

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA ESTIMAR O IAF E FRAÇÃO DE COBERTURA DE MILHO E SOJA NO RIO GRANDE DO SUL

CASSIO MIGUEL FERRAZZA¹, MIRTA TERESINHA PETRY², LEONARDO CHECHI³, JULIANO DALCIN MARTINS⁴, ANDERSON LUIZ FAGAN¹, LUIZ HENRIQUE MARQUES COPETTI¹

¹Aluno de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, (55) 984493408, e-mail: cassiom.ferrazza@gmail.com, fagan.adm@gmail.com e luzcopettimarques@gmail.com.

²Prof. Dr., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – UFSM, Santa Maria- RS. e-mail: mirta.petry@gmail.com.

³Eng.º Agr.º, MSc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da UFSM, Santa Maria, RS. e-mail: leonardochechi@gmail.com.

⁴Eng.º Agr.º, Dr., Departamento de Engenharia Rural, UFSM, Santa Maria, RS. Email: julianodalcinmartins@gmail.com.

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: O sensoriamento remoto pode ser utilizado para avaliar mudanças em plantas na fenologia, índice de área foliar (IAF), altura e fração de cobertura do solo (f_c). Devido a correlação existente entre índices de vegetação (VI) e características biofísicas das culturas, o NDVI tem sido utilizado para monitorar a dinâmica do IAF e da f_c . Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar a f_c e o IAF de soja e milho no Rio Grande do Sul, utilizando o índice de vegetação NDVI. O estudo foi realizado em 2018/19, usando soja e milho, em área irrigada e de sequeiro. Observações do IAF, altura e f_c foram realizadas em intervalos de aproximadamente 8 dias. O NDVI para a estimativa da f_c e o IAF da soja e milho foi derivado de imagens do satélite Sentinel (sensores 2A e 2B). Observou-se alta concordância entre os valores observados e simulados, tanto para f_c como para IAF, com RMSE de variando de 0.02 para a f_c e de 0.61 a 0.29 para o IAF, indicando que os modelos propostos foram eficientes para o monitoramento de variáveis biofísicas como a f_c e o IAF.

PALAVRAS-CHAVE: Índices de vegetação. IAF. Fração de cobertura.

VEGETATION INDICES FOR IAF ESTIMATION OF MAIZE AND SOY AND SOIL COVERAGE FRACTION

ABSTRACT: Remote sensing can be used to evaluate changes in plants in phenology, leaf area index (IAF), height and fraction of soil cover (f_c). Due to the existing correlation between vegetation indices (VI) and biophysical characteristics of the crops, NDVI has been used to monitor the dynamics of the IAF and f_c . Thus, the objective of this work was to estimate the f_c and IAF of soybeans and corn in Rio Grande do Sul, using the NDVI vegetation index. The study was carried out in 2018/19, using soybeans and corn, in irrigated and rainfed areas. IAF, height and f_c observations were performed at approximately 8-day intervals. The NDVI for the estimate of the f_c and the IAF for soybeans and corn were derived from images from the Sentinel satellite (sensors 2A and 2B). High agreement was observed between the observed and simulated values, both for f_c and for IAF, with RMSE ranging from 0.02 for f_c and from 0.61 to 0.29 for IAF, indicating that the proposed models were efficient for monitoring biophysical variables such as the f_c and the IAF.

KEYWORDS: Vegetation indices. IAF. Coverage fraction.

INTRODUÇÃO: As características das culturas variam espacial e temporalmente com o crescimento da vegetação, sendo importantes para avaliar os estádios fenológicos das culturas agrícolas, calendarizar práticas de manejo, como a aplicação de fertilizantes e o manejo da irrigação. O sensoriamento remoto, através de índices de vegetação como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), oferece vários indicadores das características de crescimento de culturas agrícolas, como o índice de área foliar (Yao et al., 2015), a fração de solo coberta pelo dossel (Asadi et al., 2019) e acúmulo de biomassa (Gao et al., 2018), que são importantes parâmetros para estimar a produção de biomassa e grãos em escala regional ou em nível de propriedade.

O índice de área foliar (IAF) e a fração de cobertura do solo (f_c) tem sido reconhecidos como parâmetros essenciais para avaliar taxas de crescimento, acúmulo de biomassa e produção, que são importantes para estimar a produção de biomassa e grãos em escala regional ou em nível de propriedade. A f_c representa a densidade vertical e horizontal da vegetação, variando de 0% (solos nus ou sem vegetação) até 100%, quando o dossel é completo, sendo uma excelente variável para a estimativa do IAF e da biomassa, que são parâmetros utilizados em modelos de predição do rendimento das culturas (BARKER et al., 2018). Estimativas acuradas da f_c são importantes para uma larga gama de implicações, incluindo exigências nutricionais, temperatura da superfície (ZHANG et al., 2013), além da estimativa dos coeficientes de cultura e requerimento hídrico. As medidas tradicionais de variáveis como a f_c e IAF consomem tempo, são destrutivas, trabalhosas e, muitas vezes pouco precisas em áreas com elevada variabilidade espacial (KAYAD et al., 2019). Assim, o sensoriamento remoto surge como uma alternativa viável para avaliar mudanças na vegetação, como a fenologia, o IAF e a f_c .

A f_c ou IAF mensurados de forma periódica, são parâmetros fundamentais para a aplicação de modelos de balanço hídrico, como o SIMDualKc. Entretanto, a necessidade de observar as datas e valores dessas variáveis limita o uso de muitos modelos, pois precisa-se de muitas observações de campo. Assim, o principal objetivo deste trabalho foi estimar a fração de cobertura (f_c) e o índice de área foliar de milho e soja no Rio Grande do Sul, utilizando o índice de vegetação NDVI.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento de campo foi realizado no ano agrícola de 2018/19, no município de Cachoeira do Sul, Depressão Central do Rio Grande do Sul, mais especificamente na latitude 29°52'27"S e longitude 53°00'54"O. Foram avaliadas as culturas da soja (safrinha) e milho (safra) em área irrigada por pivô central com 44 ha e uma área de sequeiro, com três repetições. O milho semeado foi o híbrido BG 7318 YH, no dia 05 de agosto de 2018, em população de 78 mil plantas ha⁻¹. A colheita foi realizada no dia 14 de janeiro de 2019. A cultivar de soja TMG 7062 foi semeada em sucessão ao milho, em 24 de janeiro, utilizando população de 444 mil plantas ha⁻¹; a colheita ocorreu em 17 de maio de 2019. Ambas às culturas foram semeadas em espaçamento de 0,45 m entre linhas. O manejo da irrigação foi realizado pelo Sistema Irriga®, um serviço de manejo e monitoramento de irrigação, que utiliza um fator de depleção da água no solo de 0,40, ou seja, a irrigação é recomendada sempre que a disponibilidade de água no solo baixar 40% do total de água disponível (TAW).

Para o IAF, coletou-se informações morfológicas, em intervalos aproximados de 8 dias, em duas plantas previamente demarcadas, em cada parcela experimental. A f_c foi determinada a partir de fotografias de duas linhas em três diferentes pontos, próximos aos sensores de umidade do solo, adicionando uma marcação no solo de 0,20 m, a qual servia como escala. A partir dessa escala, calculou-se a área total da imagem e, por diferença de cor espectral, a área correspondente ao dossel da cultura e a superfície do solo, utilizando o software ImageJ® (National Institute of Health, EUA). Dividindo-se a área correspondente ao dossel da cultura pela área total da imagem, determinou-se a f_c . O IAF foi determinado de forma não destrutiva,

conforme metodologia descrita por Richter et al. (2014) e Stickler et al. (1961), para soja e milho, respectivamente.

A estimativa do f_c e o IAF para a soja e o milho utilizando o NDVI, foi feita a partir de imagens obtidas pelo satélite Sentinel (sensores 2A e 2B). Ambos os sensores foram utilizados de forma complementar, com a intercalação das visitas, para cobrir a maior frequência temporal possível, para evitar cobertura de nuvens. A partir dos valores de NDVI derivados das imagens do satélite, buscou-se estimar a $f_{c\text{NDVI}}$ e IAF_{NDVI} . Para a estimativa da $f_{c\text{NDVI}}$ adotou-se a metodologia proposta por Poças et al. (2015), descrita na Equação (1).

$$f_{c\text{NDVI}} = \beta_1 \left(\frac{\text{NDVI}_i - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \right) + \beta_2 \quad (1)$$

onde, β_1 é um coeficiente empírico (0 a 1), o qual depende do valor máximo do NDVI em cada estágio de desenvolvimento da cultura; NDVI_i corresponde ao NDVI para uma data específica, e NDVI_{\max} e NDVI_{\min} são os NDVIs para o máximo e mínimo de cobertura vegetal, respectivamente; β_2 corresponde a um coeficiente de ajustamento associado com a senescência da cultura e amarelecimento das folhas.

Para a calibração e validação da estimativa da $f_{c\text{NDVI}}$ e do IAF_{NDVI} , foi utilizado um conjunto de indicadores estatísticos comparando-se os dados estimados com os dados observados ($f_{c\text{obs}}$ e IAF_{obs}). Os indicadores utilizados foram coeficiente linear de regressão (b_0), coeficiente de determinação (R^2), raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e porcentagem de viés (P-bias).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A variação temporal do NDVI para os diferentes estádios de desenvolvimento do milho e soja, irrigado e de sequeiro, é apresentada na Figura 1. O NDVI incrementou rapidamente no milho, a partir dos 30 dias após a semeadura, alcançando o pico no estágio da floração, em meados de novembro, permanecendo com valores acima de 0.6 até o final do estágio reprodutivo. Não foram observadas diferenças nos valores do NDVI entre o milho irrigado e de sequeiro, o que pode ser explicado pela ausência de stress, uma vez que, os VI não detectam estresses leves, segundo Pôças et al. (2015). Para a soja, o NDVI inicial foi maior que o do milho, por ser uma cultura de safrinha, quando as temperaturas diárias são mais elevadas, incrementando rapidamente tanto a área foliar, como a altura. Um incremento exponencial foi observado no NDVI da soja irrigada e de sequeiro, a partir da metade do período vegetativo, devido ao aumento significativo do IAF e altura de plantas. A ausência de observações de IAF e f_c na fase de maturação fisiológica e senescência, devido às condições meteorológicas adversas, dificultou a obtenção do NDVI para a fase final.

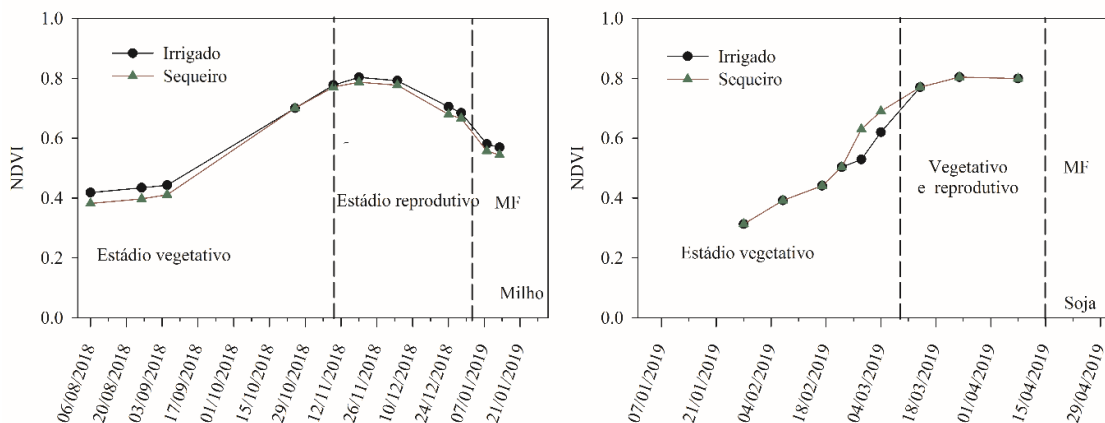


Figura 1 – Variação temporal do NDVI por estágio de desenvolvimento, a partir de imagens do Sentinel para as culturas do milho e da soja, irrigados e de sequeiro, no ano agrícola 2018/19, onde MF equivale a maturação fisiológica.

A relação entre a fração de cobertura observada ($f_{c\text{ obs}}$) e a fração de cobertura estimada pelo NDVI ($f_{c\text{ NDVI}}$) para a soja, de acordo com a metodologia proposta por Pôças et al. (2015), estão apresentadas na Figura 2, mostrando elevado ajuste entre os valores observados e simulados, tanto para a área irrigada (calibração), como para a área de sequeiro (validação), com valores de b_0 próximos a 1.00, $R^2 > 0.99$ e $P\text{-bias}$ variando de -1.89 (irrigado) a 1.87 (sequeiro). Apesar de poder relacionar a f_c com o IAF, a estrutura das plantas de milho e soja muda conforme o híbrido ou variedade utilizada e também entre os diferentes estádios de desenvolvimento, dificultando o uso de um valor único de IAF para representar a f_c , uma vez que, o IAF afeta fortemente o NDVI. Consequentemente, foi observada uma relação linear entre a f_c e o NDVI, indicando que o NDVI pode ser largamente utilizado para monitorar os estádios fenológicos da cultura, a interceptação da radiação solar e o requerimento hídrico de uma gama de culturas.

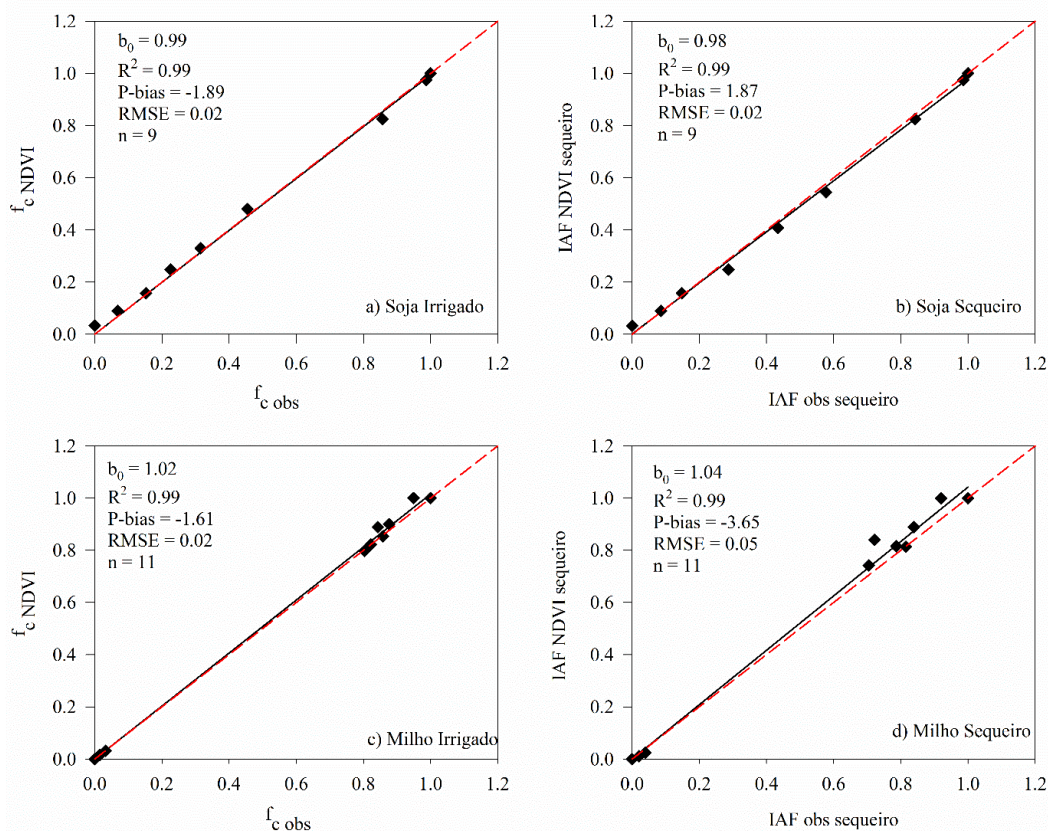


FIGURA 2 - Relação entre a $f_{c\text{ NDVI}}$ e a $f_{c\text{ obs}}$ da soja irrigada (a – calibração), soja sequeiro (b – validação), milho irrigado (c – calibração) e milho sequeiro (d – validação), no ano agrícola de 2018/19. Os indicadores estatísticos representam o coeficiente linear (b_0) e o coeficiente de determinação (R^2), a porcentagem de viés ($P\text{-bias}$), a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e o número de observações (n).

De La Casa et al. (2018), utilizando o NDVI derivado de imagens dos satélites LANDSAT 7 e 8, com resolução espacial de 30 metros, encontraram elevado ajuste entre a f_c estimada a partir de fotografias e a partir de NDVI com R^2 de 0.95, para a cultura da soja. Esses resultados se aproximam muito dos encontrados nesse trabalho, principalmente para os estádios onde o dossel passa a cobrir totalmente o solo, com uma leve subestimativa na fase inicial (da semeadura até 10% de IAF), devido ao intercepto negativo.

A estimativa de parâmetros como a f_c para a calibração e validação de modelos de balanço hídrico tem sido reportado na literatura. Er-Raki et al. (2007) encontraram alta correlação ($R^2 = 0.89$) entre a f_c observada e o NDVI, utilizando a f_c derivada de NDVI para a calibração do

modelo SIMDualKc para o trigo, incluindo a determinação da duração dos estádios (inicial, intermediário e final), bem como, para a estimativa do valor do coeficiente de cultura basal (K_{cb}).

A calibração e validação de modelos de regressão para a estimativa do IAF da soja e do milho é apresentada na Figura 3. Os indicadores estatísticos utilizados na validação da regressão nas Figuras 2b e 2d demonstram a precisão para a estimativa do IAF nas áreas de sequeiro (validação), com R^2 de 0.97 e 0.98, para soja e milho, respectivamente, indicando alta correlação entre dados observados e estimados pelo NDVI. O b_0 obtido foi de 1.12 e 1.01 e P-bias de -14.61 e -4.08, para soja e milho, respectivamente, indicando uma leve superestimação pelo modelo em comparação aos dados observados, o qual foi maior para a soja.

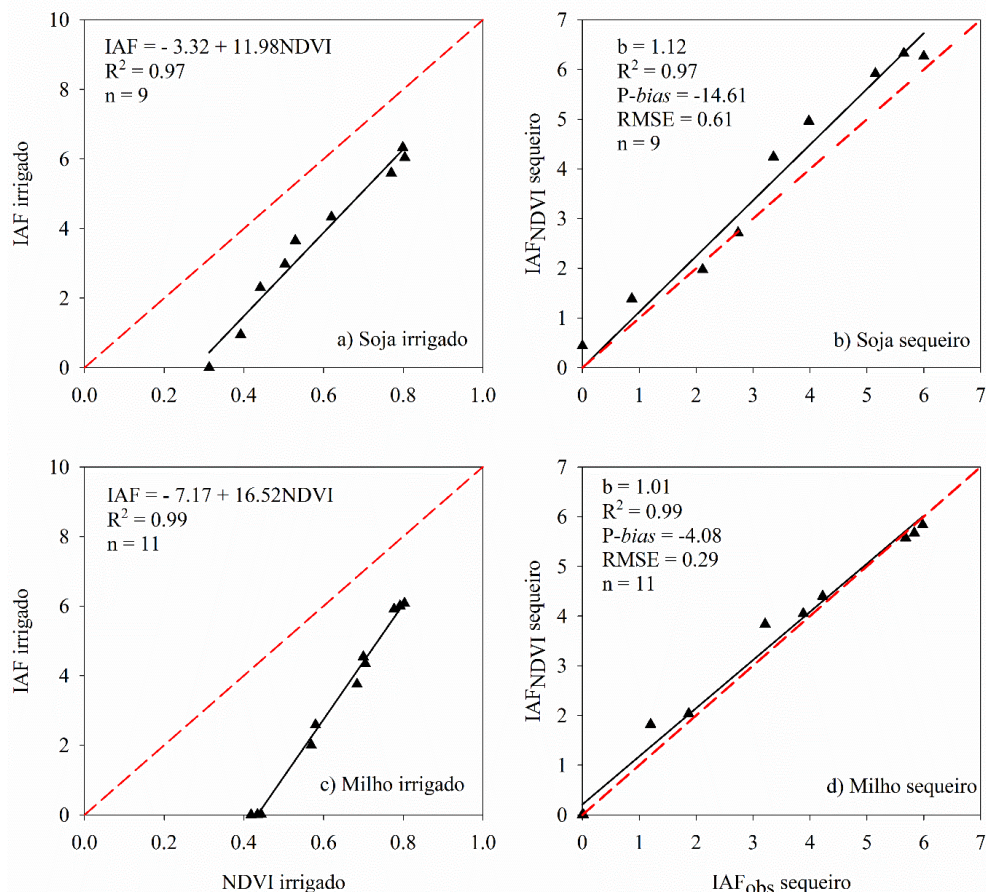


FIGURA 3 - Calibração e validação de regressão linear para a estimativa do índice de área foliar a partir do NDVI derivado de imagens de satélites, utilizando dados observados da soja irrigada (a - calibração) e sequeiro (b - validação) e milho irrigado (c - calibração) e sequeiro (d - validação), no ano agrícola 2018/19. Os indicadores estatísticos apresentados são: o coeficiente linear (b_0) e o coeficiente de determinação (R^2), a porcentagem de viés (P-bias), a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e o número de observações (n).

Os valores de RMSE (0.61 e 0.29) representam 10 e 5% do IAF máximo encontrado para a soja e milho, respectivamente, encontrando-se dentro da faixa de valores reportados na literatura. Zhang et al. (2019), utilizando imagens do satélite Sentinel, para estimativa do IAF através de regressões com o NDVI, encontraram valores de RMSE de 0.44 e 0.31 para o milho, comparando com valores observados em superfície. A adequada precisão na estimativa do IAF_{NDVI} pelas equações apresentadas na Figura 3 pode ser atribuída a utilização de imagens de satélite com alta resolução espacial (10 m), como é o caso dos sensores 2A e 2B, a bordo do satélite Sentinel.

CONCLUSÕES: Para a estimativa da f_c , o modelo proposto apresentou alta precisão tanto para a soja como para o milho, com RMSE de 0.02 e 0.05, respectivamente, para a validação do modelo. As regressões propostas para a estimativa do IAF de ambas as culturas também se mostraram eficazes com RMSE de 0.61 e 0.29, para soja e milho, respectivamente. Dessa forma, conclui-se que os modelos propostos foram eficientes para o monitoramento de variáveis biofísicas como a f_c e o IAF.

REFERÊNCIAS:

ASADI S.; BANNAYAN M.; JAHAN M.; HISSEINI A. F. **Using the red-near infrared spectral to estimate ground cover based on vegetative indices.** International Journal of Remote Sensing, 49(18): p.7153-7168, 2019.

BARKER J. B.; NEALE C. M. U.; HEEREN D. M.; SUYKER A. E. **Evaluation of a hybrid reflectance-based crop coefficient and energy balance evapotranspiration model for irrigation management.** Trans. of ASABE, 61(2): p.533-548, 2018.

DE LA CASA A.; OVANDO G.; BRESSANINI L.; MARTÍNEZ J.; DÍAZ G.; MIRANDA C. **Soybean crop coverage estimation from NDVI images with different spatial resolution to evaluate yield variability in a plot.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing p.146:531-547, 2018.

ER-RAKI S.; CHEHBOUNI A.; GUEMOURIA N.; DUCHEMIN B.; EZZAHAR J.; HADRIA R. **Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region.** Agricultural Water Management 87(1): p.41–54, 2007.

GAO F.; ANDERSON M.; DAUGHTRY C.; JOHNSON D. **Assessing the Variability of Corn and Soybean Yields in Central Iowa Using High Spatiotemporal Resolution Multi-Satellite Imagery.** Remote Sensing 10 (1489): p.1-22, 2018.

PÔÇAS I.; PAÇO T.; PAREDES P.; CUNHA M.; PEREIRA L. S. **Estimation of Actual Crop Coefficients Using Remotely Sensed Vegetation Indices and Soil Water Balance Modelled Data.** Remote Sensing 7(3): p.2373–2400, 2015.

RICHTER G. L.; ZANON A. J.; STRECK N. A.; GUEDES J. V. C.; KRÄULICH B.; ROCHA T. S. M.; WINCK, J. E. M.; CERA J. C. **Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo.** Bragantia 73(4): p.416–425, 2014.

STICKLER F. C.; WEARDEN S.; PAULI A. W. **Leaf Area Determination in Grain Sorghum.** Agronomy Journal 53 (3): p.187-188, 1961.

YAO F.; TANG P.; WANG P.; ZHANG J. **Estimation of maize yield by using a process-based model and remote sensing data in the Northeast China Plain.** Physics and Chemistry of the Earth, 87(88): p.142-152, 2015

ZHANG M.; SU W.; FU Y.; ZHU D.; XUE J. H.; HUANG J.; WEI W.; WU J.; YAO C. **Super-resolution enhancement of Sentinel-2 image for retrieving LAI and chlorophyll content of summer corn.** European Journal of Agronomy 111: p.125-137, 2019.