

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
E CARACTERES AGRONÔMICOS EM GENÓTIPOS DE
MILHO**

Elcio Hissagy Samecima Junior

Engenheiro Agrônomo

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
E CARACTERES AGRONÔMICOS EM GENÓTIPOS DE
MILHO**

Elcio Hissagy Samecima Junior

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Vitti Mõro

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Sergio Ferraudo

Prof. Dr. Cristiano Zerbato

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas).

2018

S187i Samecima Junior, Elcio Hissagy
Índice de vegetação por diferença normalizada e caracteres
agronômicos em genótipos de milho / Elcio Hissagy Samecima Junior.
-- Jaboticabal, 2018
vi, 42 p. :il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018
Orientador: Gustavo Vitti Mõro
Coorientador: Antonio Sergio Ferraudo
Coorientador: Cristiano Zerbato
Banca examinadora: Cristiano Zerbato, Teresa Cristina Tarle
Pissarra, Viviane Formice Vianna
Bibliografia

1. Análise de Fatores. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Sensor Ativo
Terrestre. 4. Seleção Indireta. 5. *Zea mays*. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.52:63315

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA E CARACTERES AGRONÔMICOS EM GENÓTIPOS DE MILHO

AUTOR: ÉLCIO HISSAGY SAMECIMA JÚNIOR
ORIENTADOR: GUSTAVO VITTI MÔRO
COORIENTADOR: CRISTIANO ZERBATO
COORIENTADOR: ANTONIO SERGIO FERRAUDO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CRISTIANO ZERBATO
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. VIVIANE FORMICE VIANNA
Agrônoma Autônoma / Taquaritinga/SP

Jaboticabal, 27 de fevereiro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Elcio Hissagy Samecima Junior – Filho de Elcio Hissagy Samecima e Silvana Helena Bracioli Samecima nasceu em 09 de dezembro de 1989, em Ribeirão Preto-SP. Durante o ano de 2005 até 2008 paralisou seus estudos para trabalhar no Japão em serviços gerais como “Dekaseki”. Ingressou no curso em Engenharia Agrônômica no ano de 2010 na Faculdade Dr. Francisco Maeda (FAFRAM). Teve a oportunidade de fazer parte da sua graduação na *University of Wisconsin (River Falls)*, executando seu estágio obrigatório nos EUA e graduando no ano final de 2014, depois de sua volta dos EUA. Durante a graduação participou de vários cursos complementares, membro efetivo da empresa junior durante 3 anos. Desenvolveu o trabalho de conclusão de curso na área de Pós-Colheita com a Profa. Dra. Maria Amalia Brunini defendido no ano de 2013. No ano de 2015, ingressou no mercado de trabalho, na área de pesquisa na empresa Plantec, desenvolvendo experimentos na área de eficácia de produtos químicos. Ingressou em março de 2016 no curso de Pós-Graduação, nível de Mestrado, em Agronomia no programa de Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP Câmpus de Jaboticabal (FCAV/UNESP), trabalhando na área de melhoramento clássico com a cultura do milho, sendo bolsista da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e tendo como orientador o Prof. Dr. Gustavo Vitti Mõro. Em agosto de 2016, foi para o Japão em um mestrado sanduíche, o qual cursou disciplinas dentro da área de melhoramento de plantas e biotecnologia, desenvolveu pesquisa com o Prof. Dr. Sakae Suzuki, na área de transformação de plantas. Durante o período de intercâmbio, estagiou na *Tokyo metropolitan agriculture and forestry research center*, acompanhando todos os pesquisadores em seus projetos de pesquisa. Teve sua volta para o Brasil em fevereiro de 2017, elaborou e ministrou o minicurso intitulado transformação genética de plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) via *Agrobacterium tumefaciens*: conceitos, teóricos e práticos no Curso de Inverno de Genética, sendo um dos autores do capítulo de intitulado principais eventos transgênicos utilizados na agricultura.

EPÍGRAFE

“O período de maior ganho em conhecimento e experiência é o período mais difícil da vida de alguém”

Dalai Lama

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Silvana Helena Bracioli Samecima e Elcio Hissagy Samecima

A minha futura esposa Maria Fernanda Molinari Blotta e nossa futura filha Sophia Harumi Blotta Samecima

A minha irmã Nelise Kasue Samecima Prosperute

Assim Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora, por guiar meu caminho, sempre indicando a melhor direção a ser seguida.

Aos meus pais, Elcio e Silvana, minha gratidão e amor eterno, por toda a dedicação, carinho e confiança.

Minha irmã Nelise e Antonio, por esta sempre do meu lado.

À minha futura esposa Maria Fernanda Molinari Blotta, pela parceria e paciência durante essa trajetória e sempre do meu lado dando força.

À minha filha que está por vir que só esta me dando mais força para continuar, nesta jornada acadêmica.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Vitti Môro, por toda a atenção, os ensinamentos, a compreensão e a competência.

À Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, e ao Departamento de Produção Vegetal, em especial ao Setor de Melhoramento, pelas oportunidades e experiências proporcionadas.

Aos funcionários do Departamento, pelo auxílio na execução dos experimentos e dos processos administrativos.

Aos professores do programa de Genética e Melhoramento de Plantas, pela instrução e conhecimento transmitidos.

Aos meus coorientadores Prof. Dr. Antonio Sergio Ferraud e Prof. Dr. Cristiano Zerbato, pelas orientações e acompanhamentos em momentos difíceis.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições para esse trabalho.

Aos membros do Núcleo de Estudos em Genética e Melhoramento de Milho (NEGEMM), Camila, Lucas, Sophia, Marcela, Rodolfo, Gustavo, Carlos C, Kian e Luiz pela amizade e crescimento profissional. À Elba.

Ao Professor Davi Rosalen pelo conhecimento e por ter disponibilizado o aparelho para desenvolver a pesquisa.

Ao grupo de pesquisa POLUS (Política de Uso do Solo), em especial ao Rafael Parras, pelo, conhecimentos e auxílios durante o experimento.

A Tainá, Miuka, Marruko e Yuki, pelo verdadeiro amor em horas difíceis.

A todos que de alguma maneira contribuíram para que essa fase da vida fosse tão abençoada e especial.

Em especial, gostaria de agradecer ao servidor Ronaldo, o qual, teve a paciência de me ensinar a manusear o aparelho, a humildade de explicar, e passar o seu conhecimento (in memoriam).

MUITO OBRIGADO

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Cultura do Milho	3
2.2. Melhoramento Genético	4
2.2.1. Seleção Indireta	5
2.3. Sensoriamento Remoto e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)	6
2.4. Análise Multivariada	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1. Caracterização da Área de Estudo	9
3.2. Desenvolvimento Experimental.....	10
3.2.1. Material Genético	10
3.2.2. Instalação do Experimento	11
3.3. Caracteres Avaliados	12
3.4. Caracteres Agronômicos	12
3.5. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	13
3.6. Procedimentos Estatísticos	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1. Análise de Fatores	16
4.2. Análise de Componentes Principais.....	18
4.3. Ganho de Seleção.....	22
5. CONCLUSÕES	24
6. REFERÊNCIAS.....	25

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA E CARACTERES AGRONÔMICOS EM GENÓTIPOS DE MILHO

RESUMO – O melhoramento vegetal, além de buscar as características de interesse, busca também otimizar o processo. Sendo assim, quando há correlação entre as características de interesse e uma de fácil avaliação, abre-se a vertente para a seleção indireta. A utilização de sensores na agricultura possibilita a avaliação sem contato físico, podendo ser uma nova ferramenta na seleção indireta, visando otimizar tempo, mão de obra, custo e o processo. Objetivou-se estudar a relação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e os caracteres agronômicos, na seleção indireta em milho e selecionar os genótipos superiores utilizando técnicas multivariadas. O experimento foi conduzido na segunda safra de 2016, sendo realizadas as medições de NDVI via sensor ativo terrestre, a cada 15 dias após a emergência das plântulas e as avaliações agronômicas de campo considerando os caracteres: altura de planta, altura da espiga principal, acamamento, quebramento, estande e produtividade. O conjunto de variáveis obtidas foram submetidas as análises multivariadas de fatores e de componentes principais. A análise de fatores detectou, no primeiro fator, correspondências positivas entre as variáveis, altura de planta, altura de espiga e produtividade, no segundo fator NDVI-80, NDVI-95 e acamamento mais quebramento e no terceiro fator NDVI-15 e estande. Os gráficos biplots gerados pelos componentes principais, juntamente com análise de ganho de seleção permitiram identificar o genótipo 3 como o mais promissor, por apresentar baixo acamamento mais quebramento, baixo valor de NDVI-80 e NDVI-95 e alta produtividade em relação a este experimento. A partir de todos os resultados concluiu-se que é possível usar o NDVI, via sensor ativo terrestre, como técnica promissora na seleção indireta, para acamamento, quebramento e predição do estande em milho.

Palavras-Chave: Análise de Fatores, Sensoriamento Remoto, Sensor Ativo Terrestre, Seleção Indireta, *Zea mays*

NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX AND AGRONOMIC CHARACTERS IN MAIZE GENOTYPES

ABSTRACT - The plant breeding look beyond the characteristics of interest, look to optimize process, so when there is a correlation between the characteristics of interest and one of easy evaluation, a strand is opened for indirect selection. The use of sensors in agriculture makes possible to evaluate without physical contact and it can be a new tool in the indirect selection, aiming to optimize time, work, cost and optimize process. The objective of this study was to analyse the relationship between Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and agronomic traits, in the indirect selection and to select superior genotypes of maize by multivariate analyse. The experiment was conducted in the second crop of 2016, and NDVI was measurements by an active sensor every 15 day after seedling and field agronomic traits were evaluated considering the following characteristics: plant height, ear height, stalk lodging, stalk breakage, stand and yield. With these data were processed the factor analyzes, principal component and gain selection. The factor analysis detected positive correspondences between the variables, plant height, ear height and yield with factor 1; NDVI-80, NDVI-95 and stalk lodging plus stalk breakage with factor 2; NDVI-15 and stand with factor 3. The graphics biplots generated by the principal components with gain selection analyze allowed to identify the best genotype, where we could identify the genotype 3 as the most promising, because it present lower lodging plus breakage stalk, low value of NDVI-80 and 95, and high yield in relation to this experiment. From all results it is concluded that it is possible to use the NDVI, by active sensor, as a promising technique in the indirect selection, for stalk lodging, breakage and stand in maize.

Keywords: Factor analyse, Remote sensing, Active Earth Sensor, Indirect Selection, *Zea mays*

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Figura 1. Temperatura média do ar e média da precipitação pluviométrica, registrados durante a condução do experimento, Jaboticabal (2016)	9
2. Figura 2. Semeadora de Parcela acoplada no Trator Massey Ferguson ..	11
3. Figura 3. Método de avaliação do NDVI (altura de avaliação do dossel da planta e largura de leitura)	13
4. Figura 4. Sensor ativo terrestre GreenSeeker	14
5. Figura 5. Equação de <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI)	14
6. Figura 6. Dispersão dos 33 genótipos de milho com a sobreposição das variáveis analisadas em relação ao CP1 e CP2.....	18
7. Figura 7. Dispersão dos 33 genótipos de milho com a sobreposição das variáveis analisadas em relação ao CP1 e CP3.....	21

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Tabela 1. Descrição dos 33 genótipos de milho (Precoce Normal), usados no experimento, em referências a seus respectivos materiais e classes	10
2. Tabela 2. Resumo da análise de Fatores dos 33 genótipos de milho (PN), em resposta as avaliações agronômicas e valores de NDVI, durante a segunda safra de 2016	16
3. Tabela 3. Resumo dos valores médios das variáveis, dos 33 genótipos de milho precoce normal	19
4. Tabela 4. Ganho se Seleção entre variáveis agronômicas analisadas de genótipos de milho, durante a segunda safra de 2016.....	22

LISTA DE ABREVIATURAS

SR- Sensoriamento Remoto

NDVI- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

AP-Altura de Planta

AE-Altura da Espiga Principal

ST-Estande

ACA+QUE-Acamamento mais Quebramento

CP-Componente Principal

SD-Seleção Direta

SI-Seleção Indireta

ha-Hectare

cm-Centímetro

m-Metro

t-Tonelada

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*), tem grande importância mundial devido a sua utilização na alimentação animal, humana e como fonte de bioenergia, contribuindo para o mercado de *commodity* (GALVÃO et al., 2014). No ano de 2016, a área cultivada no Brasil aproximou-se dos 16 milhões de hectares (na primeira e segunda safra), com uma produção de 66,5 milhões de toneladas (t) e uma produtividade média de 4,2 t. ha⁻¹ (CONAB, 2017).

Em decorrência do aumento da população, o grande desafio da agricultura nos próximos anos é suprir a demanda por alimento, sendo necessário aumentar o potencial produtivo das plantas. O potencial produtivo significa, a máxima capacidade de produção de uma planta ou comunidade de planta em função da limitação imposta pelo ambiente no qual ela se encontra, haja vista, que a cultura do milho apresenta um incipiente crescimento anual em relação ao potencial produtivo de 1,6% ao ano, e que para suprir as necessidades futuras, faz-se necessário o aumento de 2,4% ao ano (RAY et al., 2013; BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017).

A exploração comercial do milho passa pelo melhoramento genético, onde o principal objetivo é aprimorar as características agronômicas como, resistência à pragas e doenças, eficiência no uso de nutrientes, resistência a déficit hídrico, diminuição de acamamento e quebramento de plantas, com o propósito de aumentar a produtividade de grãos. Estes processos, dentro da pesquisa, demanda algumas avaliações, onde parte delas são destrutivas e no final do ciclo da cultura, com alta demanda de mão de obra, alto custo e tempo (ENTRIGER et al, 2014). Porém quando há uma alta correlação entre as características de interesse e uma de fácil avaliação, abre-se uma vertente para seleção indireta, que segundo Ribeiro (2010), auxilia no melhoramento genético e a prática de seleção, em razão da existência de correlação entre as características e a dificuldade de avaliação, identificação ou baixa herdabilidade da característica de interesse. Neste contexto, a prática de seleção indireta visa otimizar custos, mão de obra e avançar o processo de seleção buscando características de interesse a partir de uma característica mais facilmente analisada

(RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2012; RIOS, 2012; BORÉM; MIRANDA; FRITSCHENETO, 2017).

Shiratsuchi et al. (2014) destacam o Sensoriamento Remoto (SR) como fonte de dados e ferramenta auxiliar em novas estratégias de gerenciamento, ao considerar a variabilidade espacial dos fatores que interferem nas culturas. Assim, a utilização de SR, ativo ou passivo, na agricultura de precisão facilita o diagnóstico especializado e preciso durante o período de avaliação. Grandes períodos de avaliações em campo, podem causar exaustão e fadiga humana, podendo resultar em menor precisão das avaliações, interferindo em alguns resultados que auxilia nas tomadas de decisões. Logo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), vem sendo largamente utilizado para identificação de áreas degradadas, caracterização de culturas, estimativa da biomassa e previsão de safras (ROUSE JUNIOR et al., 1974; PICOLI et al., 2009; MKHABELA et al., 2011).

Diante do exposto, objetivou-se estudar a relação entre o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e os caracteres agronômicos, na seleção indireta em milho e selecionar os genótipos superiores utilizando técnicas multivariadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do Milho

O milho é uma planta pertencente à família Poaceae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays*. É identificado taxonomicamente como *Zea mays* L. Seu parente silvestre mais próximo é o teosinto subespécie mexicana (*Zea mays* ssp.) (PATERNIANI; CAMPOS, 2005). Tem como centro de origem a região da América central até o Peru, e países vizinhos, tais como Estados Unidos, Colômbia, Peru e México, onde o cultivo do milho data de mais de 8 mil anos (PATERNIANI; CAMPOS, 2005).

No início da domesticação, os agricultores já praticavam a seleção do milho inconscientemente, selecionando visualmente pelo fenótipo para características como, capacidade de adaptação, resistência a doenças, resistência a seca e mais caracteres importantes para a produtividade. Plantas mais promissoras eram selecionadas, dando origem às variedades crioulas como são conhecidas atualmente (CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA, 2006).

A produção mundial de milho é de aproximadamente 1,08 bilhão de toneladas, tornando-se o cereal mais produzido no mundo (FAO, 2018). Os Estados Unidos são os maiores produtores de milho, com produção de 384,8 milhões de toneladas, seguidos da China, com 219,6 milhões, e o Brasil com 98,5 milhões (USDA, 2018). A produção americana vem de forte avanço, devido a melhores condições ambientais, melhoramento genético e aumento da tecnologia, havendo nos últimos 5 anos crescimento da produção de milho em mais de 110 milhões de toneladas (CONAB, 2017; FAO, 2018).

O ranking mundial dos maiores produtores de milho do mundo, tende a ser mantido para safra 2017/2018 em relação aos anos anteriores, com uma perspectiva de produção mundial de 371 milhões de toneladas para os EUA, mantendo-o em primeiro lugar, seguido da China com uma perspectiva de 215,9 milhões de toneladas e o Brasil em terceiro com 95 milhões de toneladas (USDA, 2018).

O Brasil no ano agrícola 2016/2017, teve uma produção de aproximadamente 98 milhões de toneladas com produtividade média de 5.5 t.ha^{-1} dentro de uma área aproximada de 17.592,1 mil ha, um aumento representativo em relação à safra 2015/2016 que foi de 4.2 t.ha^{-1} em uma área estimada de 15.922,5 mil ha e uma produção total de 66,5 milhões de toneladas (CONAB, 2017). A safra 2015/2016 foi baixa devido a fatores ambientais tais como déficit hídrico na época de produção e o atraso do plantio da soja, ocasionando a baixa produção Brasileira na safra 2015/2016 (CONAB, 2016). E atualmente o Brasil se enquadra dentro da sua média de produção.

2.2 Melhoramento Genético

Nos dias atuais o milho pode ser cultivado desde a linha do equador até regiões de maiores latitudes. Isso deve-se ao fato do milho passar por processos de melhoramento focando nas adaptações a regiões desfavoráveis, podendo assim buscar melhores genótipos resistentes às características em estresse. Com isso, empresas públicas e privadas trabalham, ano a ano, para identificar os materiais mais adaptáveis e estáveis para cada região (PATERNIANI; CAMPOS, 2005; BARROS; CALADO, 2014).

Características mensuráveis geralmente são características poligênicas, nas quais cada gene contribui individualmente para a característica de interesse, podendo contribuir de forma positiva ou negativa. Características poligênicas são variáveis complexas, altamente influenciadas pelo ambiente. Podemos destacar a produtividade, altura de plantas e altura da espiga principal com menores valores de herdabilidade e poligênicas. Características influenciadas por poucos genes, tendem a apresentar uma alta herdabilidade. Sendo assim, sofrem menor influência do ambiente e é de fácil seleção ou identificação, como exemplo, a cor das flores em soja (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2012; RIOS, 2012; BORÉM; MIRANDA; FRITSCHENETO, 2017).

Quando comparado com variedades de milho, o híbrido apresenta uma alta produtividade, isso é devido a heterose e a sobredominância. Existe evidencia que o

HS, já chegou a produzir, 31 t.ha⁻¹ em ambiente totalmente controlado, mostrando a sua superioridade em relação a outros tipos de materiais. O híbrido simples, por apresentar maior heterose, é o que apresenta maior produtividade, porém é o mais exigente em relação a produção e o mais influenciado pelo ambiente, em sequência vem o híbrido triplo, pouco menos exigente e em seguida o híbrido duplo como o menos exigente (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017)

Para produtores altamente tecnificados recomenda-se a adoção de híbridos para sistemas de produção, podendo ser híbrido simples (cruzamento entre duas linhagens puras), duplos (cruzamento entre dois híbridos simples) ou triplos (cruzamento entre uma linhagem pura e um híbrido simples). Enquanto as variedades de milho, são formadas a partir de populações de milho em equilíbrio de Hardy-Weinberg que apresentam maior heterogeneidade entre os indivíduos, sendo obtidas por polinização aberta através da seleção de populações com características desejáveis, onde são recomendadas para plantios menos tecnificados (BERNINI, 2011; BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017).

2.2.1 Seleção Indireta

A seleção indireta tem o papel de selecionar características de interesse a partir de características secundárias (RIBEIRO et al., 2010).

Características quantitativas são altamente influenciadas pelo ambiente, como a produtividade, que é de bastante importância dentro do meio agrícola (FALCONER; MACKAY, 1996). Sendo assim, as características secundárias, que podem influenciar a produtividade dentro da cultura, se fazem importantes (RIBEIRO et al., 2010).

Para ser praticada a seleção indireta as características de avaliação e de interesse precisam estar altamente correlacionadas, apresentar herdabilidade e com dependência entre si. A prática da seleção indireta dentro do melhoramento veio para auxiliar a selecionar características de difícil avaliação ou que demandam bastante mão de obra, tempo e custo.

Nardino (2016), em seu estudo, mostra alta correlação entre a menor distância do último nó do milho e a primeira ramificação da inflorescência masculina com a produtividade. Segundo o mesmo autor, verificou que a produtividade do milho poderia ser selecionada indiretamente a partir da menor distância entre o último nó do milho e a primeira ramificação da inflorescência masculina. Assim, é possível otimizar processo dentro dos programas de melhoramento.

Dinesh et al. (2016) verificaram ser possível praticar a seleção indireta para produtividade em milho, selecionando genótipos com alto conteúdo de clorofila e altura de planta. Já Abreu et al. (2017) apontaram correlações entre o *stay green* e a prolificidade com a produtividade, concluindo-se a possibilidade da seleção indireta.

Em geral, a seleção indireta visa aumentar o ganho de uma característica de interesse a partir de uma característica secundária, onde a característica de interesse tende a ser de difícil avaliação, possibilitando a aplicação da seleção indireta. Como consequência, a seleção indireta, dentro dos programas de melhoramento, vem buscando otimizar processo, visando lançar cultivares de alta produtividade com menor custo e tempo.

2.3 Sensoriamento Remoto e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

O sensoriamento Remoto (SR) é uma nova tecnologia a qual tende a promover significativas contribuições à produção agrícola, gerando economia no uso de insumos e maior controle sobre a variabilidade do solo uma vez que mapeia áreas visando a produtividade das culturas e redução dos impactos ambientais (BRANDÃO et al., 2008).

O SR pode ser considerado uma nova ferramenta geradora de dados que considera a variabilidade espacial dos fatores que interferem nas culturas. A utilização de SR na agricultura vem contribuir nas tomadas de decisão, facilitando o diagnóstico especializado no manejo agrícola (BRANDÃO, 2009).

O índice de vegetação da diferença normalizada foi criado por Rouse Junior (1974), pesquisador da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Esse índice é gerado a partir das faixas espectrais do vermelho (de 660 ± 12 nm) e infravermelho próximo (770 ± 12 nm). A relação entre essas faixas de luz, tende a apresentar as condições vegetativas das plantas. Plantas com maior expressão de verde, tendem a absorver maior quantidade de feixes de luz na cor vermelho e refletir maior quantidade do infravermelho (SHIRATSUCHI, 2014). Porém LIU (2015), relatou que a parte inferior das folhas tendem a apresentar maior reflectância, devido a configuração das camadas das células de proteção na face inferior ser diferente, alterando conseqüentemente a radiação emitida (TAIZ et al., 2017). Sendo assim, quando avaliada a parte inferior das folhas, o valor de NDVI tende a ser maior.

Existem dois tipos de sensores: ativo ou passivo. O passivo funciona a partir de fontes luminosas já existentes, onde o sol funciona como fonte geradora luminosa, e o índice é estimado a partir da reflectância da luz solar, ou seja, em dias nublados os feixes de luz sofrem interferência da maior quantidade de nuvens, inviabilizando a utilização do sensor passivo, e durante a noite, também não é possível utilizar o sensor passivo, por não haver uma fonte geradora luminosa. Já os sensores ativos emitem sua própria luz, isto é, podem ser utilizados para aferição em dias nublados ou durante a noite (TRIMBLE, 2010).

O valor de NDVI, em sensores terrestres ativo, tendem a variar de 0 a 1, mas, em caso de avaliação por sensoriamento remoto passivo, o valor pode variar de -1 a 1, onde valores negativos podem ser gerados devido a avaliações de nuvens ou nebulosidades, e valores próximos a 0, referem-se a avaliações de solo descoberto (HUETE et al., 2006).

O NDVI pode ser calculado a partir da seguinte equação, proposta por Rouse Junior et al. (1974): $NDVI = (IVP - VERMELHO) / (IVP + VERMELHO)$ onde: IVP = Reflectância do Infravermelho Próximo (770 ± 12 nm), VERMELHO = Reflectância do Vermelho (660 ± 12 nm).

Segundo, Oliveira (2017) em sua pesquisa mostrou que os valores de NDVI, não correlacionavam diretamente com a produtividade de milho. Segundo Povh et al. (2008), e Oliveira (2017), verificou-se, que a grande quantidade de biomassa produzida pelo milho pode afetar no índice (NDVI). Oliveira (2017), sugere a utilização

de outros índices, com comprimentos de onda na banda do verde (reflectância maior que o vermelho) e reduzindo a diferença entre a reflectância no visível e infravermelho próximo para estimar a produtividade.

Kanke et al. (2016) sugere como alternativa de substituição do vermelho a região espectral chamada *Red-edge* como alternativa, situando-se entre 680-740 nm nas bandas do vermelho próximo e infravermelho próximo. Os índices baseados nessas faixas do espectro eletromagnético apresentam melhor correlações com a predição da produtividade, em relação a região espectral do vermelho e do infravermelho (POVH et al., 2008).

2.4 Análise Multivariada

A técnica estatística multivariada tem como princípio analisar simultaneamente múltiplas medidas sobre indivíduos ou objetos. Análise simultânea de mais de duas variáveis pode ser considerado como análise multivariada. As variáveis devem ser aleatórias e inter-relacionadas, não sendo possível analisar variáveis individualmente de tal forma que seus efeitos não podem ser significativamente interpretados em separado. (HAIR et al., 2009).

A análise de fatores, tende a ajudar a ver as correspondências entre as variáveis com o fator, visando definir processo dentro de cada fator, com isso pode-se verificar a correspondência entre as variáveis dentro de cada fator, podendo mostrar a correlação entre as variáveis dentro da análise multivariada (HAIR et al., 2009; KACHIGAN, 1986).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi realizado na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de Jaboticabal/SP-Brasil, localização geográfica dada pela latitude 21° 14'S e longitude 48° 17'W. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico (ANDRIOLI; CENTURION, 1999), com relevo caracterizado como suave ondulado. O clima é definido como tropical com inverno seco Aw (CEPAGRI, 2017), com temperatura média mínima e máxima de 20,1°C em maio a 25,2 °C em fevereiro, tendo precipitação pluvial média de 9,1mm em abril a 201 mm em fevereiro, período de condução do experimento (Figura 1).

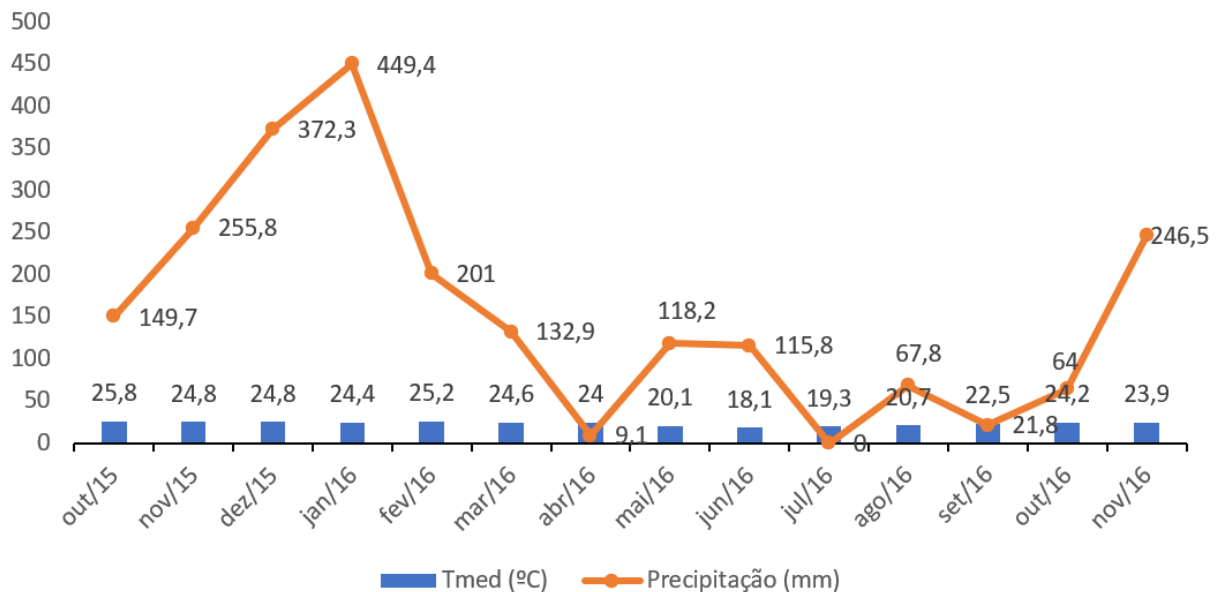


Figura 1. Temperatura média do ar e média da precipitação pluviométrica, registrados durante a condução do experimento, Jaboticabal – SP, Brasil (2016)

Fonte: Próprio autor

3.2 Desenvolvimento Experimental

3.2.1 Material Genético

Avaliaram-se 33 genótipos de milho, de ciclo precoce normal (PN), pertencentes ao Ensaio Nacional de Cultivares de Milho da EMBRAPA Milho e Sorgo (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos 33 genótipos de milho (Precoce Normal), usados no experimento, em referências a seus respectivos materiais e classes, Jaboticabal – SP, Brasil (2016).

Genótipos	Material	Classe ⁽¹⁾ .
1	Cr113	HS
2	Cr 140	HD
3	Cr150	HD
4	PHX-01	HT
5	PHX-02	HT
6	PHX-03	HT
7	PHX-04	HT
8	PHX-05	HT
9	PHX-06	HT
10	PHX-07	HT
11	Al2013	V
12	AL2014	V
13	1M1807	HS
14	EMBRAPA 1L1467	HS
15	EMBRAPA 1L1484	HS
16	Embrapa 1M1782	HS
17	AX727	HS
18	tr1532	HS
19	tr 2223	HS
20	EMBRAPA HTMV	HT
21	EMBRAPA HT Forrageira	HT
22	EMBRAPA 3H842	HT
23	tr 167	V
24	70XB09	HSM
25	70XB18	HSM
26	Exp929791	HS
27	Exp 93294	HS
28	Exp 944594	HS
29	Exp 918391	HS
30	BRS1055	HS
31	BRS 2022	HD
32	BG7049H	HT
33	BRS CAIMBÉ	V

⁽¹⁾ HS-Híbrido Simples; HSM-Híbrido Simples Modificado; HT-Híbrido Triplo; HD-Híbrido Duplo; V-Variedade.

3.2.2 Instalação do Experimento

O experimento foi realizado em blocos ao acaso, com duas repetições, sendo cada parcela experimental constituída de 2 linhas de 5 metros (m) de comprimento, com espaçamento de 0,50 m entre linhas e 0,33 m entre plantas, representando uma população de aproximadamente 62.500 plantas por hectares (ha).

No dia 05 de fevereiro de 2016, realizou-se a semeadura do experimento utilizando a semeadora de parcela (Figura 2), em sistema de preparo convencional do solo, com aração e gradagem, aplicando 350 kg. ha⁻¹ do formulado 8-28-16 durante a semeadura, representando 28 kg. ha⁻¹ de N, 98 kg. ha⁻¹ de P₂O₅ e 56 kg. ha⁻¹ de K₂O em sulco de plantio. Para a adubação de cobertura foi utilizado 160 kg. ha⁻¹ de ureia, quando as plantas estavam em estágio fenológico V4.



Figura 2. Semeadora de Parcela acoplada no Trator Massey Ferguson, Jaboticabal – SP, Brasil (2016) ⁽¹⁾

Fonte: Próprio autor

Para o manejo das plantas daninhas e ataque de insetos, foi aplicado uma solução contendo Atrazina (1,5 kg i.a. ha⁻¹), Metomil (0.086 kg i.a. ha⁻¹) e Tembotriona (0,100g i.a. ha⁻¹) em pós emergência aos 23 DAE (dias após a emergência) (AGUIAR et al., 2014).

3.3 Caracteres Avaliados

Nas parcelas experimentais, foram coletados os dados de NDVI e as principais características agronômicas em relação ao desenvolvimento das plantas e a produtividade, tais como: altura de planta, altura da espiga principal, acamamento, quebramento, estande e produtividade. A seguir estão descritos os caracteres agronômicos avaliados neste estudo.

3.4 Caracteres Agronômicos

- a) Altura da planta (AP): distância do colo da planta até a inserção da folha-bandeira. Aferição realizada utilizando régua graduada de 5 em 5 centímetros, avaliada em oito plantas por parcela.
- b) Altura de inserção da espiga principal (AE): distância do colo da planta até o ponto de inserção da espiga principal. Mensuração realizada utilizando régua graduada de 5 em 5 centímetros, avaliada em oito plantas por parcela.
- c) Plantas acamadas (ACA): Contagem do número de plantas com inclinação superior a 45° em relação à vertical ou deitadas no solo, posteriormente somado com plantas quebradas e o resultado transformado em porcentagem para fins estatísticos.
- d) Plantas quebradas (QUE): caráter avaliado pela contagem do número de plantas com o colmo quebrado abaixo da espiga principal, posteriormente somado com plantas acamadas e o resultado transformado em porcentagem para fins estatísticos.
- e) Estande (ST): Obtidos através da contagem do número de plantas dentro da parcela experimental.

- f) Produtividade (PG): obtida por meio da colheita manual de cada parcela, passando pelo processo de debulha individual da parcela, pesagem individual da parcela, aferição da umidade e correção da umidade a 13%, possibilitando estimar-se a produtividade, por hectare.

3.5 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

O NDVI, foi avaliado aos 15, 30, 45, 60, 80 e 95 dias, após a emergência das plântulas. Durante as avaliações, seguiram-se as recomendações do fabricante, mantendo uma distância média ideal de 65 cm acima da planta, captando uma largura de leitura de 60 cm (Figura 3)



Figura 3. Método de avaliação do NDVI (altura de avaliação do dossel da planta e largura de leitura), Jaboticabal – SP, Brasil (2016).

Fonte: Próprio autor

Utilizou-se o aparelho GreenSeeker® sensor ativo, com emissão da própria luz na banda do infravermelho próximo a 770 ± 12 nm e do vermelho a 660 ± 12 nm, com

funcionamento independente da iluminação do ambiente (TRIMBLE, 2017).



Figura 4. Sensor ativo terrestre GreenSeeker, Jaboticabal – SP, Brasil (2016).
Fonte: Próprio autor.

O valor de NDVI varia de 0 a 1, sendo que, quanto maior a quantidade absorvida de vermelho e maior a quantidade refletida do infravermelho, maior será o valor de NDVI. Plantas mais vigorosas refletem maior quantidade de feixes de luz no comprimento do infravermelho e absorvem mais o vermelho, indicando maior valor e vice-versa (ROUSE JUNIOR et al. 1974; LIU, 2015). O NDVI é a quantificação do desenvolvimento vegetativo calculado pela equação sugerida por Rouse Junior et al. (1974), conforme destaca a Figura 5.

Figura 5. Equação de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

<p>Razão</p> $\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$ <p>Legenda:</p> <p>NDVI – <i>Normalized Difference Vegetation Index</i></p> <p>IVP – Reflectância do infravermelho próximo</p> <p>V – Reflectância do vermelho</p>

Fonte: Rouse, 1974, p. 371.

O sensor, através da emissão e absorção da reflexão dos feixes de luz, vermelho e infravermelho próximo, envia os resultados para o GNSS Nomad Trimble®, receptor de informações, o qual calcula o índice de vegetação NDVI a partir da fórmula gerada por Rouse Junior (1974) e armazena os resultados obtidos, que posteriormente, podem ser descarregados em planilhas de excel, em computadores utilitários, para análises mais aprofundadas.

3.6 Procedimentos Estatísticos

Foram feitos os testes de normalidade e homocedasticidade para cada variável. Considerando a estrutura de dependência entre as variáveis, foram processadas técnicas exploratórias multivariadas. Primeiramente, houve a padronização dos dados, onde faz com que os atributos contribuam com o mesmo peso no cálculo do coeficiente de semelhança entre objetos. A análise de fatores foi processada com o método varimax, sendo os fatores extraídos pelo método de componentes principais (CP). Os autovalores da matriz de covariância geram os autovetores que são os componentes principais (HAIR JUNIOR, 2009). As análises foram processadas no software Statistica (STATSOFT, 2007).

A seleção dos genótipos foi feita adotando-se uma elipse de -2 a 2 em CP1 e CP2; CP1 e CP3 (aproximadamente $\alpha = 5\%$), de forma que, os genótipos presentes no interior dessa elipse podem ser considerados sem propriedades específicas, ao passo que, genótipos externos à elipse apresentam propriedades específicas.

O ganho de seleção é gerado a partir da fórmula $GS = DS * H^2$, onde o DS (diferencial de seleção) é a média dos genótipos menos a média dos indivíduos superiores e H^2 seria a herdabilidade. Esse cálculo foi realizado no software genes, a partir da matriz das médias dos genótipos, matriz da covariância fenotípica e genotípica (CRUZ, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de Fatores

Foi processada a análise de fatores prévia com todas as variáveis, cujo resultado não obteve informações relevantes, sem correlação das variáveis com os 3 primeiros fatores. Assim, as variáveis sem correlação alguma foram excluídas e uma nova análise foi processada, que está descrita na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo da análise de Fatores dos 33 genótipos de milho (PN), em resposta as avaliações agronômicas e valores de NDVI, durante a segunda safra de 2016, Jaboticabal – SP, Brasil (2016)⁽¹⁾.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3
AP	0,955536**	0,019354	-0,016998
AE	0,822084**	0,183374	0,145828
PG	0,726803**	-0,165141	0,160929
NDVI-80	0,06176	0,847659**	0,142489
NDVI-95	-0,090001	0,793877**	-0,151936
ACA+QUE	0,1412354	0,748896**	0,054678
NDVI-15	0,047898	0,065581	0,845179**
ST	0,142788	-0,029564	0,723213**
Variância Explicada	27, 1457	24,7007	16, 6399
Variância Acumulada	27, 1457	51,8464	68,4863

⁽¹⁾NDVI 15-Leitura via sensor ativo 15 dias após a emergência das plântulas; NDVI 80-Leitura via sensor ativo 80 dias após a emergência das plântulas; NDVI 95-Leitura via sensor ativo 95 dias após a emergência das plântulas; PG-Produtividade de grãos; Aca+Que-Quantidade de plantas acamadas e Quebradas; AP-Altura de Planta; AE-Altura da inserção da espiga principal; ST-Estande. ** Correlação entre as variáveis, acima de 0,70 dentro do fator.

No fator 1, observa-se a correspondência positiva das variáveis PG, AP e AE, indicando que a alteração de uma delas irá alterar diretamente as outras (MILSTEIN et al. 2005). Esse resultado corrobora com o obtido por Santos et al. (2002), Sousa et al. (2014), e Cabral et al. (2016), mostrando que AP e AE estão correlacionadas e afetam a produtividade (Tabela 2).

No fator 2, observa-se a correspondência e dependência direta entre as variáveis NDVI-80, NDVI-95 e ACA+QUE com o fator 2, em que pode ser explicada pela diferença entre o maior número de estômatos e a configuração das camadas das células de proteção na face inferior, alterando conseqüentemente a radiação emitida (LIU, 2015; TAIZ et al., 2017). Nas plantas acamadas e quebradas há alteração no grau de inclinação em relação à radiação luminosa, expondo a face inferior das folhas, aumentando o valor de NDVI (ROUSE JUNIOR et al., 1974; LIU, 2015). Além disso, quando as plantas acamam e quebram, podem ocupar os espaços entre as linhas de plantio e com isso o valor refletido de infravermelho tende a aumentar, pois aumenta a exposição da face inferior da folha e da maior quantidade de massa verde (ROUSE JUNIOR et al., 1974; LIU, 2015) (Tabela 2).

No fator 3, observou-se a correspondência e a dependência direta entre as variáveis NDVI-15 e ST com o fator 3 (Tabela 2). Este resultado pode ser explicado pela relação entre os espectros luminosos que compõem o NDVI, ao aumentar o número de plantas, o que eleva conseqüentemente, a absorção do vermelho em relação infravermelho próximo, aumentando o valor médio de NDVI da parcela (JOHANN et al., 2013; KROSS et al., 2015).

Deste modo, a relação entre NDVI-15 e ST também pode ser explicada pelo fato de que, nos estádios iniciais, as plantas não estão totalmente desenvolvidas e as partes vegetativas não cobrem totalmente o solo, deixando parte do solo exposto nesta época de avaliação, (HUETE et al., 2006). Sendo assim, quanto maior a quantidade de leitura do solo, menor será o valor médio de NDVI da parcela. Com o desenvolvimento do milho, o solo que estava exposto no início da cultura tende a ser coberto por partes vegetativas da planta, homogeneizando o valor de NDVI. No estágio inicial da cultura, a menor exposição do solo, refere-se à maior presença de plantas na área, de forma que, quanto maior o NDVI-15, maior será o ST (SHIRATSUCHI et al., 2014) (Tabela 2).

4.2 Análise de Componentes Principais

Nas figuras 6 e 7, estão apresentadas a dispersão dos genótipos de milho com a sobreposição das variáveis analisadas em relação aos três primeiros componentes principais. Os dois primeiros componentes principais representam 53,8% da variabilidade original (29,81% em CP1 e 23,99% em CP2) enquanto que o CP1 e CP3 representam 44,49% da variabilidade original (29,81% em CP1 e 14,68% em CP3) com uma representatividade total de 68,48% (CP1, CP2 e CP3).

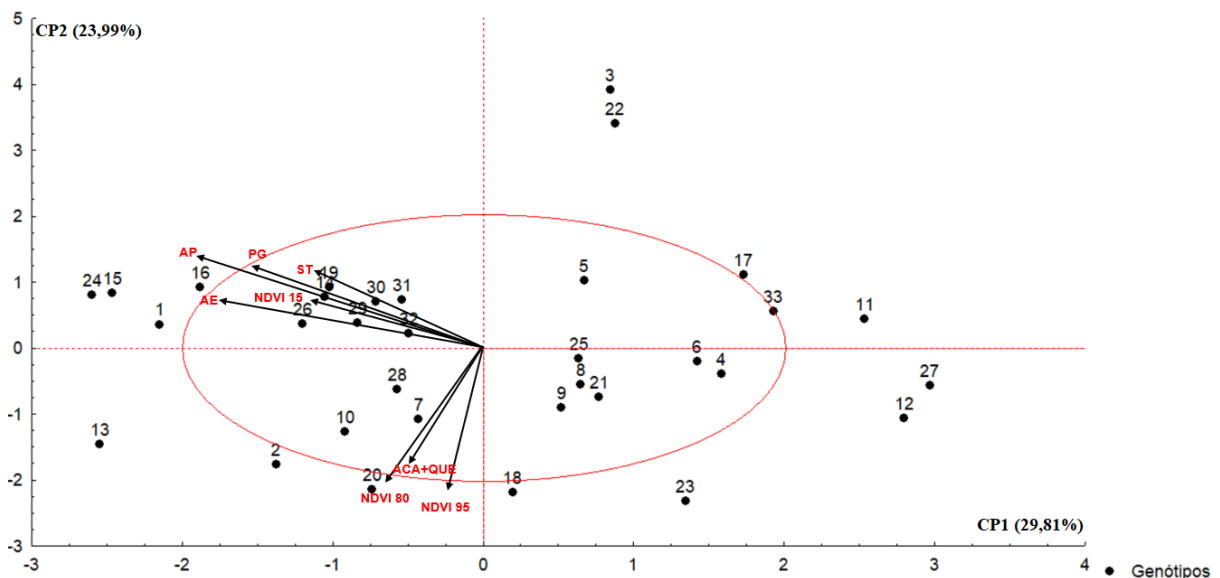


Figura 6. Dispersão dos 33 genótipos de milho com a sobreposição das variáveis analisadas em relação ao CP1 e CP2. Genótipos provenientes do ensaio nacional da Embrapa, segunda safra 2016; Jaboticabal – SP, Brasil⁽¹⁾. Vetores de projeção para as variáveis: NDVI 15-Leitura via sensor ativo 15 dias após a emergência das plântulas; NDVI 80-Leitura via sensor ativo 80 dias após a emergência das plântulas; NDVI 95-Leitura via sensor ativo 95 dias após a emergência das plântulas; PG-Produtividade de grãos; Aca+Que-Quantidade de plantas acamadas e Quebradas; AP-Altura de Planta; AE-Altura da inserção da espiga principal; ST-Estande.

Na Figura 6, observa-se que os genótipos 24, 1, 15 e 16 foram discriminados pelas variáveis PG, AP e AE sendo que o genótipo 16 foi o mais produtivo (Tabela 3), com altos valores de AP e AE em relação à média do experimento.

Tabela 3. Resumo dos valores médios das variáveis, dos 33 genótipos de milho precoce normal, SP, Brasil (2016) ⁽¹⁾.

Genótipos	NDVI-15	NDVI-80	NDVI-95	PG	ST	ACA+QUE	AP	AE
16	0,344	0,712	0,594	7347	22,0	32,5	229,1	115,6
15	0,289	0,737	0,710	6904	23,0	45,7	238,4	118,1
3	0,290	0,562	0,481	6721	23,0	4,4	217,8	111,6
1	0,326	0,748	0,597	6466	22,0	31,8	231,3	120,9
13	0,281	0,812	0,750	6292	24,5	33,0	228,4	121,6
2	0,364	0,774	0,721	6128	22,5	46,6	211,6	114,4
29	0,296	0,697	0,704	5941	24,5	42,0	214,1	117,5
26	0,342	0,683	0,710	5905	20,0	43,0	225,3	118,1
22	0,272	0,664	0,346	5777	26,0	3,7	212,5	111,6
32	0,284	0,674	0,645	5629	26,0	38,2	217,5	112,8
30	0,309	0,748	0,494	5494	23,5	8,8	220,3	118,8
31	0,349	0,717	0,603	5213	29,0	17,1	215,9	111,9
27	0,324	0,729	0,628	5199	21,5	15,6	191,9	89,7
8	0,277	0,737	0,633	5098	21,5	27,4	211,3	108,1
24	0,452	0,757	0,605	5044	24,5	28,7	224,4	129,4
10	0,255	0,775	0,701	5011	24,0	33,2	223,4	115,0
19	0,301	0,709	0,569	5000	24,0	19,3	219,7	126,3
25	0,335	0,741	0,630	4942	26,0	15,6	202,8	108,4
28	0,328	0,723	0,656	4884	23,0	37,1	219,7	113,4
7	0,192	0,746	0,696	4850	21,5	33,9	222,8	118,4
14	0,294	0,686	0,631	4811	24,5	22,5	231,3	120,0
5	0,273	0,697	0,545	4622	25,5	15,8	217,5	109,1
4	0,259	0,718	0,715	4557	23,0	43,9	198,1	105,3
6	0,298	0,702	0,610	4455	21,0	40,6	199,1	109,1
20	0,403	0,786	0,674	4349	24,5	47,5	204,1	114,4
12	0,268	0,748	0,601	3890	14,0	17,7	198,4	105,0
17	0,367	0,666	0,518	3811	24,0	14,5	206,3	105,0
23	0,263	0,742	0,775	3693	24,5	34,5	199,4	106,6
9	0,345	0,724	0,604	3626	25,0	38,3	204,4	111,9
11	0,234	0,648	0,612	3567	20,0	13,5	204,4	109,7
33	0,269	0,671	0,503	3532	17,0	13,2	214,4	111,9
18	0,261	0,764	0,722	3340	22,0	56,8	211,9	113,8
21	0,298	0,687	0,683	3184	25,0	30,0	210,0	113,8

⁽¹⁾NDVI 15-Leitura via sensor ativo 15 dias após a emergência das plântulas; NDVI 80-Leitura via sensor ativo 80 dias após a emergência das plântulas; NDVI 95-Leitura via sensor ativo 95 dias após a emergência das plântulas; PG-Produtividade de grãos; Aca+Que-Quantidade de plantas acamadas e Quebradas; AP-Altura de Planta; AE-Altura da inserção da espiga principal; ST-Estande.

Ainda na Figura 6, destacam-se negativamente os genótipos 2 e 13, 18, 20 e 23 com elevados valores de NDVI-80, NDVI-95 e ACA+QUE, sendo que problemas

com acamamento podem gerar problemas na colheita mecanizada, diminuindo a produtividade gerando prejuízo (BRACHTVOGEL et al. 2012; ZERBATO et al., 2013).

Os genótipos 2 e 13 apresentaram altos valores de NDVI-80, NDVI-95, ACA+QUE e PG (Tabela 3). Segundo Zerbato et al. (2013) no estudo verificaram que as plantas acamadas tendem a apresentar problemas em colheita mecanizada, sendo assim, não sendo genótipos favoráveis por mais que tenham expressado boa produtividade (Tabela 3).

Já os genótipos 18 e 23 apresentaram altos valores de NDVI-80, NDVI-95, ACA+QUE e menores valores de produtividade, sendo estes genótipos possivelmente descartados para esta região, pois além de apresentarem baixa produtividade apresentaram alto valor de ACA+QUE, NDVI-80 e 95 (Tabela 3).

Os genótipos 3 e 22 foram os que mais se destacaram apresentando menores valores de NDVI-80, NDVI-95 e baixa quantidade de plantas acamadas e quebradas, e com alta produtividade (Tabela 3). Dando ênfase para o genótipo 3, pois apresentou menor valor de NDVI-80, NDVI-95 e ACA+QUE e produtividade elevada, de acordo com a média do experimento.

Os genótipos 11, 12 e 33 são variedades que tendem a menor produtividade mesmo em ambientes de alta tecnificação quando comparados com híbridos. Variedades de milho, quando comparadas com híbridos apresentam menor heterose, característica principal para maior expressividade, porém em ambientes desfavoráveis variedades de milho costuma a sofrer menos influência (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2012; BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017).

O genótipo 17 na Figura 6, por mais que seja um Híbrido Simples (HS), apresentou baixa produtividade, menor altura de planta e menor altura da espiga principal comparado com os outros HS. Segundo Borém, Miranda e Fritsche-Neto (2017), dentre os tipos de híbridos o HS, é o mais responsivo ao ambiente, e portanto, altamente exigente ao ambiente de implantação. Por esta razão, o genótipo 17, não é recomendado para a região de Jaboticabal. O genótipo 27, se apresentou no segundo quadrante por apresentar baixa altura de planta e baixa altura da espiga principal, porém tem revelado uma produtividade mediana, comparada com os outros genótipos do experimento. Mas, se o desejado for um material com menor porte e uma produtividade mediana, o genótipo 27 se destaca dentro desta pesquisa.

Para a análise das variáveis NDVI-15 e ST, levou-se em consideração a dispersão dos genótipos de milho com a sobreposição das variáveis analisadas em relação aos componentes principais da Figura 7, sendo que o fator 3 apresentou maior relevância para as variáveis NDVI-15 e ST e o fator 1, o de maior quantidade da informação.

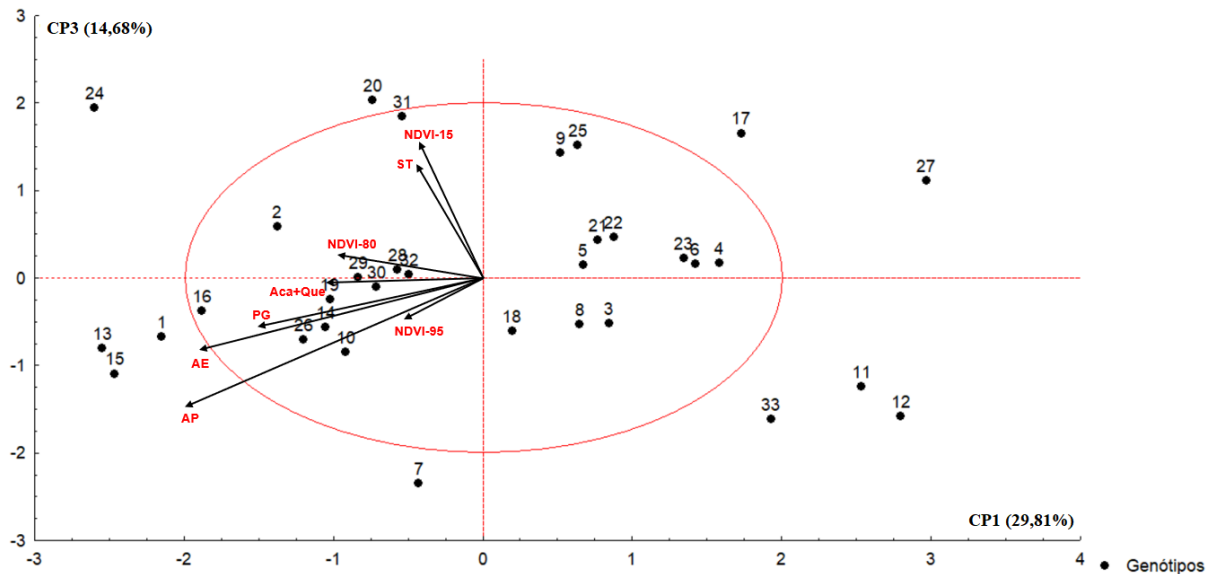


Figura 7. Dispersão dos 33 genótipos de milho com a sobreposição das variáveis analisadas em relação ao CP1 e CP3. Genótipos provenientes do ensaio nacional da Embrapa, segunda safra 2016; Jaboticabal – SP, Brasil⁽¹⁾. Vetores de projeção para as variáveis: NDVI 15-Leitura via sensor ativo 15 dias após a emergência das plântulas; NDVI 80-Leitura via sensor ativo 80 dias após a emergência das plântulas; NDVI 95-Leitura via sensor ativo 95 dias após a emergência das plântulas; PG-Produtividade de grãos; Aca+Que-Quantidade de plantas acamadas e Quebradas; AP-Altura de Planta; AE-Altura da inserção da espiga principal; ST-Estande.

A partir da Figura 7, verificou-se, que os genótipos 20 e 24 se destacaram, pois possuem elevados valores de ST e maiores valores de NDVI-15. Porém, o genótipo 20, além de apresentar maiores valores de NDVI-15 e ST, também apresentou valores elevados de ACA+QUE, uma característica não desejável. Já o genótipo 24 teve o maior valor de NDV-15, ST elevado e indicou altos valores de PG, AP e AE e, por esta razão, se localizou mais à esquerda do quadrante. Em contrapartida, os genótipos 33, 11 e 12 apresentaram relação inversa, com menores valores de NDVI-15 e ST, com tendência a menores valores de AP, AE e PG, sendo que esses 3 últimos materiais se caracterizam geneticamente como variedades (Tabela 3).

4.3 Ganho de Seleção

A partir da análise de ganho de seleção, pode-se verificar que a PG teve um ganho de seleção direta de 22,91% destacando os genótipos superiores 1, 3, 13, 16. Indiretamente, a partir da AP os genótipos 1, 16 foram também superiores para PG com um ganho de seleção de 15,38% e, também os genótipos 1, 13 foram selecionados indiretamente em relação a PG, a partir da AE, com um ganho de seleção de 7,44% (Tabela 4). Dinesh et al. (2016), afirmaram em seu estudo a possibilidade da seleção indireta a partir da altura de planta para produtividade em milho, e verificaram uma alta correlação entre essas duas características.

Tabela 4. Ganho se Seleção entre variáveis agronômicas analisadas de genótipos de milho, durante a segunda safra de 2016, Jaboticabal – SP, Brasil (2016) ⁽¹⁾

Ganho de Seleção PG		Xo	Xs	GS	GS%	Genótipos Superiores
SD	PG	4.957	6.707	1.136	22,91	1, 3, 13, 16
SI	AP	4.957	6.132	762,45	15,38	1, 14, 15, 16
	AE	4.957	5.526	368,95	7,44	1, 13, 19, 24
Ganho de Seleção ACA+QUE		Xo	Xs	GS	GS%	Selecionados
SD	ACA+QUE	28,66	7,51	-13,13	-45,8	3, 22, 30, 33
SI	NDVI-80	28,66	9,02	-12,20	-42,53	3, 22, 11, 17
	NDVI-95	28,66	23,14	-3,44	-11,99	3, 4, 6, 22

⁽¹⁾Médias originais (Xo), média das quatro populações selecionadas (Xs), ganho com a seleção (GS), ganho com a seleção em %, (GS%), genótipos selecionados, considerando a seleção direta (SD), genótipos selecionados a partir da seleção indireta (SI). ; NDVI 80-Leitura via sensor ativo 80 dias após a emergência das plântulas; NDVI 95-Leitura via sensor ativo 95 dias após a emergência das plântulas; PG-Produtividade de grãos; Aca+Que-Quantidade de plantas acamadas e Quebradas; AP-Altura de Planta; AE-Altura da inserção da espiga principal.

Pode-se verificar também que o ACA+QUE teve um ganho de seleção direta de -45,8% destacando os genótipos selecionáveis 3, 22, 30, 33, onde indiretamente, a partir do NDVI-80 os genótipos 3, 22 foram também selecionados para ACA+QUE com um ganho de seleção de -42,53%, os mesmos genótipos foram selecionados

indiretamente para ACA+QUE com NDVI-95, com um ganho de seleção de -11,99% (Tabela 4).

5 CONCLUSÕES

A correspondência e a dependência direta são observadas para os caracteres altura de planta, altura da espiga principal e produtividade; NDVI-80, NDVI-95 dias e acamamento mais quebraamento de plantas; NDVI-15 dias e estande.

É possível fazer seleção indireta para produtividade a partir da altura de planta e altura da espiga principal; acamamento mais quebraamento de plantas a partir do NDVI-80 e 95 dias, e não é possível fazer uma seleção indireta para o estande a partir do NDVI-15, pelo fato do estande ser altamente influenciado pelo ambiente e não ser uma característica agrônômica da planta, mesmo havendo correspondência entre essas duas variáveis.

Foi possível selecionar genótipos superiores, a partir do NDVI e técnicas multivariadas. Destaque especial para o genótipo 3, o qual apresentou baixo acamamento mais quebraamento de plantas, baixo valor de NDVI-80 e 95 dias e alta produtividade, em relação à média do experimento, sendo assim o genótipo mais promissor dentro deste estudo.

Conclui-se que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI apresentou algumas correspondências com os caracteres agrônômicos, o qual pode auxiliar no melhoramento de plantas, sendo uma tecnologia promissora para otimizar processos e aumentar a precisão de avaliação.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, V. M.; VON PINHO, E. V. R.; CARVALHO, M. R.; NAVES, G. M. F.; VON PINHO, R. G.; SANTOS, H. O. Indirect selection for drought tolerance in maize through agronomic and seeds traits. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 2, p. 287-296, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p287-296>>. Acesso: 19 jan. 2018.

AGUIAR, A. T. da E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. de. (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. rev. e atual. Campinas, SP: Instituto Agronômico, 2014. 452 p. (Boletim IAC, 200). Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/porassunto/pdf/boletim200_iac.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2017.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1999, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p. 1-4

BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho**. Évora: Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, 2014. 52 f. [Material de apoio]. Disponível em: <[https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta milho.pdf](https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta%20milho.pdf)>. Acesso em: 08 jan. 2018.

BERNINI, C. D. **Avaliação agrônômica e heterose de híbridos de populações f2 de milho, visando nova alternativa para o estado de São Paulo**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, 2011.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017. 523 p.

BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. R. S.; CRUZ, S. C. S.; ABREU, M. L.; BICUDO, S. J. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica**, Boa Vista, v. 6, n. 1, p. 75-83, 2012.

BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA, M. V. C.; FREIRE, E. C.; SILVA, B. B. Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão. In: AZEVÊDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 2, cap. 20, 1309 p.

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de Sensoriamento Remoto**. 2009. 152 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

CABRAL, P. D. S.; AMARAL JUNIOR, A. T. do; FREITAS, I. L. de J.; RIBEIRO, R. M.; SILVA, T. R. da C. Relação causa e efeito de caracteres quantitativos sobre a capacidade de expansão do grão em milho-pipoca. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 1, p. 108–17, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-66902016000100108&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 10 out. 2017.

CEPAGRI (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA). **Clima dos municípios paulistas**: a classificação climática de Koeppen para o estado de São Paulo. Campinas, [2017]. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 27 out. 2017.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos. Brasília, DF, set. 2016. 182 p. v. 2, safra 2015/16, décimo segundo levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_12_setembro.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2017.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos. Brasília, DF, jul. 2017. 171 p. v. 4 safra 2016/17, décimo segundo levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_07_12_11_17_01_boletim_graos_julho_2017.pdf>. Acesso em: 1 out. 2017.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Guia do milho**: tecnologia do campo à mesa. [S.l.], jul. 2006. Disponível em <http://www.cib.org.br/pdf/guia_do_milho_CIB.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2018.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

DINESH, A.; PATIL, A.; ZAIDI, P. H.; KUCHANUR, P. H.; VINAYAN, M. T.; SEETHARAM, K. Dissection of heat tolerance mechanism in tropical maize. **Research on Crops**, Haryana, v. 17, n. 3, p. 462-467, 2016.

ENTRINGER, G. C.; SANTOS, P. H. A. D.; VETTORAZZI, J. C. F.; CUNHA, K. S.; PEREIRA, M. G. Correlação e análise de trilha para componentes de produção de milho superdoce. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 3, p. 356-361, mai./jun. 2014.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. Edinburgh: Longman Group Limited, 1996. 464 p.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **FAOSTAT Crops**. Rome, 2017. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 10 de jan. 2018.

GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; TROGELLO, E.; FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 819-28, nov./dez. 2014. Suplemento. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000700007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 25 out. 2017.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HUETE, A. R.; KAMEL, D.; SHIMABUKURO, Y. E.; RATANA, P.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L. R.; YANG, W.; NEMANI, R. R.; MYNENI, R. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, Hoboken, v. 33, NI06405, p. 1-4, 2006.

JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; OLIVEIRA, S. R. de M.; RODRIGUES, L. H. A.; LAMPARELLI, R. A. C. Data Mining techniques for identification of spectrally homogeneous areas using NDVI temporal profiles of soybean crop. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 511-24, maio/jun. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v33n3/08.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

KACHIGAN, Sam Kash. *Statistical Analysis: An Interdisciplinary Introduction to Univariate & Multivariate Methods*. New York: **Radius Press**, 1986, 589 p.

KANKE, Y.; TUBAÑA, B.; DALEN, M.; HARRELL, D. Evaluation of red and red-edge reflectance-based vegetation indices for rice biomass and grain yield prediction models in paddy fields. **Precision Agriculture**, New York, v. 17, n. 5, p. 507-530, 2016.

KROSS, A.; McNAIRN, H.; LAPEN, D.; SUNOHARA, M.; CHAMPAGNE, C. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdam, v. 34, p. 235-48, feb. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243414001664>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2. ed. ampl. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2015. 881 p.

MILSTEIN, A.; ISLAM, M. S.; WAHAB, M. A.; KAMAL, A. H. M.; DEWAM, S. Characterization of water quality in shrimp ponds of different sizes and with different management regimes using multivariate statistical analysis. **Aquaculture International**, Dordrecht, v. 13, n. 6, p. 501-18, nov. 2005.

MKHABELA, M. S.; BULLOCK, P.; RAJ, S.; WANG, S.; YANG, Y. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 151, p. 385-93, 2011. Disponível em: <[http://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferencelD=2120043](http://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferencelD=2120043)>. Acesso em: 11 out. 2017.

NARDINO, C.; SOUZA, V. Q.; BARRETA, D.; KONFLANZ, V. A.; CARVALHO, I. R.; FOLLMANN, D. N.; CARON, B. O. Association of secondary traits with yield in maize F1's. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 5, p. 776-782, maio 2016. Disponível: <dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150253>. Acesso em: 19 jan. 2018.

OLIVEIRA, M. F. DE. **Modelos de predição de produtividade da cultura do milho por meio de NDVI em arranjos espaciais**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2017.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. p. 491-552.

PICOLI, M. C. A.; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R.; GIAROLLA, A. Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 789-795, set. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052009000300028&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 out. 2017.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 8, p. 1075–1083, 2008.

RAMALHO, M.; SANTOS, J. B. dos; PINTO, C. A. **Genética na Agropecuária**. 5. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 566 p.

RAY, D. K.; MUELLER, N. D.; WEST, P. C.; FOLEY, J. A. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 8, n. 6, e66428, 2013. Disponível em: <[doi:10.1371/journal.pone.0066428](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428)>. Acesso em: 10 nov. 2017.

RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; POERSCH, N. L.; ROSA, D. P. Critério de seleção indireta para a produtividade de grãos em feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 986-989, abr. 2010.

RIOS, S. A.; BORÉM, A.; GUIMARÃES, P. E. de; PAES, M. C. D. Análise de trilha para carotenoides em milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 368-73, 2012. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/issue/view/146>>. Acesso em: 28 out. 2017.

ROUSE JUNIOR, J. W.; HAAS, R. H.; DEERING, D. W.; SCHELL, J. A.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Greenbelt, Maryland: NASA, 1974. 371 p. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19750020419.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2017.

SANTOS, P. G.; JULIATTI, F. C.; BUIATTI, A. L.; HAMAWAKI, O. T. Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos de milho em Uberlândia, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 5, p. 597–602, maio 2002. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/107306/1/0597.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 58-73.

STATSOFT. **Statistica**: data analysis software system. Version 7. Tulsa, 2007.

SOUSA, T. V. de; RIBEIRO, C. M.; SCALON, J. D.; GUEDES, F. L. Relações entre componentes de rendimento e características morfológicas de milho. **Magistra**, Cruz das Almas, BA, v. 26, n. 4, p. 495-506, out./dez. 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1010039/relacoes-entre-componentes-de-rendimento-e-caracteristicas-morfologicas-de-milho>>. Acesso em: 10 out. 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. São Paulo: Artmed, 2017. 888 p.

TRIMBLE. **Installation and operation guide**: GreenSeeker RT200 System. Version 1, Revision M, part. number 500-1-032, apr. 2010.

USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE). **World Agricultural supply and Demand States**. Washington DC, jan. 2018. Disponível em: <<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>. Acesso em: 7 jan. 2018.

ZERBATO, C.; CAVICHIOLI, F. A.; RAVELI, M. B.; MARRAFON, M.; SILVA, R. P. Controle estatístico de processo aplicado à colheita mecanizada de milho. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 21, n. 3, maio/jun. 2013.