

## Avaliação dos índices biofísicos de vegetação derivados de dados Sentinel-2 como bioindicadores do potencial produtivo dos cultivares de cana-de-açúcar

José Neto Soares Filho 

Doutorando em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Nova de Lisboa, Portugal. (Autor correspondente: jose.neto.soares@hotmail.com)

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 01/05/2023 – Revisado em: 09/10/2023 – Aceito em: 28/03/2024

### RESUMO

O estudo teve como objetivo avaliar a eficiência dos índices biofísicos de vegetação (Área Foliar - IAF e fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida – fAPAR) derivados de *Open Data* Sentinel-2 como bioindicadores do potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar (RB867515, RB980882, RB966928, RB92579, RB928064, RB845210, CTC09 e BlocoMix). A pesquisa foi desenvolvida na Energética Serranópolis-Goiás nas safras 2018, 2019 e 2020 sobre 28 talhões comerciais. Os índices biofísicos foram processados no software *Open Source Sentinel Application Platform* utilizando o modelo de transferência de radiação RTM PROSAIL. Os dados de rendimento agroindustrial usados para validação das análises de variância através de modelos de regressão linear múltipla foram obtidos mediante relatório anual de colheita. As curvas de resposta morfofisiológica normalizadas pelos valores IAF e fAPAR gerou um banco de dados com assinatura espectral dos cultivares, permitindo discriminá-los com 100% de acurácia. Baseado no modelo de regressão linear múltipla conjugando os parâmetros IAF, fAPAR e Dias Após Plantio, obteve-se o ranqueamento da produtividade dos cultivares em três grupos (RB988082, RB867515/2016 e BlocoMIX e RB92579), (CTC9 e RB845210) e (RB966928, RB867515/2013 e RB928064). Os índices fAPAR e IAF, sob a ótica da cartografia temática também foram utilizados pelos *stakeholders* para identificar zonas com necessidade de intervenção agrônômica sob manejo diferenciado na Fazenda 018.

**Palavras-Chaves:** Índices de vegetação, Modelagem, Sensoriamento remoto.

## Evaluation of biophysical vegetation indices derived from Sentinel-2 data as bioindicators of the productive potential of sugarcane cultivars

### ABSTRACT

The study aimed to evaluate the efficiency of biophysical indices of vegetation (Leaf Area Index - LAI and fraction of Photosynthetically Active Radiation Absorbed - fAPAR) derived from Open Data Sentinel-2 as bioindicators of the productive potential of sugarcane cultivars (RB867515, RB980882, RB966928, RB92579, RB928064, RB845210, CTC09 and BlocoMix). The research was carried out at Energética Serranópolis-Goiás in the 2018, 2019 and 2020 agricultural seasons on 28 commercial fields. The biophysical indices were processed using the Open Source Sentinel Application Platform software, using the RTM PROSAIL radiation transfer model. The agroindustrial yield data used to validate the analysis of variance through multiple linear regression models were obtained through the annual harvest report. The morphophysiological response curves normalized by the LAI and fAPAR values generated a database with the spectral signature of the cultivars, allowing to discriminate them with 100% accuracy. Based on the multiple linear regression model combining the parameters LAI, fAPAR and Days After Planting, the productivity ranking of cultivars was obtained in three groups (RB988082, RB867515/2016 and BlocoMIX and RB92579), (CTC9 and RB845210) and (RB966928, RB867515/2013 and RB928064). Finally, The fAPAR and IAF indices, from the perspective of thematic cartography, were also used by stakeholders to identify zones in need of agronomic intervention under differentiated management on Farm 018.

**Keywords:** Modeling, Remote sensing, Vegetation indices.

Soares Filho, J. (2024). Avaliação dos índices biofísicos de vegetação derivados de dados Sentinel-2 como bioindicadores do potencial produtivo dos cultivares de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.5, n.2, p.02-22.



## 1. Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) no contexto do agronegócio brasileiro ocupa lugar de destaque devido ao seu valor para a produção de açúcar, fonte de co-geração de energia renovável e produção de etanol (biocombustível). É caracterizada como maior área de cultivo em escala global de produção, tendo o Brasil como maior produtor mundial com cerca de 39% da produção, seguido pela Índia como segundo maior produtor (FAO, 2020).

A cana-de-açúcar é uma planta semiperene de metabolismo fotossintético C4, cujo rendimento agroindustrial de sacarose (açúcar) é função de uma série de fatores de produção, tais como energia solar captada pelo dossel, a eficiência da conversão desta energia solar em energia química e biomassa, precipitação e temperatura, aptidão varietal, ambiente edáfico e outros (Vieira et al., 2012). Fatores genéticos como dimensão de superfície foliar e eficiência do uso da radiação para produção de fotoassimilados também contribuem para determinar o potencial produtivo da cana-de-açúcar, independentemente do ambiente de produção onde o material for alocado (Moore e Cosgrove, 1991).

A Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA, MJ/m<sup>2</sup>) corresponde a radiação eletromagnética no intervalo espectral entre 400-700nm absorvida pelos pigmentos clorofílicos das folhas da vegetação para realização da fotossíntese (Vettrita et al., 2011), sendo a fotossíntese um processo dependente da RFA que é influenciado pelo estágio fenológico da cultura, temperatura, disponibilidade de água, nutrientes no solo e tipo de metabolismo da planta (Kumar e Montheit, 1981).

No entanto, apenas parte da RFA denominada Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (fAPAR) é incluída nos agro-modelos para estimar a biomassa acumulada durante um determinado período em que a planta realiza fotossíntese (Baret et al., 2005). Sendo os valores fAPAR quantificados numa escala que varia de 0 a 1, onde o valor 0,0 representa áreas sem cobertura vegetal e 1,0 áreas com vegetação em crescimento ativo.

Outro parâmetro importante na análise do potencial produtivo da vegetação é o índice de área foliar (IAF) que representa a medida da cobertura vegetal definida pela razão entre a área total da superfície foliar pela área do solo ocupado (Danelichen et al., 2014).

Na última década, a ampla oferta de *softwares Open Source* para processamento digital de imagens e de imagens de satélites *Open Data* com alta resolução espacial e temporal, ampliou o portfólio de ferramentas para monitoramento e classificação dos cultivares, contribuindo para melhorar a previsão de rendimento agrícola das culturas, associado a indicativos de biomassa (Bégué et al., 2018).

Diante deste cenário, o emprego dos índices de vegetação para caracterizar e quantificar determinado parâmetro biofísico de culturas agrícolas apresentam duas vantagens: (1) Permite reduzir a dimensão das informações multiespectrais através de um simples número; (2) Fornece um número altamente correlacionado aos parâmetros agronômicos (Vygodskaia et al., 1989).

Neste contexto de geotecnologias disponibilizadas gratuitamente, o modelo de transferência de radiação – RTM PROSAIL na condição de algoritmo integrado no *software Sentinel Application Platform* (SNAP), apresenta vantagens sob dois aspectos: Primeiro, é algoritmo genérico que não exige dados de entrada específicos de uso e ocupação do solo, podendo ser estendido para determinar variáveis biofísicas e bioquímicas da vegetação em escala global. Segundo, contém a ferramenta *Simplified level 2 Products Prototype Processor* (SL2P), potencializando a análise de variáveis como: Conteúdo de Clorofila (a+b) no dossel (Cab), Índice de Área Foliar (IAF), fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (fAPAR), Conteúdo de Água no Dossel (CWC) e fração de Cobertura Vegetal (fCOVER) (Weiss e Baret, 2016).

Diante do exposto, este estudo se propôs avaliar a eficiência dos índices biofísicos de vegetação IAF e fAPAR derivados de dados Sentinel-2, processados utilizando o software SNAP/RTM PROSAIL como bioindicadores do potencial agronômico de cultivares cana-de-açúcar.

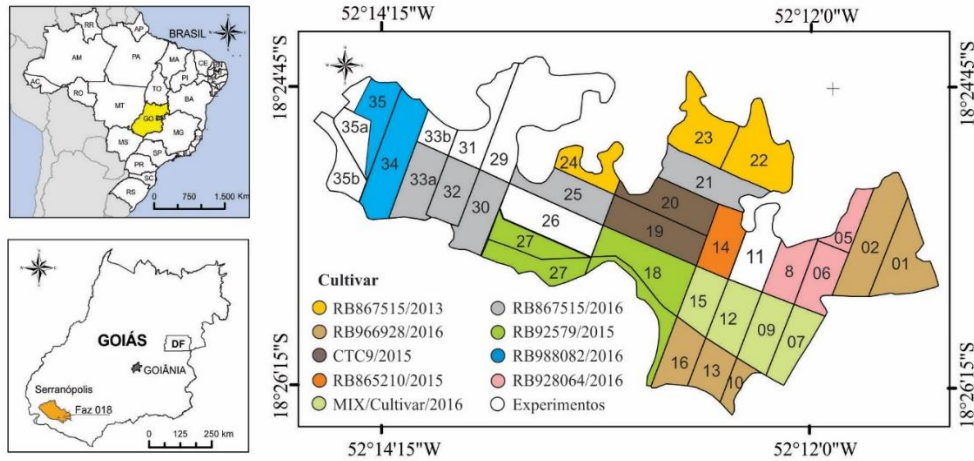
## 2. Material e Métodos

## 2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado nas safras agrícolas 2018, 2019 e 2020 na Fazenda 018 pertencente à Energética Serranópolis – Goiás (Figura 1). Representa 573,10 ha distribuídos sobre 28 talhões comerciais de cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro, plantadas nos anos de 2013, 2015 e 2016. Na área de estudo predomina as classes de solo Neossolos Quartzarênicos e Latossolo Vermelho- Amarelos (EMBRAPA, 2013).

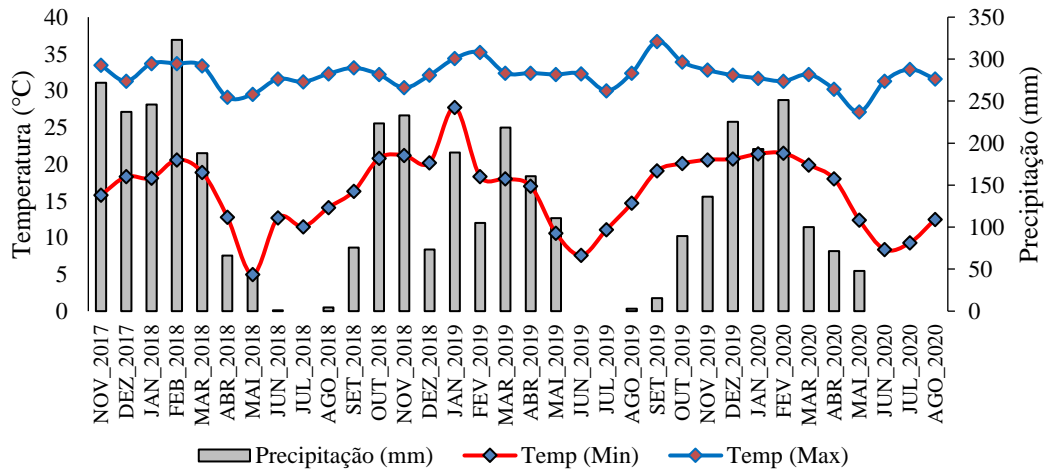
O clima da região de estudo é do tipo Aw, Tropical chuvoso segundo a classificação de *Koppen*. Possui duas estações bem definidas: uma seca, de maio a outubro e outra chuvosa de novembro a abril, apresentando temperatura média anual de 23°C e precipitação pluviométrica média de 1.500 mm (Cardoso, Marcuzzo e Barros, 2014). Os dados de temperatura e pluviometria são apresentados pela figura 2.

Figura 1 – Localização da área de estudo: Fazenda 018 – Serranópolis – Goiás



Fonte: O autor (2022); Mix/Cultivar: Talhões com duas ou mais cultivares; RB – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro – RIDESA; CTC – Centro de Tecnologia Canaveira

Figura 2. Dados climatológicos na área de estudo - safras 2018 a 2020. (INMET,2021)



Elaboração: O autor (2022). Fonte: Estações meteorológicas AO16 (Jati-GO) e A730 (Chapadão do Sul – MS) (INMET, 2021)

## 2.1 Aquisição e processamento de imagens Sentinel-2

As imagens *Open Data* utilizadas neste estudo têm como referência a órbita/ponto 22KCE capturadas pelo Sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI), a bordo da constelação de satélites Sentinel-2. Apresentando resolução temporal de 5 dias e resolução espacial de 10, 20 e 60m, sendo disponibilizadas gratuitamente em ESA (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) com correção atmosférica de reflectância em nível 2A, (*Bottom of Atmosphere* - BOA) calibração geométrica e ortorectificação.

As datas das imagens isentas de nuvens e características das bandas espectrais são apresentadas respectivamente nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Data das imagens Sentinel-2 utilizadas no estudo e dias após colheita (DAC)

Safrá Agrícola 2018		Safrá Agrícola 2019		Safrá Agrícola 2020	
Data	DAC	Data	DAC	Data	DAC
12/11/2017	125	12/11/2018	138	16/01/2020	125
12/12/2017	155	22/12/2018	179	06/03/2020	173
15/02/2018	201	21/01/2019	209	31/03/2020	198
17/03/2018	231	05/02/2019	224	20/04/2020	218
06/04/2018	251	21/04/2019	299	10/05/2020	238
26/04/2018	271	11/05/2019	319	20/05/2020	248
06/05/2018	281	21/05/2019	329	30/05/2020	258
26/05/2018	301	31/05/2019	339	09/06/2020	268
05/06/2018	312	10/06/2019	349	19/06/2020	278
15/06/2018	322	20/06/2019	359	04/07/2020	293
-----	-----	30/06/2019	369	19/07/2020	308
-----	-----	10/07/2019	379	29/07/2020	318
-----	-----	-----	-----	13/08/2020	333

Fonte: O autor (2022)

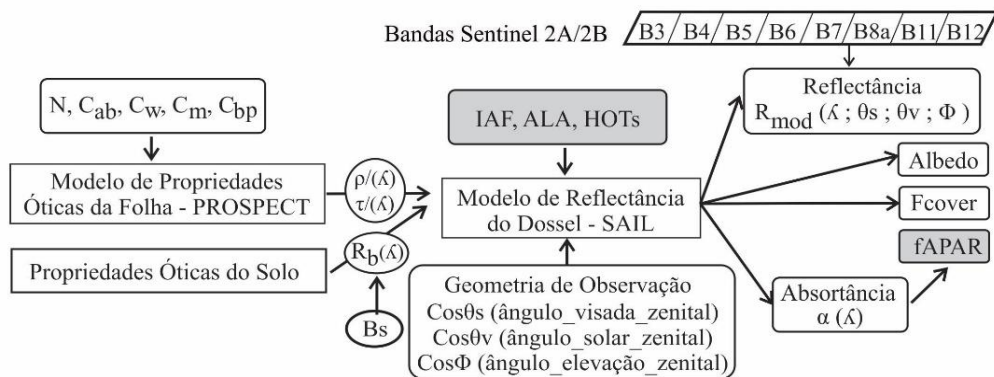
Tabela 2. Características das bandas espectrais do satélite Sentinel-2.

Banda	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8a	B9	B10	B11	B12
Centro/Banda (nm)	443	490	560	665	705	740	783	842	865	945	1375	1610	2190
Largura/Banda (nm)	20	65	35	30	15	15	20	115	20	20	30	9	180
Resol. Espacial (m)	60	10	10	10	20	20	20	10	20	60	60	20	20

Fonte: ESA - Sentinel Technical Guides - <https://earth.esa.int/web/sentinel/home>.

O processamento da série temporal de imagens Sentinel-2 para obtenção dos valores IAF e fAPAR, a nível de dossel da cana-de-açúcar, foi realizado utilizando o *software Open Source Sentinel Application Platform* (SNAP), especificamente, mediante o modelo de transferência de radiação (RTM PROSAIL), algoritmo resultante da combinação do modelo de propriedades óticas da folha (*Leaf Optical Properties Model* – PROSPECT) com o modelo de transferência de radiação a nível de dossel (*Scattering by Arbitrary Inclined Leaves* – SAIL) (Jacquemoud et al., 2009) (Figura 3).

Figura 3. Visão geral do processamento de dados IAF e fAPAR no algoritmo RTM PROSAIL/SNAP



Fonte: Adaptado de Weiss e Baret (2016).

O RTM PROSAIL é um algoritmo constituído com arquitetura de rede neural composta por um layer com 11 dados de entrada normalizados, conjugando 8 bandas espectrais Sentinel-2, 3 ângulos de visadas e 5 neurônios com funções de transferência sigmoideal integrado no software SNAP disponibilizado gratuitamente em <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>.

## 2.2 Análise estatística multivariada

Os dados obtidos no estudo foram submetidos à análise de variância ( $p < 0,05$ ) considerando as métricas estatísticas ( $R^2$  - coeficiente de determinação ajustado, RMSE – raiz quadrada do erro médio e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) para determinar a significância estatística das hipóteses. Ambos, processamentos utilizando o software *Open Source JASP* versão 0.16.4.0 (2022).

## 2.3 Procedimento metodológico

A avaliação do potencial agrônomo de cultivares de cana-de-açúcar foi realizada considerando os estádios fenológicos da cana-de-açúcar: Crescimento e alongamento de colmos - 150 até 240 dias e Maturação de colmos - 240 a 360 dias. Sendo o primeiro estágio responsável pelo acúmulo de cerca de 75% da matéria-seca total e no segundo, ocorre redução nas taxas de crescimento da cana-de-açúcar e aumento do acúmulo de sacarose nos colmos (Diola e Santos, 2010). O desenvolvimento do estudo ocorreu em três etapas sequenciais:

- i) Sistematização de dados talhão/fazenda (ano de plantio, ciclo de maturação, nº de cortes, data de colheita e rendimentos agroindustriais, máscara vetorial dos blocos de talhões) e *download* dos dados climatológicos (pluviometria (mm) e radiação solar global incidente - R<sub>g</sub> (MJ/m<sup>2</sup>/dia)) e imagens dos satélites Sentinel-2;
- ii) Processamento da série temporal de índices fAPAR e IAF considerando os limites geográficos dos blocos de talhões de cana-de-açúcar com mesmas características de maturação e número de corte no ciclo de produção;
- iii) Análise estatísticas da correlação entre dados biofísicos dos cultivares de cana-de-açúcar e desempenho agrônomo (Tonelada de Colmos por Hectare - TCH e Tonelada de Açúcar por Hectare - TAH).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Rendimento agroindustrial dos cultivares de cana-de-açúcar

Os Dados de rendimento agroindustrial nos blocos de talhões foram obtidos através do relatório de colheita mecanizada da Energética Serranópolis-Goiás nas safras agrícolas 2018, 2019 e 2020 (Tabela 3).

Tabela 3. Rendimento agroindustrial Tonelada de Colmos por Hectare - TCH, Açúcar Total Recuperado - ATR e Tonelada de Açúcar por Hectare -TAH em três safras agrícolas – Fazenda 018-Energética Serranópolis-Goiás.

Talhão	Safr 2018			Safr 2019			Safr 2020		
	TCH	ATR	TAH	TCH	ATR	TAH	TCH	ATR	TAH
01	89,15	148,16	13,21	76,80	158,00	12,13	68,29	161,17	11,01
02	96,25	148,26	14,27	70,57	156,85	11,07	68,01	161,08	10,96
05	53,46	156,94	8,39	66,55	159,94	10,64	66,42	164,36	10,92
06	61,67	159,24	9,82	78,36	152,79	11,97	62,77	161,17	10,12
07	88,15	146,72	12,93	89,62	152,50	13,67	74,18	161,95	12,01
08	63,09	158,57	10,00	79,80	157,52	12,57	66,41	163,87	10,88
09	99,84	139,19	13,90	92,63	157,71	14,61	74,21	163,69	12,15
10	97,41	144,31	14,06	88,25	156,64	13,82	78,72	160,30	12,62
12	99,96	147,67	14,76	88,13	163,01	14,37	73,79	156,84	11,57
13	96,44	141,41	13,64	87,97	161,47	14,20	76,28	160,40	12,23
14	68,66	162,82	11,18	60,84	160,02	9,74	69,21	169,02	11,70
15	122,59	145,17	17,80	90,44	159,74	14,45	84,69	158,76	13,45
16	119,58	144,70	17,30	75,24	160,31	12,06	82,18	159,93	13,14
17	72,89	148,65	10,84	70,33	164,16	11,54	79,41	171,85	13,65
18	101,04	143,53	14,50	91,65	160,60	14,72	67,23	173,59	11,67
19	79,95	139,77	11,17	78,12	163,98	12,81	68,80	171,75	11,82
20	87,19	142,09	12,39	96,37	164,17	15,82	64,40	172,81	11,13
21	76,32	176,77	13,49	70,85	163,68	11,60	46,02	178,33	8,21
22	52,25	183,35	9,58	49,63	172,35	8,55	50,79	183,35	9,31
23	30,82	176,69	5,45	26,34	168,49	4,44	26,11	176,69	4,61
24	63,31	174,96	11,08	50,25	172,95	8,69	54,82	172,92	9,48
25	77,68	153,74	11,94	100,33	154,81	15,53	68,07	172,24	11,72
27	77,86	159,04	12,38	54,69	157,78	8,63	63,28	167,81	10,62
30	91,03	155,00	14,11	89,07	160,02	14,25	82,32	172,92	14,24
32	117,37	150,55	17,67	94,99	157,50	14,96	79,12	169,06	13,38
33	78,49	139,94	10,98	88,90	157,31	13,99	75,43	163,66	12,34
34	83,32	142,36	11,86	84,34	160,30	13,52	82,92	162,23	13,45
35	80,65	157,09	12,67	82,65	157,09	13,25	81,26	158,98	13,18
Med.	83,09	153,10	12,55	77,63	160,42	12,41	69,11	166,81	11,48
DP	20,63	12,11	2,67	16,70	4,86	2,54	12,58	6,77	1,92
CV	24,83	7,91	21,29	21,52	3,03	20,49	18,20	4,06	16,73

Fonte: Relatório anual de colheita Energética Serranópolis-Goiás; Organização: O autor (2022); Média (Méd.), Desvio Padrão (DP) e Coeficiente de variação (CV%).

A análise estatística (tabela 3) média de três safras agrícolas reporta declínio no rendimento agroindustrial da cana-de-açúcar na Fazenda 018 no espaço temporal 2018, 2019 e 2020, a medida canavial

envelheceu, respectivamente (TCH = 83,09 e TAH = 12,57), (TCH= 77,63 e TAH = 12,41) e (TCH = 69,11 e TAH = 11,60).

No entanto, os rendimentos médios de três cortes (TCH = 71,02 e TAH = 8,62) obtidos na Fazenda 018, são superiores aos obtidos por Arnt (2016) em experimento realizado com 18 cultivares de cana-de-açúcar em colheitas de início de safra, no município de Teodoro Sampaio – São Paulo e também à produtividade média (TCH = 75,00) obtida por Abreu et al. (2013) em experimento realizado no município de Rio Largo – Alagoas, com média de 6 cultivares de cana-de-açúcar em segundo, terceiro e quarto corte. Sendo inferior apenas em TAH = 14,50.

### 3.2 Eficiência do uso da luz solar pela cana-de-açúcar

A identificação de cultivares de cana-de-açúcar mais produtivos baseado na expressão do potencial genético pode ser realizada por meio de caracteres morfológicos e produtivo, sendo a compreensão dos parâmetros de crescimento e produtividade e a correlação positiva entre estes caracteres importante para orientar os programas de melhoramento genético (Nyadanu e Dikera, 2014).

A ampliação do conhecimento sobre a eficiência do uso da luz solar (EUL) referente ao montante de radiação solar absorvida e a dimensão da superfície foliar fotossinteticamente ativa durante o tempo de permanência da cultura em campo e também à influência dos fatores ambientais no rendimento agrônomico cana-de-açúcar, através do registro de alterações espectro-morfofisiológicas dos cultivares a nível de dossel vegetal, caracteriza uma importante contribuição para orientar programas de melhoramento genético-varietal (Santos et al., 2014).

Em plantas sadias supridas de água e nutrientes a produção de biomassa é proporcional ao montante de radiação solar absorvida (RSA) pela vegetação verde multiplicada pela eficiência com que a luz é absorvida. (Kumar e Montheit, 1982). Sendo a produção de biomassa na cana-de-açúcar dependente do ciclo de produção da cultura (dias), Radiação solar global incidente ( $MJ/m^2/dia$ ) e da porcentagem de radiação absorvida pelo dossel das plantas (Silva e Costa, 2012).

Associando os conceitos de ótica inerentes ao sensoriamento remoto orbital e sua relação com as características morfológicas e bioquímicas da vegetação na faixa do espectro eletromagnético visível (390 a 760 nm), infravermelho próximo (760 a 1400 nm) e infravermelho médio (1400 a 2500 nm), a estimativa de produção primária bruta (PPB) é representada pela fórmula 1 (Equação 1) adaptada de Monteith (1972, sendo o montante de radiação solar absorvida representado pela fórmula 2 (Equação 2).

$$PPB = TCH = (fAPAR \times RFA) \times EUL \quad (1)$$

$$RSA = fAPAR \times RFA \quad (2)$$

Onde: RFA – Radiação Fotossinteticamente Ativa, RSA – Radiação Solar Absorvida,  $R_g$  - Radiação solar global incidente ( $MJ \ m^2 \ dia$ ), obtida por estações meteorológicas, fAPAR - Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida, EUL - Eficiência do uso da luz ( $MJ \ m^2 \ dia$ ). Diante da ausência medições RFA na região, foi utilizado RFA como sendo 45% da  $R_g$  no período de 24 horas (Running et al., 2004).

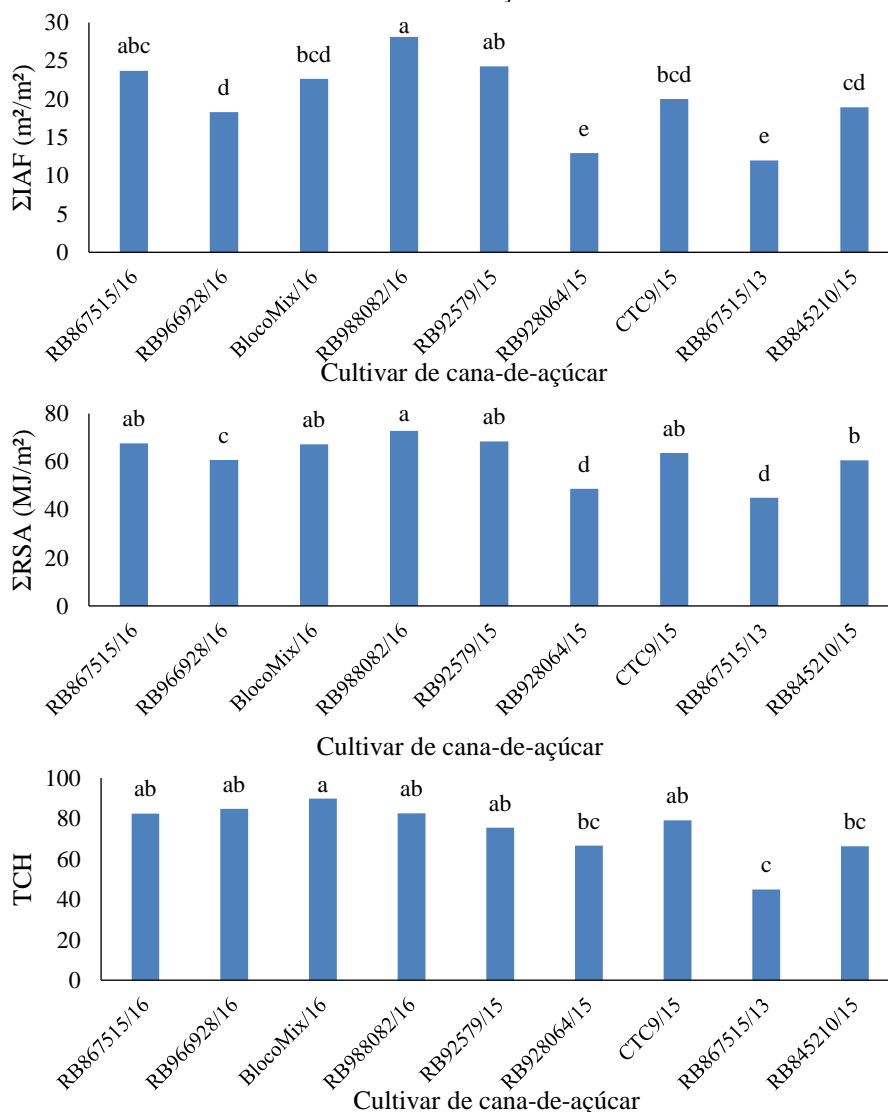
Assim sendo, os processamentos de dados biofísicos de vegetação, bem como as análises de variância (ANOVA) entre a tríade ( $\Sigma IAF \ m^2/m^2$ ,  $\Sigma RSA \ MJ/m^2$  e TCH) para os talhões de cultivares de cana-de-açúcar, foram realizados considerando grupos de cultivares com mesmas características de maturação e também número de cortes no ciclo de produção.

A análise dos dados (Figura 4) baseado nas métricas reportando o acumulado de radiação solar absorvida ( $\Sigma RSA \ MJ/m^2$ ) e superfície foliar fotossinteticamente ativa ( $\Sigma IAF \ m^2/m^2$ ) e também o rendimento agrônomico médio (TCH), média de três safras agrícolas (2018, 2019 e 2020) dos cultivares de cana-de-açúcar na área de estudo, apresentou uma correlação positiva entre à tríade de parâmetros, associando os materiais em

grupos de produtividade, onde os cultivares de cana-de-açúcar com maiores rendimento agrônomo, são correlacionados aos de maiores valores acumulados de superfície foliar e radiação solar absorvida.

Portanto, corroborando com as observações de Leme et al. (1984), quando afirma existir uma correlação positiva entre IAF e produtividade de colmos, tendo os cultivares com maior aparato foliar apresentando maior rendimento agrônomo.

Figura 4. Análise de variância, média de três safras para os valores  $\Sigma$ IAF,  $\Sigma$ RSA e rendimento agrônomo (TCH) dos cultivares de cana-de-açúcar na área de estudo.



Fonte: O autor (2022); Médias de tratamentos seguidos pelas mesmas letras constituem um grupo estatisticamente homogêneo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De forma geral, as métricas estatísticas (figura 4) apresenta a formação dos grupos de cultivares mais produtivos, incluindo ano de plantio, destaca por ordem de grandeza (RB988082/2016, RB867515/2016 e BlocoMIX/2016 e RB92579/2015), seguido dos cultivares (RB966928/2016, RB928064/2015) e com menores valores e também menos produtivos os cultivares (RB867515/2013 e RB845210/2015 e CTC9/2015).



### 3.3 Regressão linear múltipla de parâmetros biofísicos da cana-de-açúcar

Considerando a importância do conhecimento sobre a auto-influência das variáveis IAF e fAPAR na produção de fotoassimilados na cana-de-açúcar, durante a permanência em campo, o estudo utilizou a modelagem matemática de regressão linear múltipla de primeira ordem construída sobre os três eixos cartesianos (x,y,x), baseado na premissa que o eixo z corresponde ao espaço temporal pós-colheita, normalizado pelas avaliações referentes as datas das imagens dos satélites Sentinel-2 utilizadas, e as duas variáveis IAF e fAPAR atuando de forma positiva na dinâmica de crescimento e na produção de sacarose (açúcar) dos cultivares, orientada pela fórmula 3 (Equação 3).

$$z = \alpha + x_1\beta_1 + x_2\beta_2 + \varepsilon \quad (3)$$

Onde: z é a variável dependente, caracterizada pelo espaço temporal das avaliações tendo como referência-base o dia da última colheita (DAC) e a data da imagem de satélite, x1 e x2 são as variáveis independentes (IAF e fAPAR), sendo  $\alpha$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  parâmetros a serem estimados e  $\varepsilon$  os resíduos.

As métricas resultantes da análise de variância dos modelos de regressão de primeira ordem utilizados para avaliar a correlação (IAF, fAPAR e DAC) nos cultivares de cana-de-açúcar na área de estudo são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Dados dos modelos de regressão de primeira ordem na análise de correlação das variáveis (IAF, fAPAR e DAC) na Fazenda 018 – Energética Serranópolis - Goiás (Safras 2018, 2019 e 2020).

Safras	2018			2019			2020		
	R <sup>2</sup>	RMSE	$\rho$	R <sup>2</sup>	RMSE	$\rho$	R <sup>2</sup>	RMSE	$\rho$
BlocoMIX	0,884	22,71	0,001	0,910	24,57	0,001	0,626	36,81	0,003
RB988082	0,684	37,41	0,007	0,762	39,86	0,001	0,356	47,99	0,041
RB92579	0,847	26,04	0,001	0,781	38,28	0,001	0,482	43,36	0,015
RB966928	0,933	17,29	0,001	0,957	17,02	0,001	0,743	30,55	0,001
RB928064	0,893	21,80	0,001	0,915	23,89	0,001	0,541	40,80	0,008
RB845210	0,806	29,32	0,001	0,942	19,76	0,001	0,740	30,73	0,001
RB867515/16	0,720	35,24	0,005	0,833	33,44	0,001	0,764	29,28	0,001
RB867515/13	0,928	17,87	0,001	0,938	20,41	0,001	0,509	42,19	0,011
CTC9	0,933	17,18	0,001	0,947	18,81	0,001	0,900	19,05	0,001
Média	0,848	24,98		0,887	26,22		0,629	35,64	

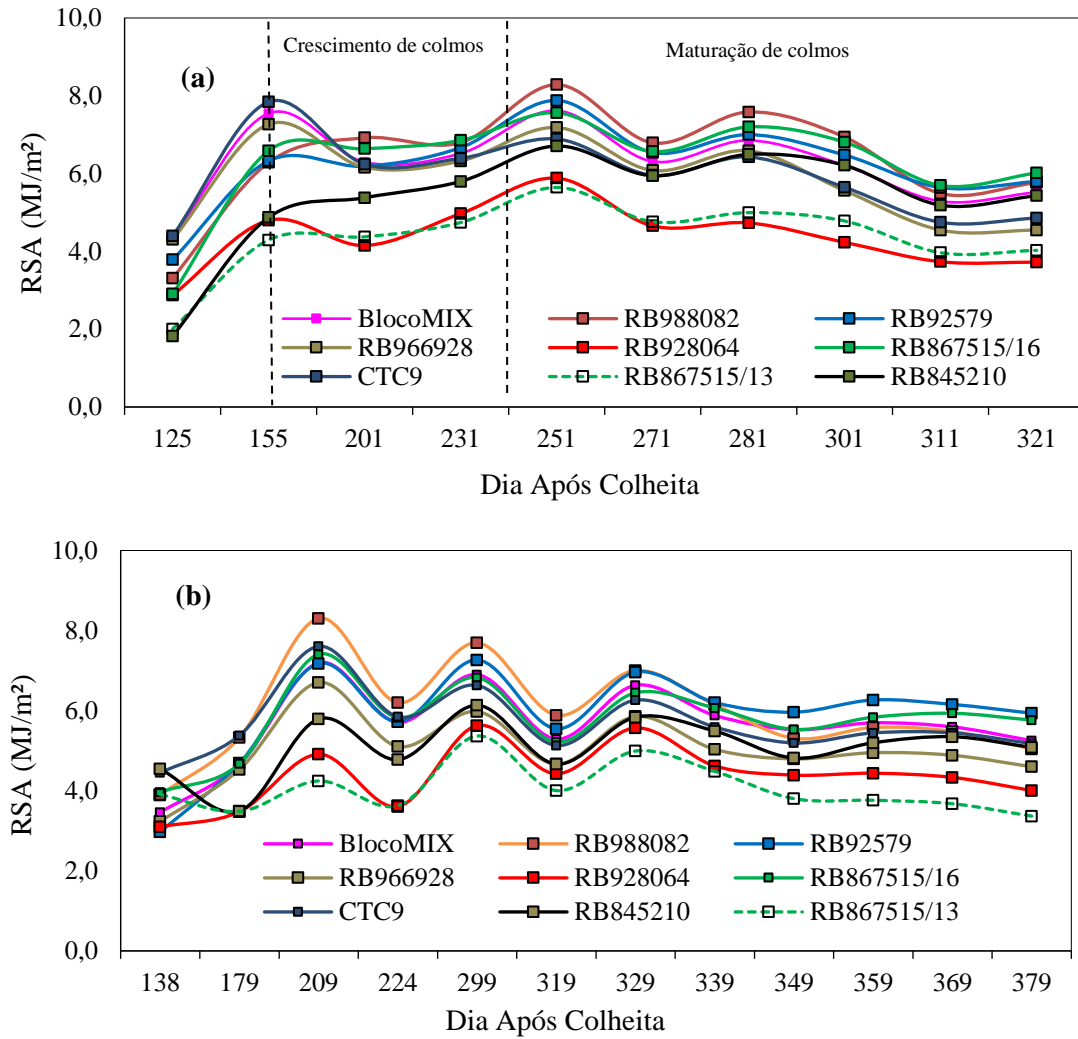
Fonte: O autor (2022).

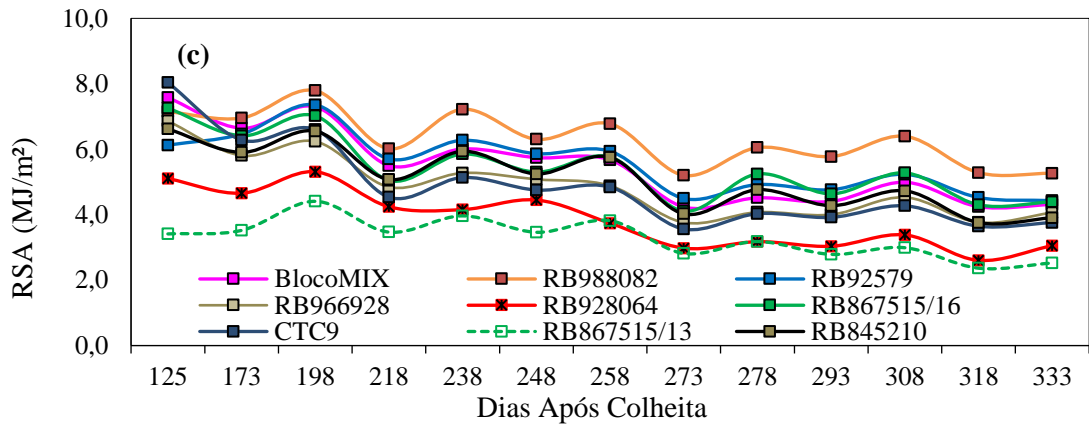
O resumo de dados estatísticos (Tabela 4) asseguram através das métricas médias obtidas pelo modelo de regressão linear múltipla, a existência de correlação entre as variáveis no contexto da produção vegetal dos cultivares de cana-de-açúcar. Por outro lado, o coeficiente de determinação ajustado e raiz quadrada do erro médio na safra agrícola 2018 (R<sup>2</sup> = 0,848 e RMSE = 24,98 DAC), na safra 2019 (R<sup>2</sup> = 0,887 e RMSE = 26,22 DAC) e safra 2020 (R<sup>2</sup> = 0,629 e RMSE = 35,64 DAC), obtidos corroboram positivamente com o cenário de declínio multitemporal no rendimento agrônômico da Fazenda 018 apresentado pela Tabela 3.

### 3.4 Curva de biomassa verde na cana-de-açúcar

A busca de novos parâmetros para discriminar cultivares de cana-de-açúcar, aponta para a curva de biomassa verde construída com base nos valores IAF e RSA, obtidos através da intensidade de resposta espectro-morfofisiológica das características genéticas dos materiais avaliados no período de 125 a 380 DAC, como elementos de apoio na identificação do comportamento agrônômico dos cultivares (Figuras 5 e 6).

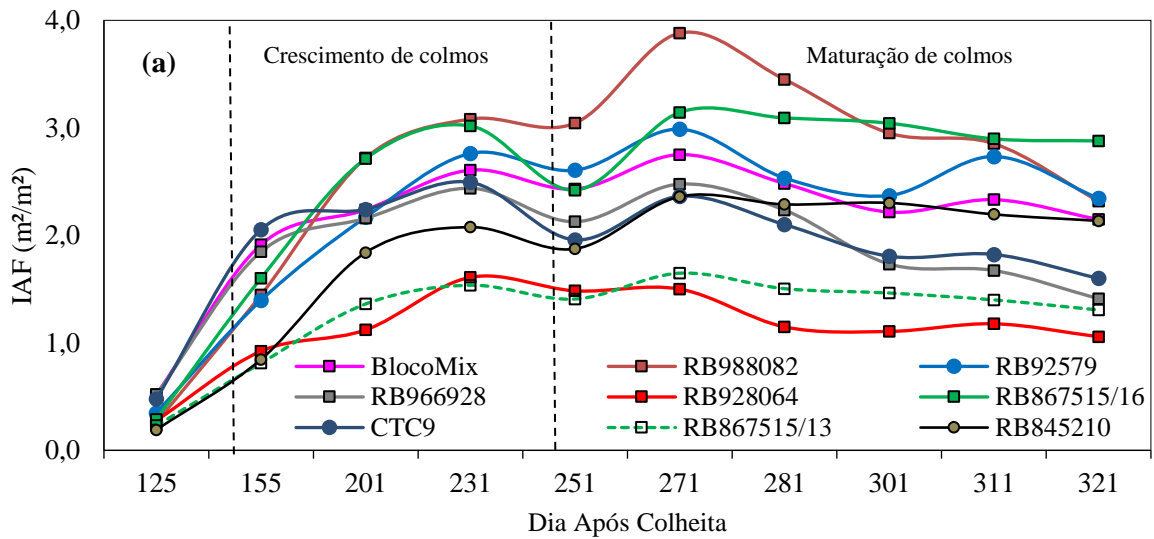
Figura 5. Curva fAPAR dos cultivares de cana-de-açúcar na safra agrícola 2018 (a), 2019 (b) e 2020 (c), destacando as datas das avaliações numa correlação com dia após colheita (DAC).

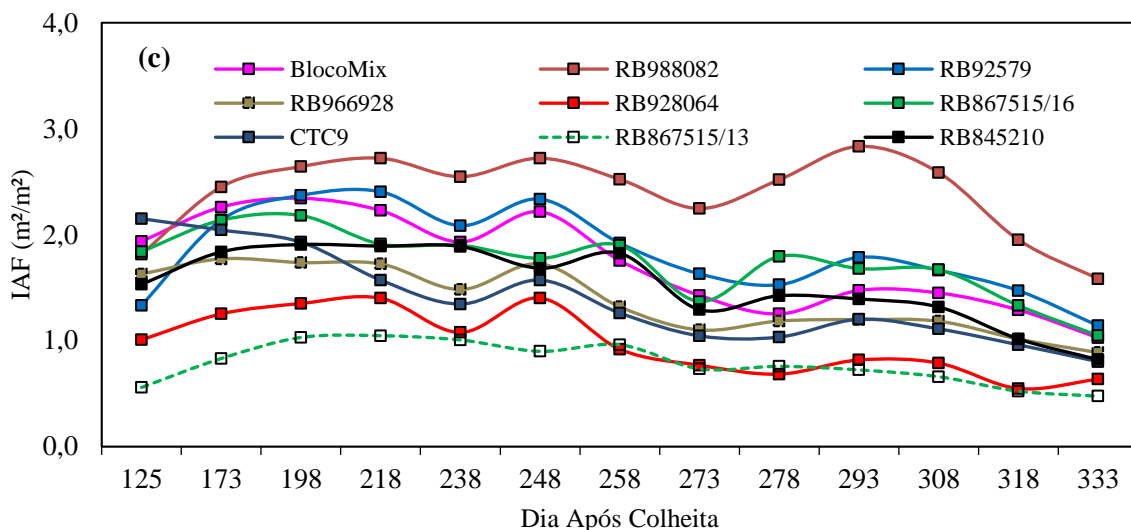
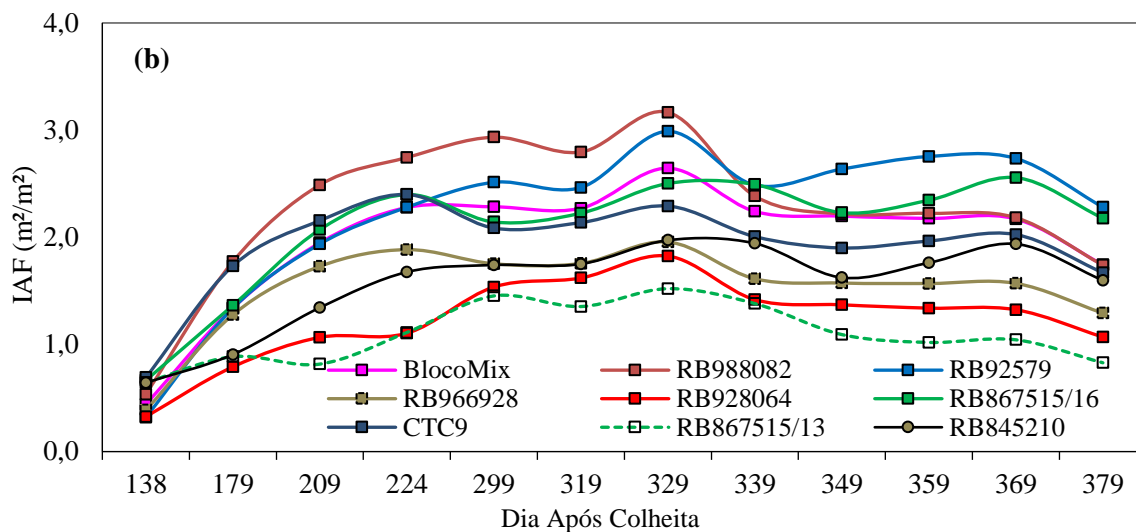




Fonte: Sentinel-2 e Estações meteorológicas INMET A016-Jatai, Goiás e A730-Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul;  
Elaboração: O autor (2022).

Figura 6. Curva IAF - cultivares de cana-de-açúcar na safra agrícola 2018 (a), 2019 (b) e 2020 (c) - datas das avaliações numa correlação com dia após colheita (DAC).





Fonte: Sentinel-2; Elaboração: O autor (2022).

A interpretação das curvas de biomassa verde nas safras agrícolas 2018, 2019 e 2020 (Figuras 5 e 6) baseada na intensidade da resposta morfológica e bioquímica em escala de dossel da cana-de-açúcar, normalizadas através dos valores IAF e RSA nas três safras agrícolas monitoradas, permite afirmar que os cultivares apresentam um padrão de assinaturas espectrais ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, representando-os através de uma identidade gráfica e numérica que possibilita discriminar os materiais sob a ótica da produção vegetal e diferenças genéticas.

Nesta perspectiva, à análise das curvas de biomassa apontam os grupos de cultivares de cana-de-açúcar (RB988082, RB867515, BlocoMIX e RB92579) como mais eficientes no uso da luz solar para produção de fotoassimilados, destacando como intermediários os cultivares (CTC9 e RB845210) e menos eficientes os cultivares (RB966928, RB867515/2013 e RB928064).

Assim sendo, o estudo realizado na Fazenda 018, Serranópolis-Goiás, gerou um conjunto de métricas estatísticas que permitiu discriminar os nove grupos de cultivares de cana-de-açúcar com 100% de acurácia.

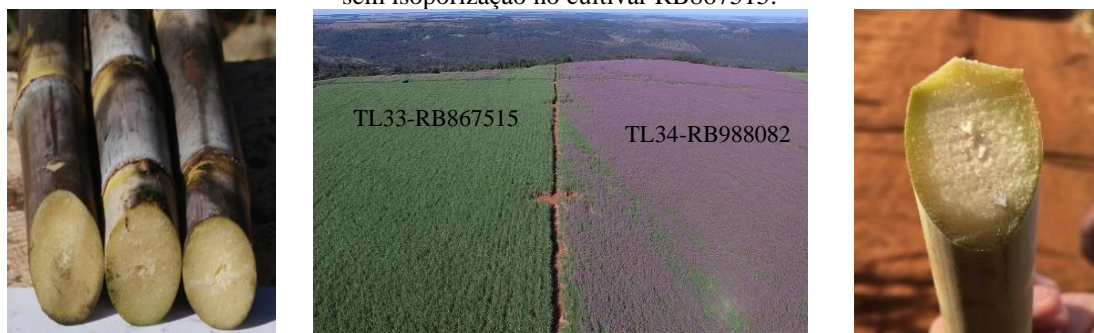
Valores similares foram encontrados para região de cerrado por Fortes (2004) utilizando índices de vegetação derivados de dados ETM+/LANDSAT7, obtendo 93,55% de acurácia na discriminação de cinco cultivares de cana-de-açúcar e também por Duft et al., (2019), mediante dados sentinel-2 e algoritmo Random Forest para discriminar 25 cultivares de cana-de-açúcar obteve 86% de acurácia.

De forma geral, os resultados obtidos neste estudo em cana-de-açúcar na Energética Serranópolis-Goiás, são corroborados com as afirmações de Masoni et al., (1994), onde cita que o ciclo de crescimento da planta está diretamente relacionado ao processo fotossintético. Segundo Singels et al., (2005) a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar pode ser considerada como a quantidade de sacarose produzida por dada quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida

Neste contexto, o período de realização das avaliações dos cultivares de cana-de-açúcar na área de estudo, também coincide com a afirmação de Maia et al., (2022), indicando o intervalo entre 180 a 300 dias após colheita, como ótimo para utilização de índices de vegetação na avaliação da cana-de-açúcar em estudo realizado no município de Quirinópolis - Goiás.

Outro aspecto importante na avaliação da eficiência dos índices IAF e fAPAR para detectar e registrar alterações na morfofisiológica da cana-de-açúcar em escala de dossel vegetal, tem destaque a sensibilidade destes índices biofísicos de vegetação, reportada pela inflexão negativa nas curvas de biomassa verde (Figuras 5 e 6), normalizada pelos valores RSA e IAF sobre o cultivar RB988082 provocada pela presença acentuada de inflorescência nos talhões deste cultivar, promovendo redução na atividade fotossintética das plantas, especificamente à partir de 26/05/2018 (301 DAC) e 21/05/2019 (329 DAC), uma vez que o canavial desta fazenda é colhido em meio de safra agrícola (jul/ago/set) favorecendo a ocorrência de flores neste material genético na região do estudo, conforme mostra o registro fotográfico de campo através da Figura 7.

Figura 7. Visão panorâmica (31/05/2019) imagem central reporta no talhão 34, ocorrência de inflorescência e colmo isoporizado no cultivar de cana-de-açúcar RB988082. Enquanto no talhão 33 tem ausência de inflorescência e colmos sem isoporização no cultivar RB867515.



Fonte: O autor (2020).

No entanto, na safra agrícola 2020, a assinatura espectral do cultivar de cana-de-açúcar RB988082 baseada na intensidade de resposta espectro-morfofisiológica normalizada pelas curvas IAF e fAPAR, indicam ausência de florescimento, mantendo o comportamento regular na assinatura espectral durante o período de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Este comportamento do cultivar de cana-de-açúcar RB988082 pode estar relacionado ao manejo em área total da Fazenda 018, utilizando o inibidor de inflorescência Ethrel (*ethefon*) na dose de 0,67 lt/ha, aplicado em 20 de fevereiro de 2020 por aeronave Ipanema com vazão de 20 lt/ha.

A ocorrência do florescimento da cana-de-açúcar associado ao processo de isoporização dos entrenós provoca a desidratação dos tecidos dos colmos, ocasionando perda de água, dificultando a extração do caldo (Salata et al., 1992). Portanto, qualquer fator que promova a redução da atividade fotossintética na cana-de-açúcar, reduzirá a eficiência da conversão de energia solar em fito-energia e conseqüentemente, com influência

direta na produção de açúcar (Beadle e Long 1985).

No hemisfério sul, o estímulo e a diferenciação floral meristemática responsável pela indução da floração acontecem nos meses de fevereiro, março e abril, enquanto o florescimento ocorre nos meses de abril, maio e junho (Humbert, 1974).

Na região Centro-Sul do Brasil a indução floral da cana-de-açúcar ocorre entre 15 de fevereiro e 10 de março, estando relacionada ao fotoperíodo de 12,5 a 12 horas e temperaturas variando entre 18°C (noturna) e 31°C (diurna) e bom suprimento de água no solo (Pereira et al., 1983).

### 3.5 Cartografia temática na cana-de-açúcar: Índices fAPAR e IAF

A crescente busca por meios de aumentar a capacidade produtiva do segmento sucroenergético, torna fundamental o aprimoramento das metodologias clássicas, incluindo novas tecnologias no processo produtivo para fazer face aos constantes desafios da sustentabilidade econômica, ambiental e social.

Assim sendo, a ampliação do portfólio de ferramentas orientadas para promover à geovisualização qualitativa multitemporal do ambiente de produção da cana-de-açúcar, incluindo geotecnologias e técnicas de cartografia temática, considerando cada talhão cultivado como geo-objeto de análise, caracteriza uma estratégia orientada para responder as seguintes questões: i) Qual(is) talhão(es) apresentam maior atividade fotossintética; ii) Qual(is) cultivar(es) apresentam maior eficiência no uso da luz para produção de fotoassimilados (açúcar) e iii) Qual(is) talhão(es) apresentam ocorrência de zonas de variabilidade.

Neste sentido, o uso do sensoriamento remoto orbital, associado às técnicas de geoprocessamento, contribuiu para orientar o monitoramento da dinâmica espacial e temporal do mosaico de talhões de cana-de-açúcar na Fazenda 018, nas três safras agrícolas monitoradas, levantando um volume de geoinformações multifinalitárias que representam uma poderosa ferramenta para orientar o planejamento estratégico e a gestão produtiva do setor agrícola da Energética Serranópolis-Goiás.

De acordo com Câmara e Medeiros (1998), os mapas temáticos trazem consigo uma pluralidade de abordagens geográficas descrevendo de forma qualitativa, a distribuição espacial de uma grandeza geográfica.

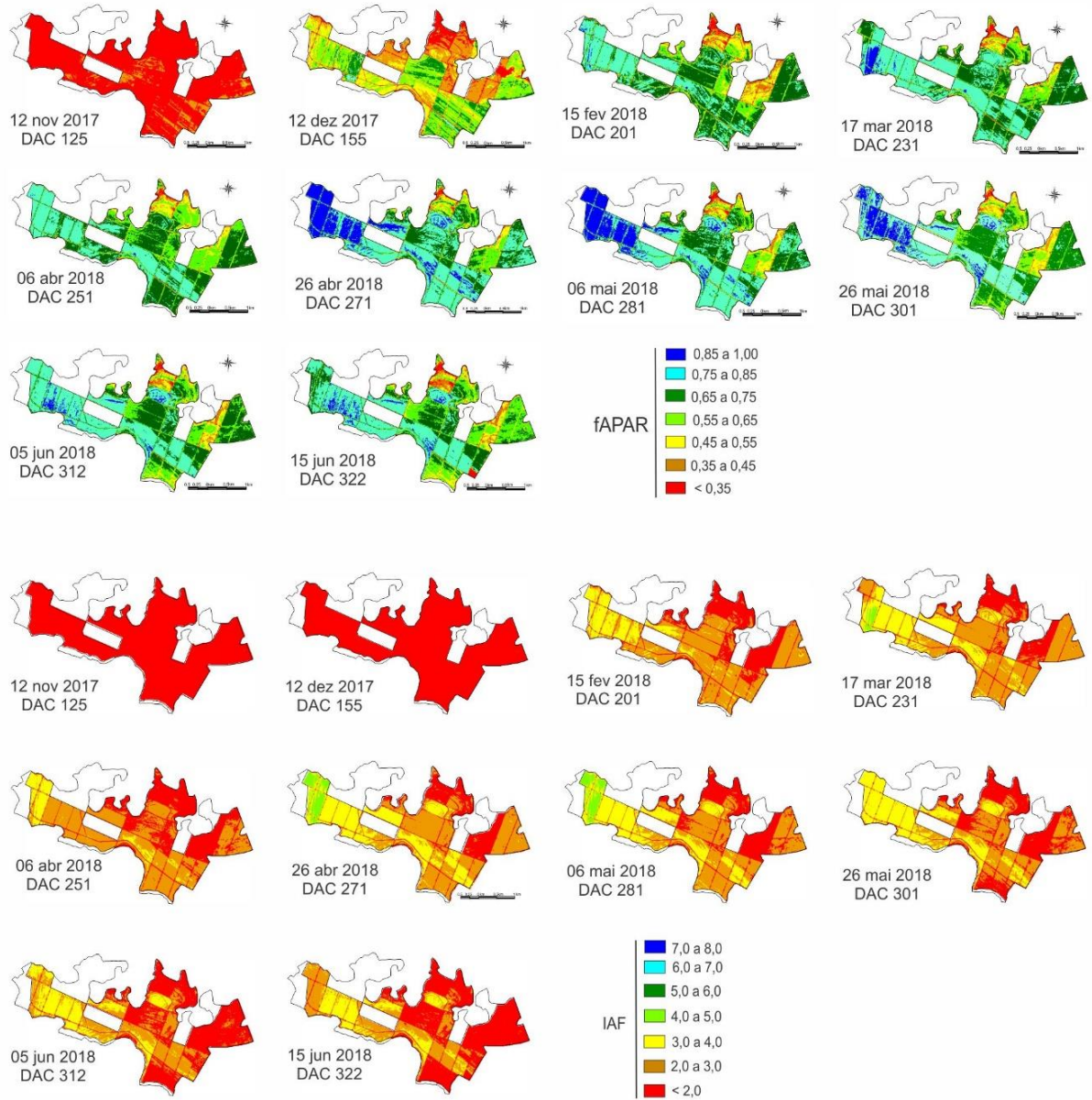
Portanto, a popularização das geotecnologias *Open Data e Open Source* envolvidas no processo produtivo da cana-de-açúcar na área de estudo, imprimiu ao segmento canavieiro uma nova filosofia de prática agrícola tornando a informação geográfica um elemento estratégico para o segmento, identificando e quantificando as informações geoespaciais de forma concisa e precisa.

Nesta perspectiva, o estudo avaliou a aplicabilidade da cartografia temática integrada ao cotidiano operacional das atividades de apoio a gestão do sistema agrícola pelos stakeholders da unidade sucroenergética em abordagem, uma vez que as informações geográficas normalizadas pelos valores fAPAR e IAF, cria elementos de caráter didático-operacional de interpretação visual que propicia ao analista uma visão sinótica regional do canal em escala hierárquica de detalhes: Talhão-Fazenda-Usina.

Assim sendo, a visão multitemporal dos talhões de cana-de-açúcar na Fazenda 018, baseado no mapeamento temático com ênfase nas classes de valores fAPAR e IAF caracterizados respectivamente, como parâmetros bioquímico e biofísico estimados a nível de dossel vegetal, asseguram a importância do uso da cartografia temática como recurso capaz de contribuir para identificar no espaço geográfico do mosaico de talhões a existência de zonas de variabilidades e sua correlação com o rendimento agrônomo e industrial.

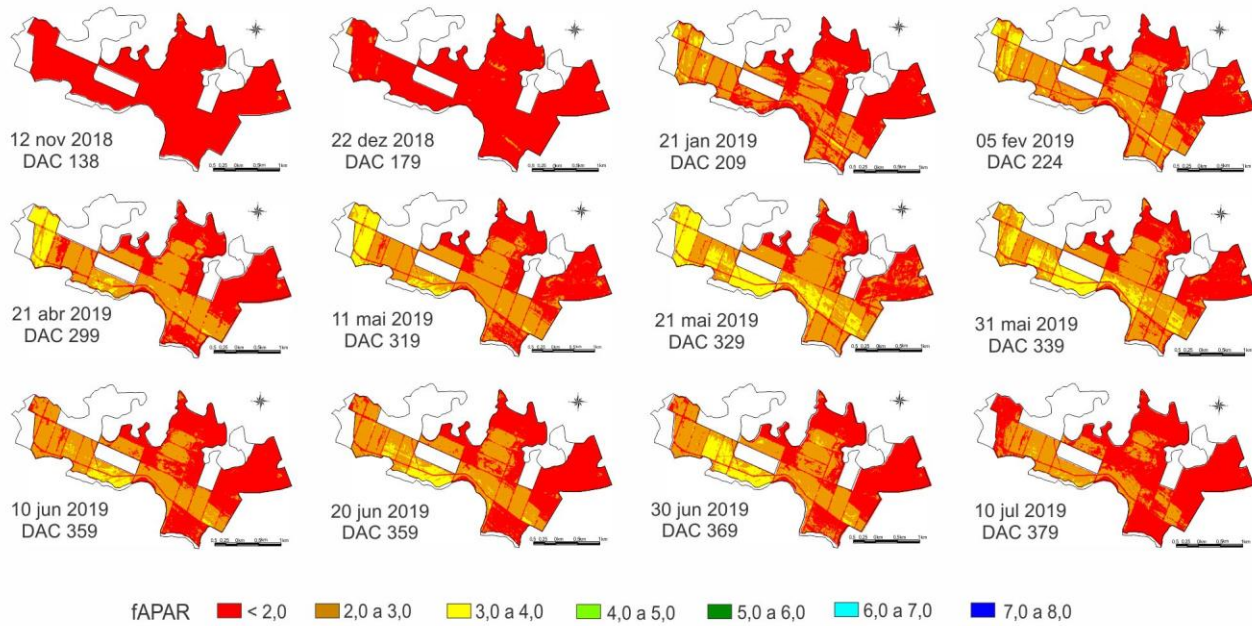
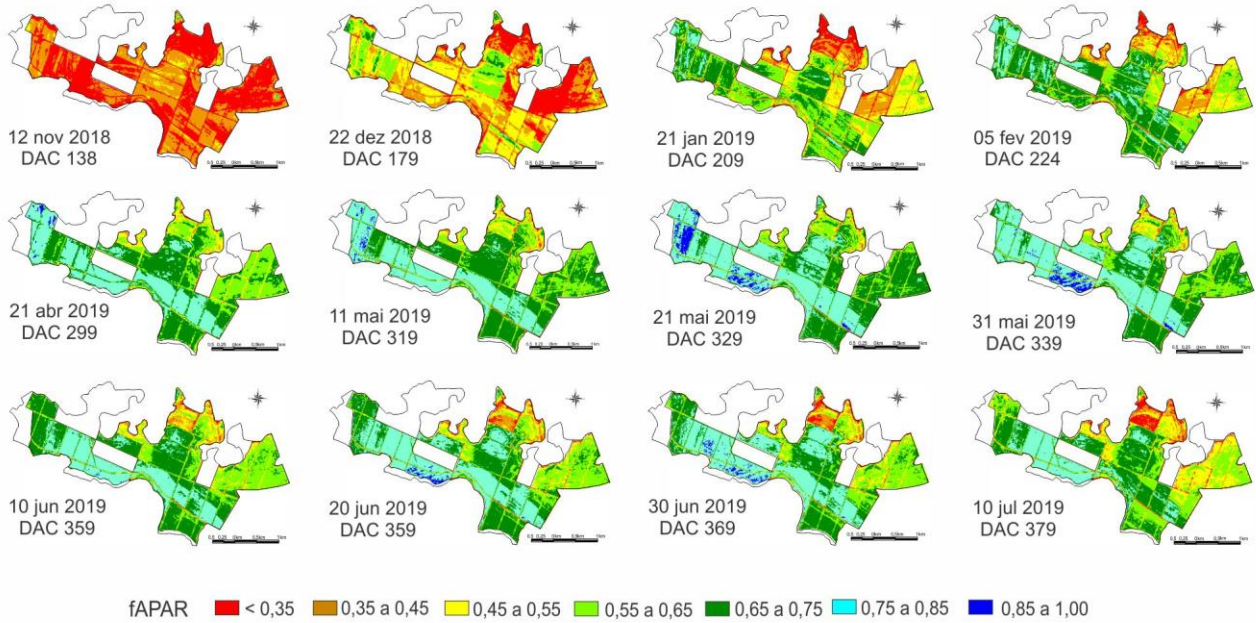
Portanto, a utilização da informação geográfica reportando a variabilidade da atividade fotossintética e também a dimensão do aparato foliar fotossinteticamente ativo intra-talhão, tem importante papel didático e operacional como ferramentas de promoção da compreensão de elementos de representação cartográfica no estudo realizado na Fazenda 018, pertencente à Energética Serranópolis-Goiás nas safras agrícolas 2018, 2019 e 2020, conforme representado pelas Figuras 8a, 8b e 8c.

Figura 8a. Série de mapas temáticos reportando a variabilidade espacial e temporal nos talhões de cana-de-açúcar na área de estudo na safra agrícola 2018, através dos índices fAPAR e IAF.



Fonte: Sentinel-2; Elaboração: O autor (2022).

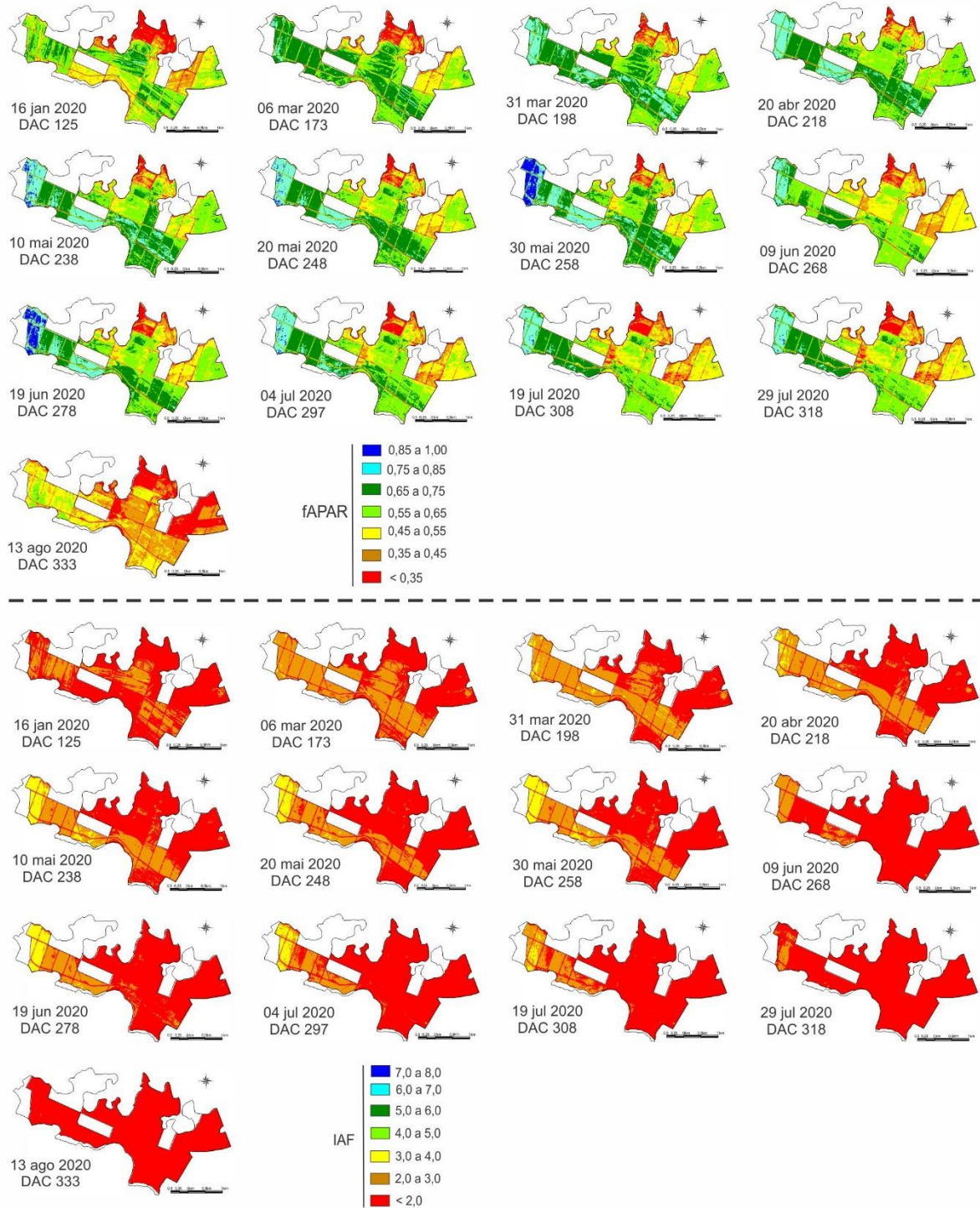
Figura 8b. Série de mapas temáticos reportando a variabilidade espacial e temporal nos talhões de cana-de-açúcar na área de estudo na safra agrícola 2019, através dos índices fAPAR e IAF.



Fonte: Sentinel-2; Elaboração: O autor (2022).



Figura 8c. Série de mapas temáticos reportando a variabilidade espacial e temporal nos talhões de cana-de-açúcar na área de estudo na safra agrícola 2020, através dos índices fAPAR e IAF.



Fonte: Sentinel-2; Elaboração: O autor (2022).

A interpretação das figuras (8a, 8b e 8c) apresentam o potencial da cartografia temática como ferramenta didático-operacional para reportar a distribuição espacial das classes de valores fAPAR e IAF nos talhões de cana-de-açúcar ao longo de cada safra agrícola analisada, destacando a existência de alta correlação destes índices no contexto da produção vegetal da cana-de-açúcar.

Neste sentido, a integração da cartografia temática no apoio operacional das atividades de gestão do segmento agrícola da Energética Serranópolis-Goiás, foi caracterizada pelos *stakeholders* da unidade sucroenergética em abordagem como relevante para subsidiar tomadas de decisões, uma vez que a análise espacial dos valores fAPAR e IAF reportados através de *pixels* com resolução espacial de 10m por 10m, propicia a geovisualização dos talhões de cana-de-açúcar, identificando zonas intra-talhões com variabilidade na atividade fotossintética das plantas, além de destacar os talhões que apresentam maior eficiência no uso da luz para produção de fotoassimilados e também ocorrência de zonas com necessidade de intervenção agrônômica através de manejo diferenciado.

#### 4. Conclusão

As métricas robustas obtidas neste estudo assegurou aos índices biofísicos fAPAR e IAF derivados de *Open Data* Sentinel-2, processados utilizando o *software Open Source SNAP/RTM PROSAIL*, predicados para serem utilizados como bioindicadores da estimativa do potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar, além de contribuir para identificar características intrínsecas dos materiais avaliados na área de estudo, gerando um banco de dados de assinatura espectro-morfofisiológica que permitiu discriminar os distintos materiais genéticos e sua relação com o potencial rendimento agrônômico e industrial.

Por outro lado, a integração dos dados fAPAR e IAF no apoio ao monitoramento da dinâmica espaço-temporal da cana-de-açúcar em escala regional de campo, pode contribuir como ferramentas para orientar à construção de planos estratégicos de posicionamento de cultivares, sob a ótica da busca de materiais genéticos mais produtivos em teor de sacarose e também mais eficientes no uso da luz, associando ao agrossistema canavieiro maior capacidade de captura de dióxido de carbono atmosférico para produção de fotoassimilados e açúcar ou álcool na unidade sucroenergética.

#### 5. Agradecimentos

O autor agradece à Energética Serranópolis-Goiás pela disponibilidade de dados agroindustriais de colheita da cana-de-açúcar e suporte logístico durante a execução do estudo.

#### 6. Referências

Abreu, M. L. de., Silva, M. de A., Teodoro, I., Holanda, L. A. & Neto, G. D. S. (2013). Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, **Bragantia Campinas**, v. 72, n. 3, p.262-270.

Arnt, W. R. (2016). **Desempenho de variedades de cana-de-açúcar em duas épocas de colheitas no Pontal de Paranapanema**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados - Mato Grosso do Sul.

Baret, F., Pavageau, K., Béal, D., Weiss, M., Berthelot, B. & Regner, P. (2005). Algorithm Theoretical Basis Document for MERIS Top of Canopy Land Products (TOC\_VEG). Contract ESA AO/1-4233/02/I-LG, INRA & Noveltis, Avignon.

- Beadle, C. L. & Long, S. P. (1985). Photosynthesis – is it limiting to biomass production? **Biomass**, v.8, p.119-128.
- Bégué, A., Arvor, D., Bellon, B., Betbeder, J., De Aballeyra, D.; P. D. Ferraz, R.; Lebourgeois, V., Lelong, C., Simões, M. & Veron, S.R. (2018). Remote Sensing and Cropping Practices: A Review. **Remote Sens.**, 10, 99. <https://doi.org/10.3390/rs10010099>
- Câmara, G. & Medeiros, J. S. de. (1998). **Mapas e suas representações computacionais** (2ªed.) In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.) **Sistema de informações geográficas.**, Brasília: Embrapa – SPI / Embrapa– CPAC, 1998. p. 13 – 30.
- Cardoso, M.R.D., Marcuzzo, F.F.N. & Barros, J.R. (2014). Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, v.8, n.16, p.40-55.
- Diola, V. & Santos, F. (2010). Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A., & CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas.** Viçosa: Editora UFV. p. 25-49.
- Danelichen, V. H. M., Biudes, M. S. & Seixas, G. B. (2014). Estimativas de índice de área foliar de uma pastagem por sensoriamento remoto no Pantanal Mato-grossense. **Revista Ciências e Natura** – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, v. 36 n.3, p. 373 – 384.
- Duft, D. G., Luciano, A. C. S., Fiorio, P. R. (2019) Sentinel-2B and Random Forest algorithm potential for sugarcane varieties identification. Proceedings XX GEOINFO, November 11-13, São José dos Campos, São Paulo p.188-193.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3 ed.; Brasília, Brazil, 353p.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020) FAO no Brasil. OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2020-2029 © OECD/FAO 2020 Available online at <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8861en>. Accessed in: August 30th, 2021.
- Formaggio, A.R., Vieira, M.A., Rennó, C.D., Atzberger, C., Aguiar, D.A. & Mello, M.P. (2012). Object Based Image Analysis and Data Mining applied to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas. **Remote Sens. Environ.**, 123, 553–562.
- Fortes, C. (2004). Discriminação varietal e estimativa de produtividade agroindustrial de cana-de-açúcar pelo sensor orbital ETM+/LANDSAT7. Dissertação de Mestrado, Escola Superior Agrícola Luiz de Queiroz, Piracicaba – São Paulo, Brasil.
- Humbert, R. P. (1974). **El cultivo de la caña de azúcar.** Tradução de Alfonso Gonzalez Gallardo. México: Compañía Editorial Continental. 719p.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. (2021): **Banco de dados meteorológicos.** Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 05 mai. 2021.

Jacquemoud S., Verhoef W., Baret F., Bacour C., Zarco-Tejada P.J., Asner G.P., François C., & Ustin S.L. (2009), PROSPECT + SAIL models: a review of use for vegetation characterization. *Remote Sensing of Environment*, 113, S56-S66.

JASP Team (2022). JASP (Version 0.16.4.0) [Computer software]. <https://jasp-stats.org/>

Kumar, M. & Monteith, J. L. (1982). Remote Sensing of crop growth. In: H. Smith (ed.), Plants and the daylight spectrum. **Academic Press, London**, p. 133-144.

Leme E. J. A, Maniero M. A, & Guidolin J.C. (1984). Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. *Cadernos Planalsucar*, v.2, p.3-22.

Maia, F. C. O., Bufon, V. B., & Leão, T. P. (2022). Vegetation índices as a tool for mapping sugarcane management zones. **Precision Agriculture**. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09939-7>

Masoni. A., Ercoli. L., Mariott. M., & Barberi, P. (1994). Changes in spectral properties of ageing and senescing maize and sunflower leaves. **Physiologia Plantarum**. v. 91, p. 334-338. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb00441.x>

Monteith, J. L. (1972). Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems. **The Journal of Applied Ecology**. v. 9, p. 747-766.

Moore, P.H., Cosgrove, D.J. (1991). Developmental changes in cell and tissue water relations parameters in storage parenchyma of sugarcane. **Plant Physiology**, Rockville, v. 96, p. 794-801.

Nyadanu. D. & Dikera, E. (2014), exploring variation, relationships and heritability of traits among selected accessions of sorghum (*Shorghum bicolor L. Moench*) in the Upper east region of Ghana. **Journal of Plant Breeding and Genetics**, v. 2, n. 3, p. 101-107.

Pereira, A.R., Barbieri, V., & Villa Nova, N.A. (1983). Climatic conditioning of flowering induction in sugarcane. **Agricultural Meteorology**. v. 29, n. 2, p. 103-110.

Running, S.W., Nemani, R. R., Heinsch, F. A., Zhao, M., Reeves, M. & Hashimoto, H. (2004). A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. **BioScience**, v. 54 n. 6, p. 547–560.

Salata, J.C. (1992). A utilização de Ethrel para melhoria da matéria-prima na Usina Quatá. In: ENCONTRO RHODIA CANA-DE-AÇÚCAR, São Paulo. **Anais...** São Paulo: s.ed., 1992. v.2, p. 49-51.

Silva, A. I. C., Costa, & W. A. J. M. (2012). Growth and radiation use efficiency of sugarcane under irrigated and rainfed conditions in Sri Lanka. **Sugar Tech**. v.14, p.247-254.

Singels, A., Smit, M.A., Redshaw, K.A. & Donaldson, R.A. (2005) The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 92, p. 249-260, 2005

Vetrita, Y., Chaoyang, W., Zheng, N. & Hirano, T. (2011). Evaluation of light use efficiency model using modis in tropical peat swamp forest, Indonesia. In: Second cresos International Symposium on south east Asia

environmental problems and satellite remote sensing, Indonesia. **Anais...** p. 127-134.

Vygodskaya, N.N., Gorshkova, I., Fadeyva, Y. V. (1989). Theoretical estimates of sensitivity in some vegetation indices to variation in the canopy condition. *International Journal of Remote Sensing*, v.10, n. 12, p.1857-1872.

Weiss, M., Baret, F. (2016). S2ToolBox level 2 Products Algorithms: LAI, FAPAR, FCOVER Version 1.1.