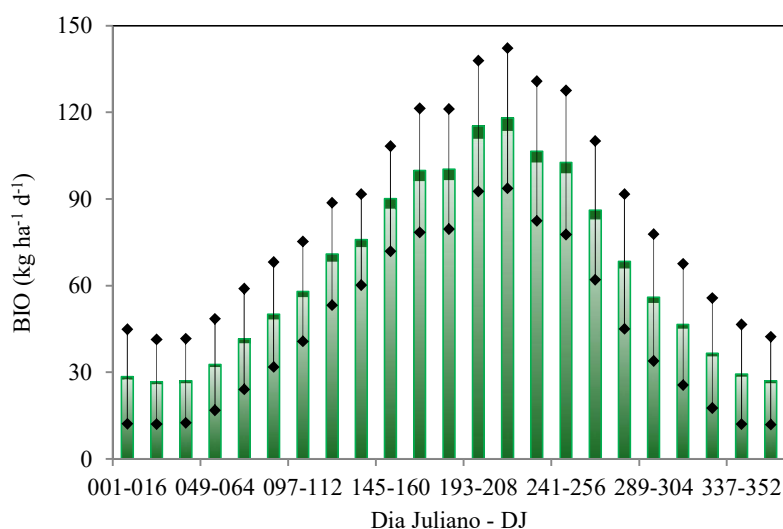


Figura 3 – Médias e desvios padrões (DP) para a produção de biomassa (BIO) na escala temporal de 16 dias (16d) das imagens MODIS, para os canaviais nos municípios produtores da região do SEALBA, em termos de dias julianos (DJ).

Os maiores valores da BIO, acima de $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, acontecem no final do período chuvoso, de junho a setembro (DJ 177 a 256), portanto sob condições de bons níveis de umidade na zona das raízes, resultantes das elevadas quantidade de chuvas prévias, mostrando que mesmo com a redução das chuvas após o final de agosto, a zona das raízes das plantas de cana ainda tem bom nível de umidade disponível até o final de setembro para manutenção de uma elevada BIO. As menores taxas são no início e no final do ano, abaixo de $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de novembro a março (DJ 321-064), no período climaticamente mais seco (ver também Fig. 2a).

Na região do SEALBA, considerando o ciclo generalizado da cana-de-açúcar de 12 meses, como os produtores em geral fazem o plantio no início do período chuvoso, percebe-se pelos valores da BIO na Figura 3, indicativos dos inícios dos ciclos no período de fevereiro a março (DJ 049-064). Com essa consideração, eles estrategicamente ajustam os ciclos produtivos com as exigências hídricas da cultura. O período de maior BIO então coincide com aquele entre as Fases 2 (perfilhamento) e 3 (grande crescimento) enquanto o de menor BIO ocorre na Fase 4 (maturação). Durante as fases de crescimento ativo, o déficit hídrico reduz a área foliar, afetando o número de perfilhos e folhas por colmo (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005), entretanto, na Fase 4, elevadas quantidades de chuvas não são desejáveis por proporcionarem produções de baixa qualidade (TEJERA et al., 2007). Portanto a quantidade de chuvas nas áreas produtoras do SEALBA em geral atende bem os canaviais para uma BIO elevada, sendo, entretanto, recomendável irrigação suplementar em alguns períodos com deficiência hídrica, havendo disponibilidade de água para essa prática.

A Figura 4 apresenta as relações da BIO com a com os fatores hídricos P e ET_r e com os fatores energéticos RFA e f_{RFA} , para a escala de 16 dias das imagens MODIS, nos canaviais dos municípios produtores dentro do SEALBA.

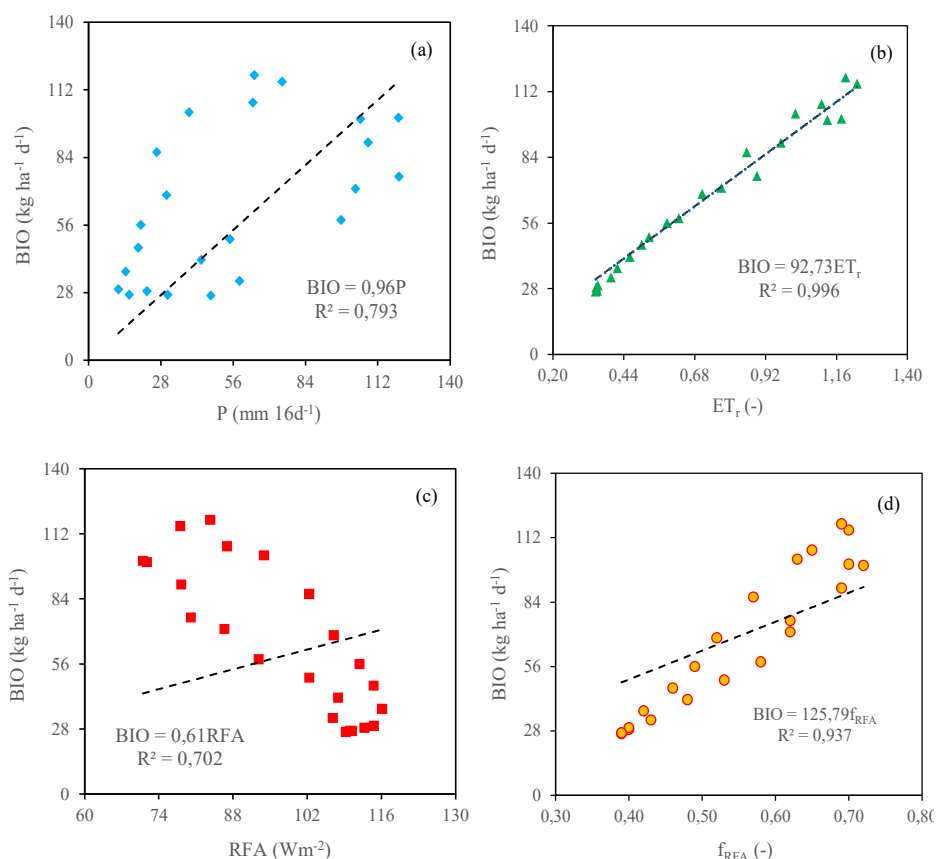


Figura 4 – Relações da produção de biomassa (BIO) com fatores hídricos e de energia nos canaviais na região do SEALBA: BIO com a precipitação – P (a); BIO com a razão de evapotranspiração – ET_r (b); BIO com a radiação fotossinteticamente ativa – RFA (c); e BIO com a fração da RFA absorvida – f_{RFA} .

Com relação à influência dos fatores hídricos percebe-se uma relação bem mais forte da BIO com a ET_r , com R^2 de 0,996 (Fig. 4a) do que para P, com R^2 de 0,793 (Fig. 4b). Essas diferenças são devidos aos diferentes tempos entre as precipitações e o umedecimento do solo, deixando a umidade na zona das raízes ainda elevada após as chuvas (ver também Fig. 2a). Com relação aos fatores energéticos, a mais baixa correlação da BIO com RFA ($R^2 = 0,702$), deve-se ao fato de que os maiores níveis de radiação solar acontecem fora do período das chuvas, com baixos níveis de umidade na zona das raízes adicionados ao fato dos canaviais estarem nas fases generalizadas de germinação ao perfilhamento e da maturação à colheita nesses momentos. Por outro lado, mesmo sob níveis de radiação solar inferiores, a absorção da RFA no meio do ano é elevada, pois os canaviais se encontram na fase de grande crescimento para a maturação, elevando os valores da f_{RFA} sob boas condições de

área foliar pelo desenvolvimento dos dosséis e da umidade na zona das raízes devido às chuvas do meio do ano (Figuras 2 e 4).

Considerando-se a variação das áreas cultivadas com cana-de-açúcar ao longo dos anos de 2007 a 2024 nos municípios produtores dentro do SEALBA, a Tabela 01 apresenta um histórico da BIO e dos fatores atuantes nas suas taxas, com a extensão das áreas de acordo com os shapes do MapBiomass.

Tabela 1 – Histórico da produção de biomassa e fatores que atuam em suas taxas nos canaviais na região do SEALBA, considerando as áreas totais nos seus municípios produtores durante os anos de 2007 a 2024, de acordo com os shapes do MapBiomass.

Ano	A_{cana} (ha)	P (hm³)	RFA (GW)	RAF_{abs} (GW)	BIO (Mt)
2007	463.125	3.660	432	229	11,6
2008	462.925	6.451	438	241	10,0
2009	460.650	8.555	450	239	9,0
2010	461.463	7.502	442	252	11,2
2011	464.225	7.782	431	245	10,3
2012	464.075	4.623	462	245	10,3
2013	451.406	6.236	439	228	8,8
2014	447.713	6.524	431	246	10,9
2015	440.225	5.093	434	226	7,2
2016	428.381	4.240	421	223	8,4
2017	394.650	5.777	385	188	6,8
2018	392.119	4.522	385	223	10,1
2019	392.950	4.249	397	222	9,0
2020	392.775	5.008	370	204	8,3
2021	393.731	3.172	367	205	8,5
2022	369.681	5.204	358	211	10,5
2023	385.938	5.847	369	221	9,8
2024	493.375	6.055	462	264	10,8
Média	431.078	5.583	415	229	10,0

*A_{cana} – Área cultivada com a cana de açúcar no ano; P – Precipitação; RFA – Radiação fotossinteticamente ativa incidente; RAF_{abs} – Radiação fotossinteticamente ativa incidente absorvida; BIO – Produção de biomassa

Pela Tabela 1, ocorreram flutuações nas áreas com canaviais ao longo dos anos no SEALBA. De 2007 a 2012 os valores são estáveis, em torno de 462.744 ha, caindo a seguir até 2017, com um percentual de queda de 15%, daí estabilizando novamente até 2021, com valores em torno de 393.245 ha, tornando novamente a reduzir em 2022 em um percentual de 7%. A partir desse ano apresenta crescimento até 2024 quando chega a maior área cultivada acima de 493.000 ha para todo o período analisado, contabilizando 7% da extensão da cana cultivada em 2007. Estas mudanças de área cultivada, somadas as diferenças entre as quantidades de precipitações e de demandas atmosféricas, interferem na BIO total da cana-de-açúcar em escala regional.

Com relação às precipitações, a maior quantidade de chuvas foi em 2009, com P maior que 8.500 hm³ e área cultivada acima de 460.500 ha, com elevados valores da RFA e da RAF_{abs} de 450 e

239 GW, respectivamente, mas com uma taxa da BIO de 9,0 Mt, não correspondendo ao limite superior ao longo dos anos. O maior valor da BIO, de 11,6 Mt, ocorreu em 2007 com uma precipitação total inferior a 4.000 hm³, representando 43% daquela em 2009, em uma área cultivada também superior a 460.500 ha. Em termos de radiação solar, os maiores valores para ambos RAF e RAF_{abs} de 462 e 264 GW, respectivamente, ocorreram em 2024, mas não correspondendo à maior BIO ao longo dos anos analisados, apesar de representar 93% desta que aconteceu em 2007.

Pelos valores apresentados na Tabela 1, percebe-se que o atraso entre o suprimento e água pelas chuvas e os bons níveis de umidade na zona das raízes das plantas fazem com que os maiores valores da BIO também apresentem essa defasagem com relação às chuvas e aos níveis de radiação solar. Da Figura 5 confirma-se que os valores de ET_r, caracterizando os níveis de umidade na zona das raízes é o que interfere mais na magnitude da BIO (LU et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2024).

CONCLUSÕES

O uso integrado de parâmetros obtidos por sensoriamento remoto de imagens MODIS com dados climáticos, permitiram modelagens e análises da produção de biomassa (BIO) em larga escala de canaviais em áreas produtoras as região de crescimento agrícola do SEALBA, Nordeste do Brasil. A razão da evapotranspiração atual pela de referência, modelada através dessa integração, se apresentou como um bom indicador de umidade na zona das raízes das plantas na estimativa da BIO, se sobressaindo sobre a precipitação, radiação solar e fração dessa radiação absorvida para o processo fotossintético.

A modelagem evidenciou que as quantidades de chuvas no SEALBA em geral promovem bons níveis da BIO na cana-de-açúcar e que os produtores estrategicamente ajustam o ciclo da cultura às boas condições de umidade na zona das raízes, principalmente com relação às fases de perfilhamento e de grande crescimento, com o período de alguma escassez hídrica ocorrendo na fase de maturação, sendo esta condição favorável aos bons conteúdos de açúcar. Entretanto, alguns períodos de escassez de chuvas mostraram a possibilidade de benefícios à BIO com irrigação suplementar.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo suporte ao projeto de aplicação de geotecnologias na região do SEALBA (Processo 311532/2021-7) e à FAPITEC pela disponibilidade de recursos através do projeto no edital FAPITEC/SE/FUNTEC N° 01/2024, Processo n° 019203.01252/2024-0.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). *Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy, 300 p.
- CHOOYOK, P.; PUMIJUMNOG, N.; USSAWARUJIKULCHAI, A.T. (2013). “The water footprint assessment of ethanol production from molasses in Kanchanaburi and Supanburi province of Thailand”. *Procedia APCBEE* 5, pp. 283–287.
- FARIAS, DE J.; TEIXEIRA, A. H. de C., SOUSA, I.F. DE; LEIVAS, J.F.; TAKEMURA, C.M.; GARÇON, E.A.M (2023). “Large-scale water balance modeling using remote sensing and weather data: Application in an agricultural growing region of the coastal northeast Brazil”. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 32, 101072.
- INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. (2005). “Water relations in sugarcane and response to water deficits”. *Field Crops Research* 92, pp. 185–202.
- JESUS, K.R.E.; TORQUATO, S.A.; MACHADO, P.G.; ZORZO, C.R.B; CARDOSO, B.O.; LEAL, M.R.L.V.; PICOLI, M.C.A.; RAMOS, R.C.; DALMAGO, G.A.; CAPITANI, D.H.D.; DUFT, D.G.; SUÁREZ, J.F.G.; PIEROZZI Jr. I.; TREVELIN, L.C.; MOREIRA, D.A. (2019). “Sustainability assessment of sugarcane production systems: SustenAgro Decision Support System”. *Environmental Development* 32, pp. 1-16.
- LU, N.; CHEN, S.; WILSKÉ, B.; SUN, G.; CHEN, J. (2011). “Evapotranspiration and soil water relationships in a range of disturbed and undisturbed ecosystems in the semi-arid Inner Mongolia, China”. *Journal of Plant Ecology* 4, pp. 49-60.
- MUCHOW, R.C., EVENSEN, C. OSGOOD, R.V., ROBERTSON, M.J. (1997). “Yield accumulation in irrigated sugarcane: Utilization of intercepted radiation”. *Agronomy Journal* 89, pp. 646-652.
- SILVA, T.G.F. DA; MOURA, M.S.B. DE; ZOLNIER, S.; SOARES, J.M.; VIEIRA, V.J. DE S.; JÚNIOR, W.F.G. (2011). “Demanda hídrica e eficiência do uso da água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15, pp. 1257–1265.
- TEIXEIRA, A.H. de C.; LEIVAS, J.F.; TAKEMURA, C.M.; PACHECO, E.P.; GARÇON, E.A.M.; SOUSA, I.F.; ALMEIDA, A.Q.; THENKABAIL, P.S.; AZEVEDO, A.F.M.S. (2024). “Modeling and monitoring water productivity by using geotechnologies”, in “Remote Sensing Handbook”, 2nd ed; Org. por Thenkabail, P.S., ed. CRC Press- Taylor & Francis; v. 5, pp. 383 - 421.
- TEJERA, N.A.; RODES, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. (2007). “Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars”. *Field Crops Research* 102, pp. 64–72.
- ZHANG, H.; ANDERSON, R.G.; WANG, D. (2015). “Satellite-based crop coefficient and regional water use estimates for Hawaiian sugarcane”. *Field Crops Research* 180, pp. 143–154.