

**INSTITUTO FEDERAL**  
**GOIANO**  
Câmpus Rio Verde

**BACHAREL EM AGRONOMIA**

**UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS  
PARA ESTIMAR A DIVERSIDADE ESPECTRAL DE  
VARIEDADES DE SOJA**

**GUILHERME MENDES MOREIRA**

**Rio Verde, GO**

**2020**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE

FACULDADE DE AGRONOMIA

**UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS  
PARA ESTIMAR A DIVERSIDADE ESPECTRAL DE  
VARIEDADES DE SOJA**

**GUILHERME MENDES MOREIRA**

Monografia apresentada ao Instituto Federal  
Goiano - Campus Rio Verde, como requisito  
parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em  
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Diego Silva Cabral

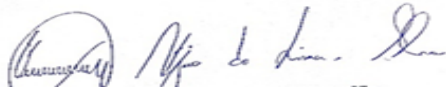
Rio Verde – GO

Setembro, 2020

**GUILHERME MENDES MOREIRA**

**UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA  
ESTIMAR A DIVERSIDADE ESPECTRAL DE VARIEDADES DE SOJA**

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 28 de setembro de 2020, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



---

Prof. Dr. Fernando Higino de Lima e Silva  
IF Goiano Campus Rio Verde



---

Dr. Roberto Gomes Vital  
Universidade Federal de Goiás



---

Prof. Dr.(a). Pablo Diego Silva Cabral  
IF Goiano Campus Rio Verde

Rio Verde – GO  
Setembro, 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

M838u      Moreira, Guilherme  
              UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA  
ESTIMAR A DIVERSIDADE ESPECTRAL DE CULTIVARES DE  
SOJA / Guilherme Moreira; orientador Pablo Diego  
Cabral. -- Rio Verde, 2020.  
              23 p.

              Monografia (Graduação em Bacharelado em Agronomia  
              ) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde,  
              2020.

              1. Glycine max. 2. Sensoriamento remoto. 3.  
Melhoramento genético. I. Cabral, Pablo Diego,  
orient. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ser a base de tudo, por me abençoar e guiar até este momento tão especial.

A todos os professores do Instituto Federal Goiano pelo compartilhamento de conhecimento, em especial ao professor, Pablo Diego Silva Cabral pelo apoio, parceria, amizade e orientação em todos esses anos e principalmente durante este trabalho. A todos meus amigos e colegas dentro e fora do Instituto Federal Goiano, em especial a Pablo Henrique Alves, Guilherme Medeiros, Filipe Ferro, João Paulo Martins, Pamela Dias e demais, por terem mostrado a importância da amizade em uma faculdade e pelas trocas de aprendizado.

A todos do Polo de Inovação, principalmente aos do LDVA, em especial a Victor Hugo Moraes, Bruno Henrique Tondato e Tavvs Alves, por terem tido todo cuidado e paciência ao me apresentar ao mundo dos drones e imagens multiespectrais.

A todos participantes do Laboratório de Melhoramento Genético do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, que fizeram parte da execução desse trabalho, e a todos amigos que conheci durante a faculdade, que sempre auxiliaram e contribuíram para a minha formação de forma direta ou indireta. Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite, pela amizade construída, e conhecimento compartilhado.

Aos responsáveis por minhas primeiras experiências profissionais Arlene Alfaro, Marcelo Andrade, Alan Carlos, Ricardo Bonacin, Fernando Almeida e Jair Leão, onde abriram portas, me dando a oportunidade de conhecer empresas diferentes, adquirindo conexões e conhecimentos, com toda certeza auxiliando na minha transformação profissional e principalmente como pessoa.

A Anne Lelis, que foi a melhor parceira que alguém poderia ter, sempre me incentivando e auxiliando onde podia, aos meus avós Orbino Moreira e Eulalia Dominiciano, por terem me motivado e ajudado em todos os momentos eu precisei, ao meu irmão Gustavo Mendes, a minha Mãe, Nara Rubia Mendes, por ter me apoiado, me incentivado, ter sido meu porto seguro em todos momentos e ao meu pai Fabrício Moreira, por ter me apoiado, sempre fazendo de tudo para que eu me tornasse o melhor profissional possível e sei que onde estiver, vai torcer por mim.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, pela grande oportunidade de aprendizagem e aprimoramento profissional e pessoal onde tive momentos memoráveis, conhecendo pessoas únicas, onde estas me tornaram melhor.

## RESUMO

MOREIRA, Guilherme Mendes. **Utilização de veículos aéreos não tripulados para estimar a diversidade espectral de variedades de soja**. 2020. Monografia 23 p. (Curso de Bacharelado de Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, GO, 2020.

O trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de sensores embarcado em VANT's, no quesito de diferenciação espectral entre variedades de soja. O experimento foi conduzido no IF Goiano-Rio Verde, onde foram avaliados 32 variedades de soja em 3 repetições por meio de blocos casualizados e gerando as bandas espectrais: NIR, REDEEDGE, PRI, NPRI, NDVI, NDRE e os comprimentos de onda Red, Green, Blue, 586, 615, 661, 775, 825. Foram avaliados produtividade, grupo de maturação e massa de 100 grãos. Para verificar se houve diferença espectral entre os genótipos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de probabilidade, a partir da análise de variância obteve-se a matriz de variância e covariância residuais e por esta a matriz de dissimilaridade pela distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ), visando avaliar a distância espectral entre os materiais genéticos. A contribuição relativa dos comprimentos de onda e dos índices (S.j) na separação dos genótipos foi estimada de acordo com Singh (1981). Os comprimentos de onda/índice que mais contribuíram para dissimilaridade dos genótipos foram BLUE, GREEN, NIR, RED e REDEEDGE, respectivamente. Os materiais com a maior distância espectral foram o G14 em relação ao G31. Já os materiais com a menor distância foram o G18 em relação ao CD 2728. O CCC ficou em 0,7569, o que mostra uma boa precisão no agrupamento gerado por meio dos dados gerados foi possível observar a presença de variabilidade espectral entre as variedades.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, Sensoriamento remoto, Melhoramento genético.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Identificação dos genótipos de soja, Grupo de maturidade (GM), produtividade média (PROD) e massa de cem grãos (M100)..... 11
- Tabela 2.** Resumo da análise de variância com os quadrados médios dos comprimentos de onda e índices, máximos, medias, mínimos e coeficiente de variação (CV), avaliados nos 32 genótipos de soja..... 12

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Rede de correlação fenotípica de caracteres de soja.....18
- Figura 2.** Importância relativa (S.j) em porcentagem dos comprimentos de ondas e índices na dissimilaridade entre os genótipos de soja..... 19
- Figura 3.** Dendrograma obtido pelo comprimento de ondas e índices com o complemento da distância generalizada de Mahalanobis e pelo agrupamento UPGMA dos 32 genótipos de soja.....21
- Figura 4.** Boxplot dos valores mínimo, médio e máximo – 25, 50 e 75 quartis – dos cinco comprimento de onda/índice, Red, Green, Blue, Nir e Rededge.....22

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.1 Soja .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2 Importância econômica.....	8
2.3 Melhoramento da soja.....	9
2.4 Diversidade Genética .....	9
2.5 Utilização de Drones no Melhoramento .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>19</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine Max* (L.) Merrill] é a oleaginosa de maior importância econômica no mundo. Na safra 2019/2020 a produção mundial foi de 337,298 milhões de toneladas em uma área cultivada de 122,647 milhões de hectares, com uma produtividade média de 2750 kg.ha<sup>-1</sup> (USDA, 2020). O maior produtor mundial é Brasil com uma produção de 124,845 milhões de toneladas em 36,950 milhões de hectares 2019/2020 (USDA, 2020; CONAB, 2020), sendo o país o maior exportador dessa commodity.

Nas últimas décadas, tanto a produção quanto a produtividade da soja vêm aumentando consideravelmente no Brasil. Dentre os fatores que contribuíram para isto destaca-se o melhoramento genético (SILVA et al., 2017). O processo de melhoramento da soja envolve várias etapas desde a escolha de caracteres interessantes, cruzamentos genéticos, seleção de linhagens, replicação etc. A escolha dos genitores uma das principais etapas, nesse sentido, avaliar a diversidade em um grupo de genitores para identificar os cruzamentos que proporcionem maior efeito heterótico aumenta a probabilidade de obtenção de segregantes transgressivos na população (BHERING et al., 2017). A diversidade pode ser estimada por vários tipos de caracteres, tais como marcadores moleculares (onde o processo se torna mais rápido e eficiente) (GUPTA & MANJAYA, 2017), caracteres quantitativos e/ou qualitativos (GIZLICE et al., 1993), dentre outros.

A aquisição rápida, precisa, em larga escala e de baixo custo das informações fenotípicas das culturas é um pré-requisito importante para aumentar a eficiência da experimentação agrícola em larga escala (YANG et al., 2017). Nesse sentido, a utilização de imagens de sensoriamento remoto adquiridas com veículos aéreos não tripulados (VANTs) equipados com sensores hiperspectrais, multiespectrais, RGB (vermelho, verde, azul) ou termal no auxílio a experimentação agrícola vem crescendo nos últimos anos (YANG et al., 2017, BURUD et al., 2017). Tais equipamentos permitem detectar a variação da refletância espectral entre os tratamentos fornecendo informações sobre propriedades do dossel, área foliar, composição química das folhas, eficiência fotossintética, caracteres morfofisiológica de um grande número de unidades experimentais (XUE & SU, 2017), podendo assim reduzir custos e tempo em comparação aos métodos usuais de estimação desses parâmetros (GROßKINSKY et al., 2015).

No melhoramento genético de plantas, imagens obtidas por sensores espectrais acoplados a VANT vêm sendo utilizadas na predição da produtividade de grãos, classificação

do grupo de maturidade, caracteres bioquímicos e biofísicos de cultivares, diferenciar os grãos entre cultivares de soja (MAIMAITIJIANG et al., 2017; ZHU et al., 2019), altura de planta e produtividade de grãos em trigo (HASSAN et al., 2019), altura de planta em milho (WANG, et al., 2019), arquitetura de dossel, área foliar, eficiência fotossintética e uso da água em Pinus (SANTINI et al., 2019). Porém, ainda não há relatos do uso de imagens capturadas por VANT para estimar a diversidade espectral de genótipos de soja.

O objetivo desse trabalho foi o de estimar a diversidade espectral entre 32 genótipos de soja com diferentes comprimentos de onda e índices vegetativos obtidos por sensor multiespectral acoplado em um veículo aéreo não tripulado.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 SOJA**

A soja pertence ao reino *Plantae*, divisão *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* e forma cultivada conhecida como *Glycine max* (L.) Merrill (SEDIYAMA, 2009). A soja é uma planta originária da China, sendo uma cultura anual, herbácea, ereta, autógama e possui variação morfológica de acordo com o ambiente em que está inserida. Existem cultivares que variam de um ciclo médio de 70 dias e até cultivares com ciclo médio de 200 dias e estádios fenológicos baseados, principalmente, em vegetativo e reprodutivo (BORÉM, 1999).

### **2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA**

Com a expectativa de produção de 122 milhões de toneladas no ano de 2020, uma produção relativamente maior do que o ano anterior (CONAB, 2020), a soja entra como uma das principais commodities produzidas no país, onde ocupará uma área de 37,05 milhões de hectares nesta safra 2020/2021 e com uma expectativa de produtividade média de 3466 Kg por hectare (DATAGRO, 2020). Logo, o Brasil é o segundo maior produtor do planeta, competindo pelo primeiro lugar com os EUA. A espécie tem importante papel na alimentação animal, alimentação humana, geração de energia via biodiesel e até na produção de polímeros, como o polioli. Todo esse potencial produtivo gera bilhões de reais anualmente e milhões de empregos de forma direta e indireta. Toda cadeia da soja é responsável por gerar cerca de 3.758.773 empregos no país, sendo responsável por 3,6% das vagas do país (MONTROYA, 2019).

### **2.3 MELHORAMENTO DA SOJA**

O maior desafio do melhoramento genético brasileiro foi desenvolver cultivares adaptadas a latitudes menores, já que a cultura foi é natural da China, um país encontrado em latitudes maiores e assim características de fotoperíodo diferentes. A chegada as regiões centro-oeste, norte e nordeste só foi possível por meio do desenvolvimento de cultivares com período juvenil longo, possibilitando sua utilização em faixas mais abrangentes de latitudes e de época de semeadura (FARIAS et al., 2005).

No Brasil, há uma procura maior por materiais de ciclo curto (ciclo inferior a 120 dias) para atender às exigências dos produtores, visando evitar perdas para doenças como a ferrugem asiática, permitir o cultivo de segunda safra e realizar a rotação de culturas (SEDIYAMA et al., 2015).

Com a importância da soja já esclarecida, é crucial que os programas de melhoramento foquem em selecionar e melhorar caracteres que venham a agregar na produtividade do material como resistência a pragas, estresse abióticos e pragas, além de peso de grão, altura de planta número de nós, vagens, grãos e ciclo fenológico para determinada região.

### **2.4 DIVERSIDADE GENÉTICA**

Ter o controle e conhecimento da variabilidade genética e do potencial agrônômico dos genótipos é de suma importância para dar início a um processo de seleção que venha resultar em ganhos genéticos para tornar viável o programa de melhoramento de plantas (ALLARD, 1999).

A diversidade genética tem o papel crucial na manutenção da vida útil de uma cultura, já que os limites de produtividade devem ser ultrapassados, e novas características de resistência e tolerância devem ser cruciais no futuro. A soja possui uma base genética com pouca variação, desta forma, a baixa variabilidade pode gerar dificuldade de sobrevivência em relação a novos eventos de patógenos, comprometendo a evolução do melhoramento ou até mesmo a produtividade (MANJARREZ-SANDOVAL, 1997).

Para o estudo de diversidade genética, os caracteres agrônômicos, moleculares e morfológicos são utilizados e então, submetidos às técnicas multivariadas, permitindo unificar múltiplas informações de um conjunto de caracteres (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

## 2.5 UTILIZAÇÃO DE DRONES NO MELHORAMENTO

Por meio do sensoriamento remoto via sensores embarcados em satélites ou aeronaves (tripuladas ou não) é possível gerar índices de radiação visível (VIS), infravermelho próximo (NIR), infravermelho de ondas curtas refletida e radiação infravermelha emitida pela cultura para estimar o potencial de rendimento (ATZBERGER, 2013). Estas reflectâncias se mostram bem eficientes em estimar biomassa, produtividade, cobertura de copa, índice de área foliar (IAF), conteúdo de clorofila e senescência de plantas (DAUGHTRY et al., 2000; GITELSON, et al., 2003; HATFIELD E PRUEGER, 2010).

O melhoramento genético da soja, por si só, é um processo oneroso, demorado, onde é necessária uma mão de obra extensa, treinada e bem qualificada. Assim, a utilização de índices de vegetação visando facilitar o processo de seleção de cultivares é muito bem vinda, porém a literatura ainda é limitada.

Logo, estes índices de vegetação e comprimentos de onda acabam sendo ótimos caracteres secundários para predição da produtividade de grãos e de características relacionadas à eficiência fotossintética, por causa de suas altas herdabilidades e correlações genéticas com o caractere agrônomo da produtividade, e facilidade de mensuração de forma remota em um grande número de indivíduos (RUTKOSKI et al., 2016).

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, GO (latitude 17° 32' 35" S e longitude 51° 02' 42" W, com elevação de 861m), situado na macrorregião sojícola 3 e microrregião 301, conforme a terceira aproximação do zoneamento agrícola, proposta por (KASTER & FARIAS, 2011).

Foram avaliados 32 genótipos de soja descritos na Tabela 1. A semeadura ocorreu no dia 20 de outubro de 2018. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. As parcelas foram constituídas de 2 linhas de 4 metros de comprimento, espaçadas em 0,50 m entre linhas e com população final de plantas 300.000 plantas. Todos os tratamentos culturais foram realizados de acordo com Embrapa (2016) no sentido de se obter o máximo potencial produtivo da cultura. Na parte agrônomo foi avaliada a produtividade de grãos (PROD), sendo colhido os grãos das plantas em dois metros lineares de cada parcela pesado em balança analítica e transformado em Kg.ha<sup>-1</sup>, o grupo de maturidade de soja (GM)

que é a designação da soja em grupos de acordo com os dias para atingirem sua maturidade de acordo com sua longitude (ALLIPRANDINI et al, 2019) e a massa de cem grãos (M100), onde foi contado cem grãos em triplicata em cada parcela e aferido o peso em balança analítica com precisão de 0,0001g, sendo dada em gramas.

Tabela 1. Identificação dos genótipos de soja, Grupo de maturidade (GM), produtividade média (PROD) e massa de cem grãos (M100).

Genótipos	GM	PROD	M100	Genótipos	GM	PROD	M100
G1	68	3857,0	14,64	G19	81	4149,5	13,41
G2	82	6387,1	14,31	CD2827	82	6330,0	15,45
G3	79	6811,3	16,33	G21	75	7658,4	14,99
G5	73	2982,2	13,03	G22	85	4091,3	14,36
G6	74	5567,0	13,92	G23	72	6798,8	12,01
G7	80	4774,0	14,88	G24	83	6817,8	13,9
G8	81	5586,7	13,41	G25	76	4793,1	14,15
G9	73	3926,2	14,03	G26	80	5196,2	14,52
G10	68	7240,8	14,19	G27	75	6039,4	14,03
G11	72	6966,9	14,43	G28	81	7211,7	14,75
CD2728	72	8188,6	15,00	G29	68	5067,9	13,89
G13	82	5412,5	14,03	G30	82	6199,6	13,41
G14	85	7431,9	14,07	G31	73	5474,6	14,48
G16	85	6213,3	11,65	Flecha	66	6745,7	16,74
G17	79	6597,8	14,61	Power	73	8090,6	13,64
G18	84	6185,8	13,26	Foco	72	8123,8	14,84

Aos 100 dias após a semeadura (DAS) foi realizado um voo com sensor multiespectral Sentera (Sentera, Inc., Minneapolis, MN) embarcado em um quadricoptero Inspire 2, onde um único sensor obtém as imagens nos comprimentos de onda: Red, Green, Blue, 586 nm, 615 nm, 661 nm, 775 nm, 825 nm, Red-edge, NIR. O planejamento de voo foi realizado utilizando o aplicativo FieldAgent (Sentera, Inc., Minneapolis, MN), com altura de voo de 40 m e sobreposição frontal e lateral de 80% para garantir boa qualidade do mosaico no pós-processamento das imagens. Essa altura permitiu obter uma resolução espacial de 3 cm para todas as bandas. As imagens foram processadas no Laboratório de Drones e VANT na Agricultura (LDVA) do Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, GO, BR, utilizando o software Pix4D (Pix4D 3.2.23, Pix4D SA, Lausanne, Suíça) e analisadas no software GIS (QGIS Development Team, Boston, EUA). A partir das bandas espectrais foram calculados os índices de vegetação: NDVI (ROUSE, 1973), NDRE (BARNES, 2000), MPRI (YANG, 2008) e PRI (GAMON, 1997). O valor da refletância dos pixels das bandas e índices de vegetação foram obtidas a partir de um desenho de uma área de interesse de 1 x 0,50 m em cada linha da

parcela. Cada ponto de amostragem foi representado por uma média aritmética dos valores de refletância dos pixels na área de 0,50 m<sup>2</sup>.

Para verificar se houve diferença espectral entre os genótipos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de probabilidade. A partir da análise de variância obteve-se a matriz de variância e covariância residuais e, por esta, a matriz de dissimilaridade pela distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ) que é dada pela fórmula:  $D^2_{ij} = (\mu_i - \mu_j)' \cdot V^{-1} (\mu_i - \mu_j)$ .

A contribuição relativa dos comprimentos de onda e dos índices (S.j) na separação dos genótipos foi estimada de acordo com Singh (1981). Posteriormente foi realizado o agrupamento pela ligação média entre grupos (*Unweighted pair-group mens arithmetics* ou UPGMA) pelo pacote cluster do programa R (Maechler, 2010). Para avaliar a precisão do agrupamento foi calculado o coeficiente de correlação cofenético (CCC), obtido com 1000 simulações, este cálculo é realizado por meio da seguinte fórmula:  $Cov(F,C) / \sqrt{V(F) \cdot V(C)}$ . O ponto de corte no dendograma foi de acordo com Milligan e Cooper (1985) adotando-se  $k=1,25$ . Para verificar possíveis associações entre as variáveis agrônômicas GM, PROD e M100 e os comprimentos de onda/índices foi realizado uma análise de correlação entre eles e testada pelo teste t.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo de genótipo ( $P<0.01$ ) para todas as refletâncias e índices (Tabela 2), indicando variabilidade espectral entre os genótipos avaliados. Os coeficientes de variação (CV) variaram de 4,06 a 83,59, para NDRE e NPRI, respectivamente. No entanto, a maioria dos CV ficou abaixo dos 16%, o que indica boa precisão experimental. Teodoro et al. (2020) avaliando populações F2 e seus genitores em soja por meio de imagens de drones, observaram coeficiente de variação de 0,82 para NDVI a 19,14 para RED, resultados abaixo do encontrado nesse trabalho.

Tabela 2. Resumo da análise de variância com os quadrados médios dos comprimentos de onda e índices, máximos, medias, mínimos e coeficiente de variação (CV), avaliados nos 32 genótipos de soja.

FV	Quadrados Médios						
	Red	Green	Blue	586	615	661	775
Genótipos	969,5**	237,9**	128,5**	433,6**	907,0**	1666,6**	1095,4**
Bloco	290,1	224,9	64,8	171,2	181,4	143,3	196,2
Mínimo	93,8	107,1	71,1	102,4	32,9	26,3	25,2

Média	126,1	132,2	87,9	131,0	63,9	57,9	71,6
Máximo	169,8	155,8	106,5	160,8	117,6	143,7	114,5
CV(%)	7,61	5,32	5,84	6,72	19,50	25,40	15,20
	Quadrados Médios						
FV	825	Nir	Rededge	PRI	NPRI	NDVI	NDRE
Genótipos	1002,7**	1277,4**	473,8**	0,001**	0,006**	0,031**	0,001**
Bloco	268,4	182,5	9,1	0,0001	0,001	0,001	0,002
Mínimo	27,3	49,7	22,3	-0,24	-0,11	0,13	0,27
Média	75,3	116,0	57,8	-0,2	0,02	0,29	0,33
Máximo	116,8	170,4	84,5	-0,13	0,08	0,53	0,39
CV(%)	12,60	12,19	13,09	7,25	83,59	15,13	4,06

\*, \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Na Figura 1 é apresentada a rede de correlações fenotípicas entre os comprimentos de ondas/índices com os dados agronômicos (Tabela 1). Apenas a correlação entre MG e PRI foi não significativa pelo teste t. Os comprimentos de onda RED, BLUE, GREEN, 586, 615 e 661 e os índices NDVI e NDRE apresentaram alta correlação negativa e significativa tanto a 5% quanto a 1% pelo teste F ao índice agronômico MG, já os comprimentos de onda 775, 825, NIR e REDEEDGE e o índice NPRI apresentaram alta correlação positiva e significativa com MG.

Para a variável agronômica Produtividade (GY), observaram-se correlações variando entre -0.3326 a 0.3743, para NPRI e PRI, respectivamente. Os comprimentos de onda 825, NIR, 775 e REDEEDGE e o índice NPRI obtiveram correlação negativa e não significativa em relação ao caractere agronômico GY. Já GREEN, 586, NDRE, NDVI, 615, BLUE, RED, 661 e PRI obtiveram correlação positiva com GY, porém apenas o PRI foi significativo pelo teste t, demonstrando baixa associação entre esse caractere agronômico com os comprimentos de ondas/índices.

Os comprimentos de onda/índices 825, 775, NIR, NPRI e REDEEDGE apresentaram correlação positiva com MHG e os GREEN, NDRE, 586, BLUE, RED, PRI, 615, NDVI e 661 apresentaram correlação negativa. Porém, não foi observada correlação significativa entre os comprimentos de onda/índices com essa variável.

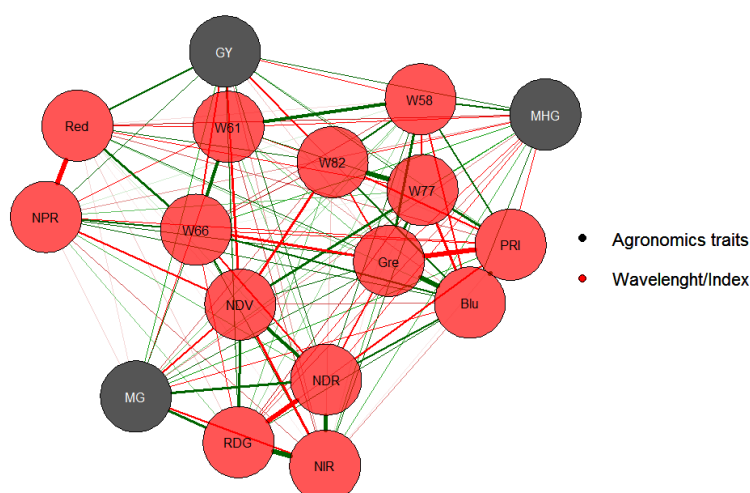


Figura 1. Rede de correlação fenotípica de caracteres de soja. As linhas vermelha e verde representam correlações negativas e positivas, respectivamente. A largura da linha é proporcional à força da correlação. Caracteres agrônômicos: Produtividade de grãos (GY); massa de cem grãos (MHG) e Grupo de Maturidade (MG); Comprimentos de onda/índices: RED (Red); GREEN (Gre), BLUE (Blu), 586 (W58), 615(W61), 661(W66), 775(W77), 825(W82), NIR (Nir), REDEEDGE (RDG), PRI (PRI), NPRI (Npr), Ndvi (NDV), Ndre (NDR).

Os comprimentos de onda/índice que mais contribuíram para dissimilaridade dos genótipos foram BLUE, GREEN, NIR, RED E REDEEDGE com 27.27, 14.06, 10.35, 10.18 e 9.33 %, respectivamente (Figura 2). Yu et al (2016), estudando modelos para predição de grupo de maturação de soja por meio de sensores multiespectrais abordo de VANT, observaram que os comprimentos de onda BLUE, NIR, RED e GREEN foram os que mais contribuíram para diferenciar os cultivares, o que corrobora com os resultados obtidos nesse trabalho. Esses resultados demonstram que com um sensor RGB, mais barato, pode-se obter bons resultados na diferenciação dos genótipos de soja.

Os comprimentos de onda/índices que menos contribuíram para a separação dos genótipos foram NDRE, 615 e 586, respectivamente. Segundo Cruz e Carneiro (2006), as variáveis de menor importância para estimar a diversidade entre indivíduos são as que apresentam menor variabilidade ou que estão representadas por outras.

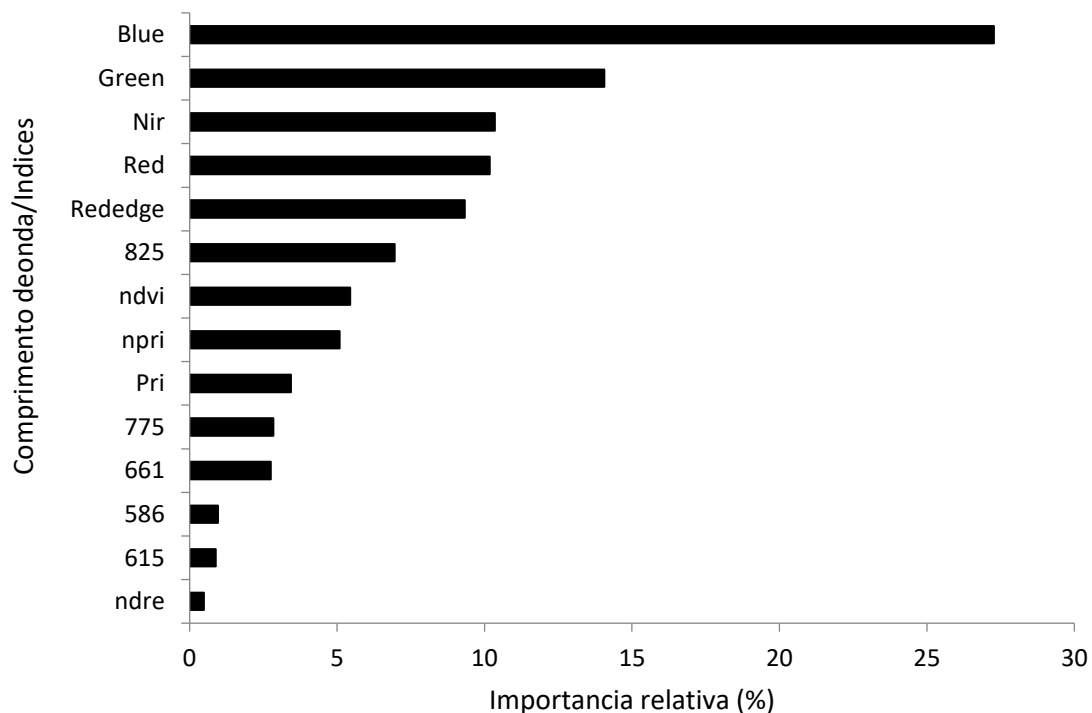


Figura 2. Importância relativa (S.j) em porcentagem dos comprimentos de ondas e índices na dissimilaridade entre os genótipos de soja.

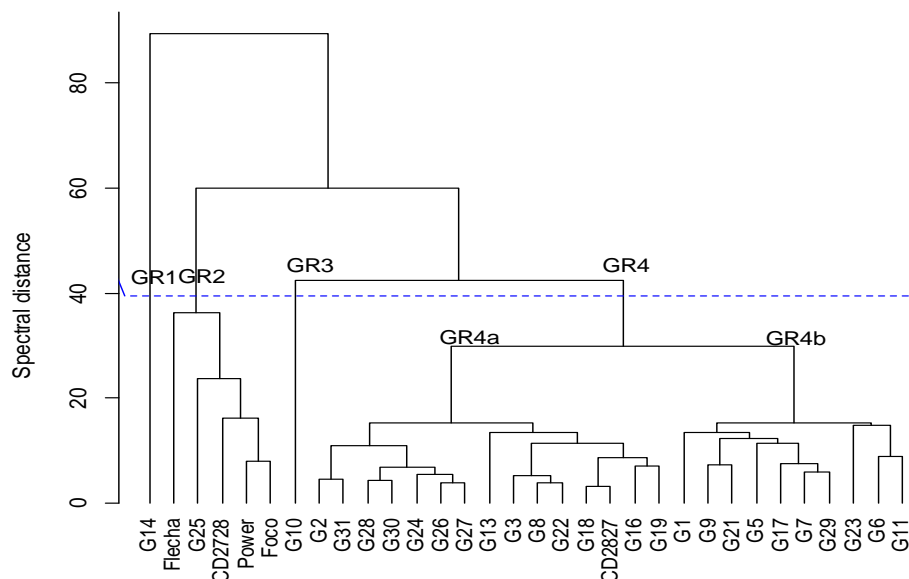


O coeficiente de correlação cofenético (CCC) é uma medida de concordância entre os valores originais de dissimilaridade e os representados pelo dendrograma, quanto maior o CCC menor será a distorção do agrupamento (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Assim, o CCC obtido nesse trabalho foi de 0,7569, o que representa um bom ajuste entre a matriz de distância com base na distância generalizada de Mahalanobis e o agrupamento UPGMA.

Os genótipos mais similares foram o G18 e CD2827 com distância espectral de apenas 3.22. Os genótipos mais distantes foram G14 com Flecha (216.5), sendo a média das distância entre os genótipos de 36,81. Não foi observado genótipos espectralmente idênticos. Esses resultados demonstram que é possível diferenciar os genótipos por meio de dados espectrais.

A partir do ponto de corte no dendrograma na distância de em 39.49, observou-se a formação de quatro grupos e dois subgrupos (Figura 3). Os genótipos G14 e o G10 formam sozinho o grupo GR1 e GR3, respectivamente, indicando grande diferença espectral desses indivíduos com o restante dos genótipos. Nota-se que o genótipo G14 tem as menores médias espectrais de RED (96.95), GREEN (111.93) e BLUE (77.44) e alta média de REDEDGE (69.15) (Figura 4). Já o G10 tem médias intermediárias para os comprimentos de ondas/índice, com 121.39, 123.57, 83.81, 103.4 e 53.8 para RED, GREEN, BLUE e REDEDGE, respectivamente. Em relação aos caracteres agronômicos (Tabela 1), esses dois genótipos têm alta produtividade e massa de cem grãos média, porém se diferem muito em grupo de maturação, sendo o G14 com GM de 68 e o G10 85.

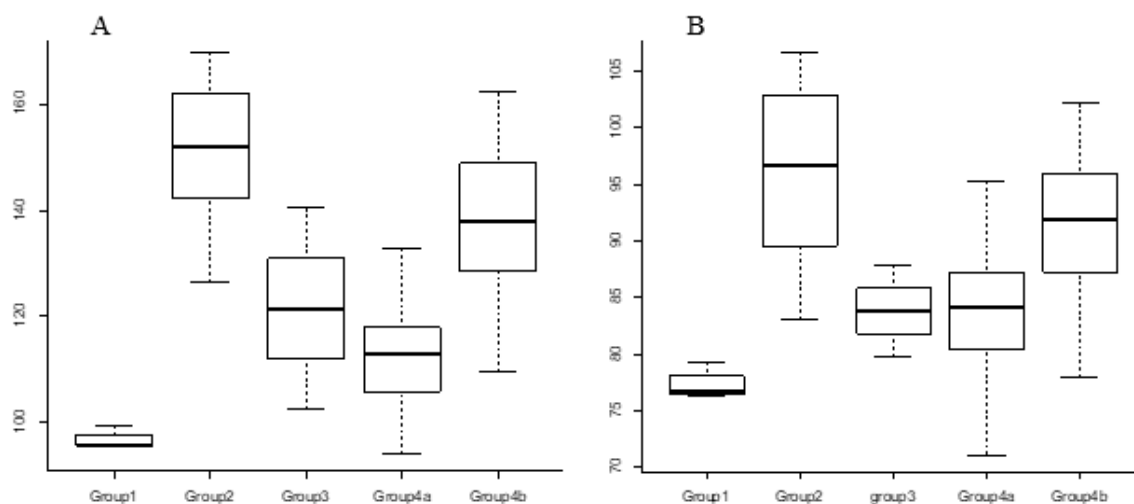
Figura 3.



Dendrograma obtido pelo comprimento de ondas e índices com o complemento da distância generalizada de Mahalanobis e pelo agrupamento UPGMA dos 32 genótipos de soja. Linha pontilhada: corte no dendrograma em 39.49 de distância de acordo com Milligan e Cooper (1985), formando quatro grupos (GR1, GR2, GR3 e GR4) e dois subgrupos (GR4a e GR4b).

O Grupo GR2 é formado por Flecha, G25, CD2728, Power e Foco e apresentou média de dissimilaridade espectral de 58.76. Observa-se que quatro dos cinco cultivares comerciais estão nesse grupo e todos os genótipos da GDM seeds (Power, Foco e Flecha). A distância média entre os materiais da GDM Seeds é de 23.40, sendo que entre Foco e Flecha é de apenas 8.01, demonstrando pequena dissimilaridade espectral dentre esses indivíduos, demonstrando que esses cultivares pertencem ao mesmo *pool* genético. Esse grupo tem por características espectrais altas médias do comprimento de onda RED (151,14), GREEN (135,29) e BLUE (95,46) e baixas de NIR (77,97) e REDEEDGE (35,34), conforme a Figura 4. Para os caracteres agronômicos, esse grupo tem grupo de maturidade variando de 66 até 82, produtividade de 4793,1 até 8123,8 kg.ha<sup>-1</sup> e massa de cem grãos de 13,64 até 16,74 g, demonstrando variabilidade para os caracteres agronômicos.

No Grupo GR4 agrupou-se a maioria dos genótipos (25), porém observou-se a formação de dois subgrupos GR4a e GR4b. O subgrupo GR4a contempla 15 genótipos, dentre eles o CD2827 e o GR4b 10 genótipos. Observou-se diferença entre as médias dos cinco principais comprimentos de ondas/índices (Figura 4), onde as médias do GR4a para RED, BLUE, GREEN, NIR e REDEEDGE foram: 112,27; 127,59; 83,64; 132,03 e 68,02; respectivamente. O GR4b obteve médias superiores de RED (22,78%), BLUE (10,13%) e GREEN (9,79%) e inferiores de 15,59% para NIR e de 21,75% para REDEEDGE, demonstrando diferença entre os subgrupos. Para os caracteres agronômicos (Tabela 1), observou-se médias diferentes para GM e PROD, sendo as do GR4a maiores em relação as do GR4b e similar para M100 (14,03g para GR4a e 14,23g para o GR4b).



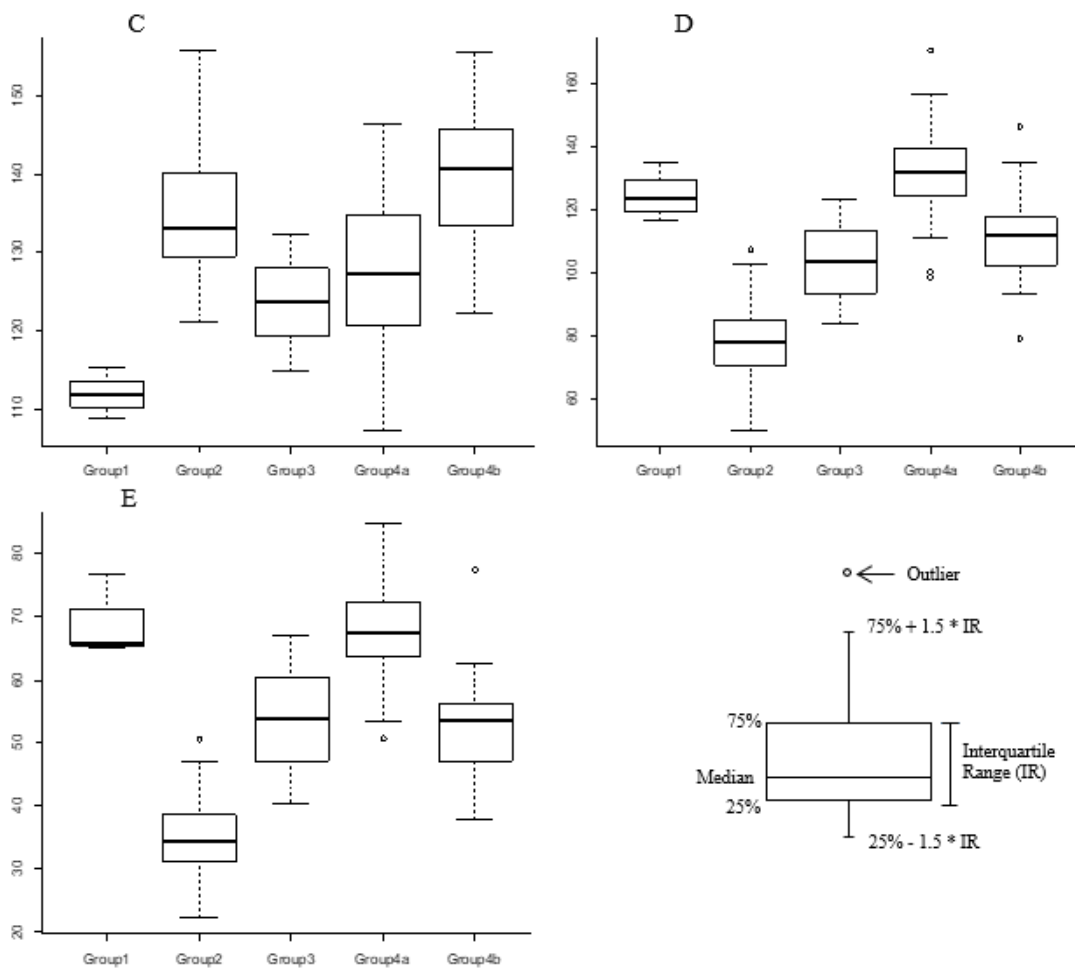


Figura 4. Boxplot dos valores mínimo, médio e máximo – 25, 50 e 75 quartis – dos cinco comprimento de onda/índice, Red, Green, Blue, Nir e Rededge (figuras A, B, C, D e E, respectivamente) que mais contribuíram para diferenciar os genótipos em quatro grupos pela distância de Mahalanobis.

## 5 CONCLUSÃO

Foi possível estimar a diversidade espectral das 34 cultivares através dos comprimentos de onda/índices, aferindo que o genótipo mais distante espectralmente dos demais é o G14, já os mais próximos foram G7 e G29.

Os comprimentos de onda e índices que mais contribuíram para diferenciar as cultivares foram BLUE, GREEN, NIR, RED E REDEDGE, respectivamente.

Os comprimentos de onda e índice gerados por sensores RGB (RED, GREEN, BLUE e PRI) se mostraram muito promissores para a separação dos cultivares de soja. A utilização de VANT's neste processo, demonstra ter um grande potencial, já que se destaca devido ao menor custo e maior agilidade no processo em relação aos demais métodos.

## 6 REFERÊNCIAS

AGRICULTURE-USDA, U. S. (2020). [www.fas.usda.gov](http://www.fas.usda.gov).

CONAB. (2020). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília.

DATAGRO. (2020). **Crescimento da área plantada de soja no Brasil**. São Paulo.

GIZLICE, Z.; CARTER JUNIOR, T.E.; BURTON, J.W. Genetic diversity in North American soybean. II. Prediction of heterosis in F<sub>2</sub> populations of southern founding stock using genetic similarity measures. **Crop Science**, v.33, p.620-626, 1993.

MONTOYA, Marco Antonio et al. Uma Nota Sobre Consumo Energético, Emissões, Renda e Emprego na Cadeia de Soja no Brasil. **Rev. Bras. Econ.**, Rio de Janeiro, v. 73, n. 3, p. 345-369, Sept. 2019 Available from: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-71402019000300345&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71402019000300345&lng=en&nrm=iso). access on 02 Sept. 2020. Epub Nov 25, 2019. <http://dx.doi.org/10.5935/0034-7140.20190016>.

GUPTA, S., MANJAYA, J. Genetic diversity and population structure of Indian soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] revealed by simple sequence repeat markers. *J. Crop Sci. Biotechnol.* **20**, 221–231 (2017). <https://doi.org/10.1007/s12892-017-0023-0>

XUE J, SU B (2017) Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. *J Sens.* <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>

BARNES, E. M., T. R. CLARKE; S. E. RICHARDS; P.D. COLAIZZI; J. HABERLAND; M. KOSTRZEWSKI; ET AL. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In: Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, 2000.

MAIMAITIJIANG, MAITINIYAZI & GHULAM, ABDUWASIT & SIDIKE, PAHEDING & HARTLING, SEAN & MAIMAITIYIMING, MATTHEW & PETERSON, KYLE & SHAVERS, ETHAN & FISHMAN, JACK & PETERSON, JAMES & KADAM, SUHAS & BURKEN, JOEL & FRITSCHI, FELIX. (2017). Unmanned Aerial System (UAS)-based phenotyping of soybean using multi-sensor data fusion and extreme learning machine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 134. 43 - 58. [10.1016/j.isprsjprs.2017.10.011](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.10.011).

KASTER, M., AND J. R. B. FARIAS. "Regionalização dos testes de VCU-Valor de Cultivo e Uso de cultivares de soja-terceira aproximação." *Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso*

(ALICE). In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 32., 2011, São Pedro, SP. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2011. p. 231-235. Editado por Adilson de Oliveira Junior, Odilon Ferreira Saraiva, Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite., 2011.

PANDA, S.S., AMES, D.P., PANIGRAHI, S. 2010. Application of vegetation indices for agricultural crop yield prediction using neural network techniques. *Remote Sens.* 2:673-696.

GAMON, J. A., SERRANO, L., AND SURFUS, J. S. 1997. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia* 122: 492-501.

MANJARREZ-SANDOVAL, P.; CARTER Jr, T.E.; WEBB, D.M.; BURTON, J.W. Heterosis in soybean and its prediction by genetic similarity measures. *Crop Science*, v. 37, n. 5, p. 1443-1452, 1997.

HATFIELD, J.L.; PRUEGER, J.H. Value of Using Different Vegetative Indices to Quantify Agricultural Crop Characteristics at Different Growth Stages under Varying Management Practices. *Remote Sens.* **2010**, 2, 562-578.

CONAB, Boletim de grãos de fevereiro de 2020. (Acesso em 17/02/2020) Fonte: [https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/30666\\_084248653c6b453377b53f47f56dc140](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/30666_084248653c6b453377b53f47f56dc140)

ALLARD, R. W. Principles of Plant Breeding. 2nd ed. New York: John Wiley, 1999

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3ª ed. Viçosa, editora ufv, 2004, 480p.

DAUGHTRY, CRAIG & WALTHALL, CHARLIE & KIM, M. S & COLSTOUN, E.BROWN & MCMURTREY, J.E. (2000). Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. *Remote Sensing of Environment.* 74. 229-239. 10.1016/S0034-4257(00)00113-9.

FILIPPO SANTINI, JOSÉ M CLIMENT, JORDI VOLTAS. Integração fenotípica e estratégias de história de vida entre populações de *Pinus halepensis* : uma visão através da modelagem de equações estruturais, *Annals of Botany* , Volume 124, Edição 7, 27 de novembro de 2019, Páginas 1161-1171, <https://doi.org/10.1093/aob/mcz088>

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Symposium of ERTS, Greenbelt, Maryland, USA. NASA SP-351, V1:309-317.

SINCLAIR, T. R; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO; A. L. Comparison of vegetative development in soybean cultivars for low-latitude environments, *Field Crops Research* [S.I], v. 92, n. 1, p. 53-59, 2005.

YANG, Z., WILLIS, P., AND MUELLER, R. 2008. Impact of band-ratio enhanced AWIFS image to crop classification accuracy. Pp. 41-51 in W. T. Pecora, Memorial Remote Sensing Symposium.

RUTKOSKI J, POLAND J, MONDAL S, et al. Canopy Temperature and Vegetation Indices from High-Throughput Phenotyping Improve Accuracy of Pedigree and Genomic Selection for Grain Yield in Wheat. *G3 (Bethesda)*. 2016;6(9):2799-2808. Published 2016 Sep 8. doi:10.1534/g3.116.032888

DA SILVA, E. E., BAILO, F. H. R., TEODORO, L. P. R., DA SILVA JUNIOR, C. A., BORGES, R. S., & TEODORO, P. (2020). UAV-multispectral and vegetation indices in soybean grain yield prediction based on in situ observation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 100318.

DOMINIK K. GROBKINSKY, JESPER SVENSGAARD, SVEND CHRISTENSEN, THOMAS ROITSCH. Plant phenomics and the need for physiological phenotyping across scales to narrow the genotype-to-phenotype knowledge gap, *Journal of Experimental Botany*, Volume 66, Issue 18, September 2015, Pages 5429–5440, <https://doi.org/10.1093/jxb/erv345>

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 20104. v. 21, 480p.

REMBOLD, F.; ATZBERGER, C.; SAVIN, I.; ROJAS, O. Using Low Resolution Satellite Imagery for Yield Prediction and Yield Anomaly Detection. *Remote Sens.* **2013**, *5*, 1704-1733.

SILVA, F.C.S., SEDIYAMA, T., OLIVEIRA, R.C.T., BORÉM, A., SILVA, F.L., BEZERRA, A.R.G., SILVA,

A.F. 2017. Importância econômica e evolução do melhoramento. In: Silva, F.L., Borém, A., Sedyama, T., Ludke, W. (Eds). Melhoramento da Soja. UFV, Viçosa.

BHERING, L.L., PEIXOTO, L.A., CRUZ, C.D. 2017. Seleção de genitores. In: Silva, F.L., Borém, A., Sedyama, T., Ludke, W. (Eds). Melhoramento da Soja. UFV, Viçosa.

ZIYA GIZLICE, THOMAS E. CARTER JR., JOSEPH W. BURTON. Genetic Diversity in North American Soybean: I. Multivariate Analysis of Founding Stock and Relation to Coefficient of Parentage. *Crop Science*, Volume33, Issue3. May–June 1993 Pages 614-620. Dói: <https://doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300030038x>.

INGUNN BURUD;GUNNARLANGE, MORTENLILLEMO, EIVINDBLEKEN, LARSGRIMSTAD, PÅLJOHAN FROM. Exploring Robots and UAVs as Phenotyping Tools in Plant Breeding. *IFAC-PapersOnLine*. Volume 50, Issue 1, July 2017, Pages 11479-11484. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1591>.

GITELSON AA, GRITZ Y, MERZLYAK MN. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *J Plant Physiol.* 2003 Mar;160(3) 271-282. doi:10.1078/0176-1617-00887. PMID: 12749084.

MUHAMMAD ADEEL HASSAN, MENGJIAOYANG, AWAIS RASHEED, GUIJUNYANG, <sup>C</sup>MATTHEWREYNOLDS<sup>D</sup>, XIANCHUNXIA<sup>A</sup>, YONGGUIXIAO<sup>A</sup>, ZHONGHUHE. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant Science*. Volume 282, May 2019, Pages 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.10.022>.

ALLIPRANDINI, L. F. et al. Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. *Crop Science*, Madison, v. 49, n. 3, p. 801-808, 2009

SHAOLONG ZHU, MAONI CHAO, JINYU ZHANG, XINJUAN XU, PUWEN SONG, JINLONG ZHANG AND ZHONGWEN HUANG. Identification of Soybean Seed Varieties Based on Hyperspectral Imaging Technology. *Sensors* 2019, 19, 5225; doi:10.3390/s19235225

