

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESEMPENHO E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE SOJA
PRECOCES EM ENSAIOS DE VCU PARA USO NA
ROTAÇÃO COM CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO
PAULO**

Julia Alexandrino Godoy

Engenheira Agrônoma

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESEMPENHO E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE SOJA
PRECOCES EM ENSAIOS DE VCU PARA USO NA
ROTAÇÃO COM CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO
PAULO**

Discente: Julia Alexandrino Godoy

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Helena Unêda-Trevisoli

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

2021

A382d

Alexandrino, Julia Godoy

Desempenho e estabilidade de genótipos de soja precoces em ensaios de vcu para uso na rotação com cana-de-açúcar no estado de São Paulo / Julia Godoy Alexandrino. -- Jaboticabal, 2021
40 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Sandra Helena Unêda-Trevisoli

1. Valor de Cultivo e Uso. 2. Adaptabilidade e estabilidade. 3. Glycine max. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESEMPENHO E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE SOJA PRECOCES EM ENSAIOS DE VCU PARA USO NA ROTAÇÃO COM CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO

AUTORA: JULIA GODOY ALEXANDRINO

ORIENTADORA: SANDRA HELENA UNÉDA-TREVISOLI

COORIENTADOR: ANTONIO ORLANDO DI MAURO

COORIENTADORA: IVANA MARINO BÁRBARO TORNELI

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

Profa. Dra. SANDRA HELENA UNÉDA-TREVISOLI (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. VIVIANE FORMICE VIANINA (Participação Virtual)
Faculdade de Tecnologia - FATEC / Jaboticabal/SP

Profa. Dra. AMANDA LIZ PACÍFICO MANFRIM PERTICARRARI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 04 de junho de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade dada e pela força concedida para passar pelos momentos de angústia e ansiedade.

Agradeço a minha família, sem a qual, esse trabalho não seria possível.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa concedida durante esse período de tempo.

Agradeço a Universidade Estadual Paulista “Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal” pelos anos de ensino e aprendizagem.

Agradeço ao departamento de Ciências da Produção Agrícola pelo espaço de trabalho concedido e disciplinas realizadas.

Agradeço a Profa. Dra. Sandra Helena Unêda-Trevisoli pela orientação durante essa etapa de extrema importância.

Agradeço aos membros da banca que tão prontamente aceitaram o convite para participar deste momento.

Agradeço a toda a equipe do Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento de Plantas pela amizade, companheirismo, desenvolvimento e apoio.

Agradeço a República Santa Casa pelos anos de amizade e moradia, que trouxeram muitas alegrias para minha vida.

Agradeço, enfim, a todos que participaram desta etapa de minha vida.

DEDICATÓRIAS

Dedico aos meus pais, Sergio Antonio Alexandrino e Marcia Regina Godoy Alexandrino, meu irmão Felipe Godoy Alexandrino, a meu noivo, Lucas Garcia, a minha cunhada Larissa Vermeulen, e à toda minha família. Sem eles, nada disso seria possível.

Dedico também à Lígia Amaral e Gustavo Fieno, amigos irmãos que o Mestrado me presenteou.

BIOGRAFIA

Julia Godoy Alexandrino, nascida em 1992 na cidade de Bauru, cursou Engenharia Agrônômica na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal entre os anos 2011 a 2018. Realizou estágios diversos dentro da universidade, como Floricultura e Paisagismo, Silvicultura, Entomologia e Hortaliças. Em 2015, fez seu primeiro estágio extracurricular na empresa Promip e em seguida realizou intercâmbio agrícola para os Estados Unidos da América em Nantucket – MA, para trabalhar com hortaliças orgânicas e flor de corte. Na volta, finalizou a graduação e no segundo semestre de 2018 ingressou no Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas na mesma Universidade da graduação. Atualmente, trabalha na Raízen na área de Manutenção Automotiva.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 A Cultura da Soja.....	2
2.2 A Cultura da Cana-de-açúcar.....	4
2.3 Sistema de Rotação Soja x Cana.....	5
2.4 Processo de Registro e Proteção de Cultivares.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1. Descrição da Área e Delineamento Experimental.....	8
3.2 Avaliações Conduzidas.....	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
4.1. Teste de Média para Ciclo (dias).....	11
4.2 Teste de Médias para Produtividade (kg ha ⁻¹).....	15
4.3 Modelos Aditivos com Interação Multiplicativa (AMMI).....	18
5. CONCLUSÕES.....	24
6. REFERÊNCIAS.....	25

DESEMPENHO E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE SOJA PRECOCES EM ENSAIOS DE VCU PARA USO NA ROTAÇÃO COM CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO

RESUMO - A cana-de-açúcar e a soja são culturas de extrema importância para o agronegócio brasileiro, cuja demanda por seus produtos e subprodutos é crescente em todo o mundo. Sabe-se que o sistema de produção Soja x Cana (SSC) opera com grande eficiência e contribui com a sustentabilidade do agronegócio. Cultivares de soja adequadas para uso no SSC devem apresentar ciclo curto, adaptação à região edafoclimática e alta produtividade. Para isso, ensaios experimentais de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de soja foram conduzidos com o intuito de avaliar genótipos de soja de endogamia avançada, adaptados ao sistema de rotação Soja x Cana, visando identificação de linhagens com potencial para registro e proteção de novas cultivares comerciais para esta finalidade agrícola. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições e vinte e quatro tratamentos, nos anos agrícolas 2018/19 e 2019/20. Considerando todos os ambientes avaliados, os menores ciclos vegetativos foram exibidos pelos genótipos (G) G1 (101 dias) e G19 (102 dias), enquanto as maiores produtividades foram de 4605,08 kg ha⁻¹ (G17) e 4313,75 kg ha⁻¹ (G19). Destacamos os genótipos G1 e G4 por apresentarem potencial comercial para futuro registro e disponibilização para uso no sistema de rotação Soja x Cana em semeadura direta, por combinar as características de bom desenvolvimento vegetativo, elevado potencial produtivo, ciclo curto e estabilidade de produção.

Palavras-chave: Adaptabilidade e estabilidade, *Glycine max*, Registro e proteção de cultivares, *Saccharum officinarum*, sistema soja x cana.

PERFORMANCE AND STABILITY OF EARLY SOYBEAN GENOTYPES IN VCU ASSAYS FOR USE IN SUGARCANE ROTATION IN THE SÃO PAULO STATE

ABSTRACT - Sugarcane and soybean are extremely relevant crops for Brazilian agribusiness, whose demand for their products and by-products is increasing worldwide. The Soybean x Sugarcane production system (SSC) operates with favorable efficiency and contributes to agribusiness sustainability. Soybean cultivars suitable for use in SSC must have early cycle, adaptation to the edaphoclimatic region, and high yield. For this, experimental tests of soybean cultivation and use value (VCU) were conducted to evaluate advanced inbreeding soybean genotypes, adapted to the SSC system, aiming the identification of the lines with potential for registration and protection of new commercial cultivars for this agricultural purpose. The experimental design used was randomized blocks with three replications and twenty-four treatments in the agricultural years 2018/19 and 2019/20. Considering all the environments evaluated, the lowest vegetative cycles were exhibited by genotypes (G) G1 (101 days) and G19 (102 days), while the highest yields were 4605.08 kg ha⁻¹ (G17) and 4313.75 kg ha⁻¹ (G9). We highlighted the genotypes G1 and G4 by their potential for future registration and availability for use in the sugarcane x soybean rotation system under no-tillage for combining the traits of good vegetative development, high yield potential, early cycle, and stability.

KEYWORDS: Adaptability and stability, *Glycine max*, Registration and protection of cultivars, *Saccharum officinarum*, soybean x sugarcane system.

LISTA DE ABREVIATURAS

AMMI	Modelos Aditivos com Interação Multiplicativa (AMMI)
DHE	Distinguibilidade, Homogeneidade e Estabilidade
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
REC	Regiões Edafoclimáticas
RNC	Registro Nacional de Cultivares
RR	<i>Roundup Ready</i>
VCU	Valor de Cultivo e Uso

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Genótipos de soja avaliados nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso em campo nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020 em Jaboticabal, Piracicaba e Pindorama, Estado de São Paulo/Brasil.....	10
Tabela 2. Médias de Ciclo (dias) de genótipos de soja avaliados em três locais para dois anos agrícolas, 2018/2019 e 2019/2020.....	12
Tabela 3. Médias de Ciclo (dias) para cada genótipo de soja e Interação Genótipos x Ambientes no ano agrícola 2018/2019.....	13
Tabela 4. Médias de Ciclo (dias) para cada genótipo de soja e Interação Genótipos x Ambientes no ano agrícola 2019/2020.	14
Tabela 5. Médias de Produtividade (kg ha^{-1}) de genótipos de soja avaliados em 3 locais para cada ano agrícola, 2018/2019 e 2019/2020.	16
Tabela 6. Médias de Produtividade (kg ha^{-1}) para cada genótipo de soja e Interação Genótipos x Ambientes no ano agrícola 2018/2019.	17
Tabela 7. Médias de Produtividade (kg ha^{-1}) para cada genótipo de soja e Interação Genótipos x Ambientes no ano agrícola 2019/2020.....	18
Tabela 8. Análise de variância AMMI para Ciclo (dias) de 24 genótipos de soja testados em 6 ambientes (combinação de três locais e dois anos). Anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020.....	19
Tabela 9. Análise de variância AMMI para Produtividade Corrigida (kg ha^{-1}) de 24 genótipos de soja testados em 6 ambientes (combinação de três locais e dois anos). Anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020.....	20
Tabela 10. Valor de estabilidade AMMI (ASV) para as características Ciclo (dias) e Produtividade Corrigida (kg ha^{-1}) e Ranking considerando menores ASV para ciclo seguido de menores ASV para produtividade considerando os 24 genótipos testados.	22

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Grupos de Maturidade Relativa da Soja no Brasil. Fonte: EMBRAPA (2016).....	3
Figura 2. Análise biplot AMMI indicando (a) os efeitos principais e de interação (PC1) de genótipos e ambientes sobre o Ciclo e (b) PC1 e PC2 dos ambientes e genótipos baseados no Ciclo. PC: eixo de análise de componentes principais. CVT: Ciclo (dias). As abreviações de ambientes e genótipos estão apresentadas no item <i>Material e Métodos</i>	23
Figura 3. Análise biplot AMMI indicando (a) os efeitos principais e de interação (PC1) de genótipos e ambientes sobre a Produtividade e (b) PC1 e PC2 dos ambientes e genótipos baseados na Produtividade. PC: eixo de análise de componentes principais. PDC: Produtividade (kg ha^{-1}). As abreviações de ambientes e genótipos estão apresentadas no item <i>Material e Métodos</i>	24

1. INTRODUÇÃO

A soja é o principal produto de exportação brasileira, cuja importância tem se intensificado continuamente, como pode ser comprovado pela posição do país de maior produtor e exportador mundial do grão. A produção de soja no Brasil alcançou 124,84 milhões de toneladas distribuídas em uma área de 36,97 milhões de hectares (Conab, 2020), enquanto no mundo, 337,298 milhões de toneladas foram produzidas em uma área de 122,647 milhões de hectares (USDA, 2020). A soja apresenta ainda, grandes benefícios na rotação de culturas, como no sistema de rotação com a cana-de-açúcar (Borges et al., 2013).

A prática de reforma dos canaviais utilizando o sistema de rotação de culturas com leguminosas como a soja, representa uma alternativa sustentável capaz de evitar reduções críticas de produtividade (Ambrosano et al., 2011). Tal prática atinge um propósito conservacionista que impacta positivamente o solo e a água através da redução da degradação do solo e perda de nutrientes, incorporação da matéria orgânica e aumento da biodiversidade (Fancelli, 2019).

A soja destaca-se para uso na rotação de culturas com a cana-de-açúcar devido à rápida decomposição dos resíduos vegetais e, especialmente, a disponibilização de nutrientes para a cultura principal. Para disponibilizar nitrogênio, elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, o sistema radicular da soja e das demais leguminosas fixam o nitrogênio atmosférico. A capacidade de fixação de nitrogênio ocorre em função da simbiose estabelecida com bactérias fixadoras de nitrogênio, o que permite a disponibilização do nutriente para as plantas (Marchetti e Barp, 2015; Mylona, Pawlowski e Bisseling, 1995).

As características fisiológicas e genéticas da soja também geram benefícios econômicos, visto que podem contribuir na amortização de cerca de 40% do custo de implantação de um novo canavial (Oliveira, Pereira e Vieira 2012, XXX Reunião de Pesquisa), além da redução da necessidade de nitrogênio fertilizante, incorporação de matéria orgânica e conservação do solo (Oliveira et al., 2012). Além disso, as altas

produtividades alcançadas ressaltam a viabilidade da tecnologia da semeadura direta da cultura da soja sobre a palhada de cana-de-açúcar (Borges et al., 2013).

Para viabilizar o uso de cultivares de soja no período de reforma dos canaviais, os genótipos devem, principalmente, apresentar ciclo curto (100 a 120 dias). Outras características de interesse no cultivo comercial são desejadas para os genótipos de soja, como adaptação à região edafoclimática de cultivo, alto potencial produtivo, homogeneidade e estabilidade fenotípica, entre outros (EMBRAPA, 2005; Tanimoto, 2002).

Deste modo, torna-se de grande importância os esforços de programas de melhoramento genético e pesquisas em busca de cultivares de soja de ciclo curto para uso no sistema de rotação Soja x Cana (Pavão et al., 2015). Mediante o exposto, o objetivo do presente trabalho consistiu na avaliação de desempenho e estabilidade de genótipos de soja de endogamia avançada, visando identificação de linhagens com potencial para registro e proteção de novas cultivares comerciais para uso no sistema de rotação Soja x Cana.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura da Soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma espécie herbácea originária de clima temperado, classificada na divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales e família Fabaceae, com ampla adaptação nos climas subtropicais e tropicais (Capelari Jr et al., 1999). A soja é uma cultura anual, cujo número de dias desde a emergência até a maturação corresponde a característica Ciclo. As cultivares brasileiras possuem Ciclo entre 100 e 120 dias e são classificadas em grupos de maturidade relativa (EMBRAPA, 2016).

O sistema de classificação de soja por grupos de maturidade varia de 0 a 10, sendo que quanto maior é o número, mais longo o Ciclo do genótipo e menor a quantidade de horas/luz em relação às regiões mais ao sul durante a primavera e o verão. De forma geral, os grupos de maturidade dos genótipos de soja variam de 5,5 a 10 no Brasil (Figura 1; EMBRAPA, 2016).

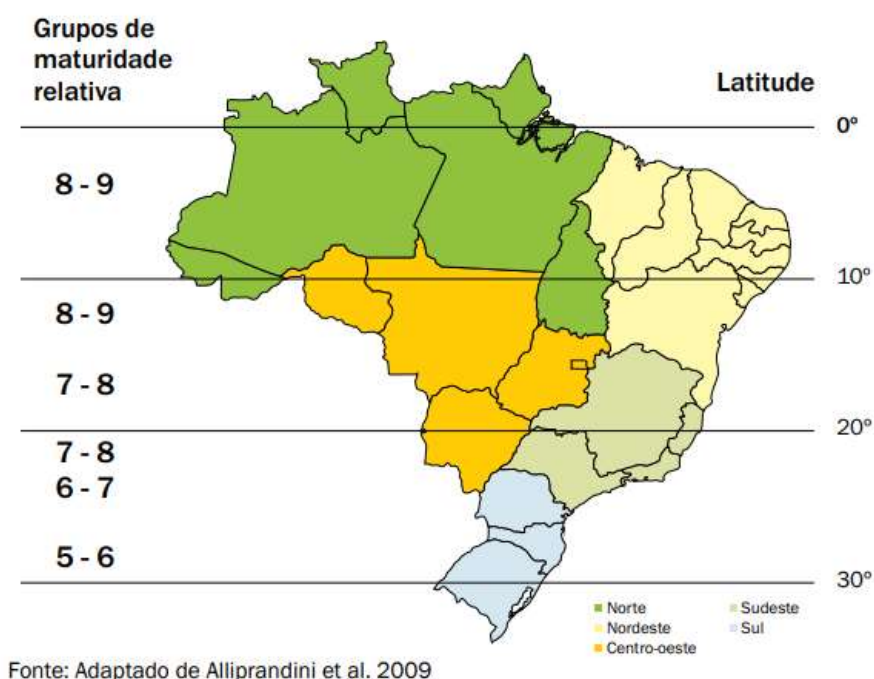


Figura 1. Grupos de Maturidade Relativa da Soja no Brasil. Fonte: EMBRAPA (2016).

Os grupos de maturidade relativa são indicadores importantes do ajuste dos genótipos de soja em determinadas faixa de latitude, em função da resposta das plantas à quantidade de exposição à luz. Baixas quantidades de luminosidade podem acelerar o início do florescimento da soja (fase reprodutiva), resultando em menor Ciclo (Penariol, 2000).

A soja é o principal produto de exportação brasileira, sendo o Estado de São Paulo o principal produtor em âmbito nacional. A produção brasileira de soja, estimada em 120,9 milhões de toneladas, apresentou desempenho superior ao do ano agrícola anterior (2018/2019), com ganho de 5,1% (Conab, 2020). Enquanto no mundo 337,298 milhões de toneladas foram produzidas em uma área de 122,647 milhões de hectares (USDA, 2020), o Brasil alcançou 124,84 milhões de toneladas de soja distribuídas em uma área 36,97 milhões de hectares (Conab, 2020).

A soja tornou-se destaque na agricultura brasileira, cujas condições climáticas e, particularmente, o alto número de cultivares melhoradas favoreceram a obtenção da posição de maior produtor e exportador mundial do grão. Tal fato comprova a

intensificação da importância da cultura e a necessidade de novas tecnologias para manter o potencial de produção elevado. O número de cultivares registradas para cultivo é crescente a cada ano, o que permite a expansão e consolidação da soja em novas áreas de cultivo, bem como o alcance de maiores patamares de produtividade nas áreas já cultivadas (CultivarWeb B, 2021; EMBRAPA, 2006).

Além da importância econômica da soja, os grãos possuem alto valor nutricional para humanos e animais, sendo a mais importante oleaginosa cultivada em escala mundial. Fonte de proteína vegetal, os grãos são constituídos por 40% de proteína e 20% de óleo, em média. A soja pode ser utilizada como matéria-prima para agroindústrias, cujos grãos podem ser processados, gerando inicialmente o óleo e o farelo em uma proporção próxima a 80% de óleo e 20% de farelo, desconsiderando as perdas (EMBRAPA, 2014).

A soja apresenta ainda, grandes benefícios no aumento de eficiência no uso da terra quando usada na rotação de culturas, recurso fundamental para manter a sustentabilidade e a competitividade do setor (dos Santos, 2014). O uso do sistema de rotação de culturas pode favorecer o rendimento de grãos de soja (dos Santos, 2014), o que ressalta a viabilidade do uso de genótipos de soja na rotação com a principal cultura do Estado de São Paulo, a cana-de-açúcar (Borges et al., 2013).

2.2 A Cultura da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma monocotiledônea que pertence à família Poaceae, assim como o arroz, milho e sorgo (Malavolta e Haag, 1964). As condições edafoclimáticas brasileiras e as grandes áreas cultiváveis favoreceram o desenvolvimento e estabelecimento da cana como planta produtora de açúcar. O aumento da demanda mundial por açúcar e etanol oriundo de fontes renováveis também contribuiu com a expansão da cultura no Brasil (Conab, 2020).

Os processos de produção de materiais de valor agregado, subprodutos da cana-de-açúcar, integram possibilidades econômica e socialmente viáveis e sustentáveis para o setor. Já é possível produzir, por exemplo, plástico biodegradável

derivado da cana a partir do polihidroxibutirato e óleo que substitui o diesel sem necessidade de adaptação dos motores (da Silva, 2019; Raicher, 2011).

No Brasil, o Estado de São Paulo destaca-se como o maior produtor de cana-de-açúcar (Conab, 2020), o qual foi responsável por 53,7% da produção brasileira de cana-de-açúcar, 46,2% de etanol (16,4 bilhões de litros) e 62,6% do açúcar (18,8 milhões de toneladas) no ano agrícola 2019/20 (Conab, 2020).

Apesar de um avanço tecnológico acerca da produção da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo nos últimos anos, a cultura ainda enfrenta desafios com relação à queda de produtividade. A produtividade de um canavial é reduzida ao passar dos anos de cultivo, cujas quedas abruptas são notadas em cerca de 5 anos. Uma alternativa sustentável capaz de evitar reduções críticas de produtividade é a adoção da prática de reforma dos canaviais associado à rotação de culturas com leguminosas, como a soja (Ambrosano et al., 2011).

Além de melhorar a fertilidade do solo, o uso do sistema de rotação de culturas Soja x Cana reduz a degradação, perda de nutrientes e matéria orgânica, além de impactar positivamente a biodiversidade dos canaviais (Fancelli, 2019). O cultivo da soja torna-se viável no intervalo de tempo entre a colheita e o replantio da cana-de-açúcar, otimizando o uso da terra e gerando renda em um período em que a terra não estaria sendo utilizada (dos Santos, 2014).

2.3 Sistema de Rotação Soja x Cana

O sistema de rotação de culturas é capaz de agregar diversos benefícios ambientais e econômicos, como a preservação do solo e da água, além do aumento da disponibilidade de macro e micronutrientes para a cultura em sucessão. Outros benefícios como o aumento em produtividade, auxílio no controle de pragas, doenças e plantas daninhas também podem ser atingidos quando o sistema de rotação de culturas é aplicado à implantação de um novo canavial (Finoto et al., 2012).

O uso de leguminosas em sistema de rotação de culturas com cana-de-açúcar destaca-se principalmente devido à capacidade de fixação de nitrogênio das

leguminosas, como a soja. A soja é capaz de disponibilizar nitrogênio ao solo em função da capacidade de fixação biológica de nitrogênio atmosférico por meio da simbiose estabelecida com bactérias fixadoras de nitrogênio no sistema radicular. As bactérias fixadoras de nitrogênio podem estar presentes livres na rizosfera ou serem inoculadas nas sementes (Aita; Giacomini, 2003; Aita et al., 2004).

A disponibilidade de nitrogênio para a cana-de-açúcar influencia a brotação dos toletes, o tempo de emergência, favorece o perfilhamento e a produtividade (Fancelli, 2019). O cultivo da cana-de-açúcar em rotação com leguminosas elevou o desempenho econômico da cana, atingindo produtividades 30% e 35% maiores de colmos e de açúcar, respectivamente (Ambrosano et al., 2010, Ambrosano et al., 2011).

O potencial da prática de rotação é favorável também para a soja, que apresenta boa eficiência e adaptação às condições de rotação Soja x Cana (Finoto et al., 2012, de Souza Lima et al., 2019). As características da soja podem gerar benefícios diretos como contribuir na absorção dos custos de operações mecanizadas e insumos, amortizando cerca de 40% do custo de implantação do novo canavial (Oliveira, Pereira e Vieira 2012, XXX Reunião de Pesquisa, 2008) e na possibilidade de lucro com a venda do grão (de Souza Lima, 2019).

Para que a soja possa ser utilizada no período de reforma dos canaviais, os genótipos devem ser avaliados quanto ao número de dias de Ciclo (período desde a emergência até a maturação) para propiciar a colheita da soja em tempo ideal. É importante que os genótipos de soja sejam cultivares de Ciclo curto, de 120 a 130 dias (precoce e semi-precoce) para plantio no Estado de São Paulo (EMBRAPA, 2005; Tanimoto, 2002). Ademais, a cultivar de soja deve ser adaptada a região edafoclimática, possuir alto potencial produtivo, estabilidade, e outras características de interesse no cultivo comercial para que seja viável o uso no sistema de rotação Soja x Cana.

Tendo em vista o potencial de geração de renda e sustentabilidade do sistema de rotação de culturas Soja x Cana, tornam-se de grande importância os esforços realizados por programas de melhoramento genético com objetivos de Registro e

Proteção de Cultivares de soja compatíveis com as condições de cultivo deste sistema de rotação de culturas de notável importância.

2.4 Processo de Registro e Proteção de Cultivares

O Registro de Cultivares permite a produção e a comercialização de sementes e mudas dos genótipos registrados no Brasil, enquanto a Proteção das Cultivares consiste na emissão do título de propriedade intelectual sobre cultivares que foram obtidas por métodos de melhoramento genético (MAPA, 2021). Portanto, o processo de registro e proteção de cultivares é essencial tanto para a concessão de direitos a quem desenvolveu o material tanto para que ocorra a transferência de tecnologias resultantes dos avanços da pesquisa em genética e melhoramento vegetal para o produtor rural.

O Registro Nacional de Cultivares (RNC) foi instituído por meio da Portaria nº 527, de 31 de dezembro de 1997. Atualmente, o RNC é regido pela Lei nº 10.711, de 05 de agosto de 2003 e regulamentado pelo Decreto nº 5.153, de 23 de julho de 2004, cuja finalidade é habilitar previamente cultivares e espécies para a produção e a comercialização de sementes e mudas no Brasil. A solicitação de registro de cultivar é realizada mediante o encaminhamento de formulários específicos relacionados aos ensaios experimentais via sistema online do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o CultivarWeb (CultivarWeb A, 2021).

Para efetuar o registro de cultivares de soja, o Requerente do registro deve apresentar os resultados dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), o qual é de exclusiva responsabilidade do requerente. Além disso, é necessário elaborar relatório técnico de resultados e atender a outros requisitos mínimos exigidos pelo MAPA, descritos em detalhes no item 3. *Material e Métodos* deste trabalho.

A proteção de cultivares no Brasil foi instituída em 25 de abril de 1997. O governo brasileiro promulgou a Lei nº 9.456, que é regulamentada pelo Decreto nº 2.366, de 5 de novembro de 1997 (BRASIL, 2017). Para efetuar a proteção de uma cultivar é necessário que a mesma atenda aos requisitos: I) seja produto de melhoramento genético, II) seja de uma espécie passível de proteção no Brasil, III)

não ter sido comercializada no exterior a mais de 4 anos IV) não ter sido comercializada no Brasil há mais de doze meses, V) ser distinta (possuir diferenças claras de qualquer outra cuja existência na data do pedido de proteção seja reconhecida), homogênea (uniformidade entre plantas dentro da mesma geração) e estável (manutenção das características através de gerações sucessivas). Os requisitos de distinção, homogeneidade e estabilidade devem ser comprovados através de experimentos específicos reunidos e denominados de Testes de DHE (Distinguibilidade, Homogeneidade e Estabilidade).

Considerando a diversidade de ecossistemas e tipos de solo e clima (latitude e altitude) brasileiros, as cultivares de soja registradas são indicadas por regiões edafoclimáticas (REC) e macrorregiões sojícolas (EMBRAPA, 2014). Até o período de março de 2021, o CultivarWeb registra 3275 registros para a cultura da soja, o que reforça a importância dos esforços para registro e proteção de novas cultivares da cultura e ressalta a elevação do padrão da qualidade genética das cultivares disponibilizadas aos agricultores (CultivarWeb B, 2021).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da Área Experimental e Manejo

Experimentos de Valor de Cultivo e Uso (VCU) foram conduzidos nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020, seguindo os requisitos exigidos pelo MAPA em três locais, sendo um deles localizado na Região Edafoclimática (REC) 203 no município de Piracicaba (Latitude: 22° 43' 30" Sul, Longitude: 47° 38' 51" Oeste, 524 metros de altitude) e os demais localizados na REC 302 nos municípios de Pindorama (Latitude: 21° 11' 12" Sul, Longitude: 48° 54' 34" Oeste, 542 metros de altitude) e Jaboticabal (Latitude 21°14'59" Sul e longitude 48°17'8" Oeste, 575 metros de altitude), no Estado de São Paulo (Kaster e Farias, 2012).

A semeadura foi realizada dentro do período compreendido pelo zoneamento agroclimático de risco para a cultura e local. O manejo e tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações para a cultura (Embrapa, 2019). Após o

semeio, foi realizada a aplicação de inoculante com bactérias fixadoras de nitrogênio (do gênero *Rhizobium*) em área total.

3.2 Material Genético Avaliado

Foram avaliadas vinte linhagens de endogamia avançada (geração F12), pertencentes ao Programa de Melhoramento de Soja da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Jaboticabal (UNESP/FCAV), oriundas de processo seletivo anterior, as quais foram comparadas a quatro cultivares comerciais, denominadas Testemunhas. As vinte linhagens de soja (G1-G20) e as Testemunhas (G21-G24) foram agrupadas de acordo com a tecnologia utilizada no desenvolvimento do cultivar, sendo Convencionais (sem tecnologia) e RR (*Roundup Ready*, inserção de gene para resistência ao herbicida glifosato) (Tabela 1).

Tabela 1. Genótipos de soja avaliados nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso em campo nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020 em Jaboticabal, Piracicaba e Pindorama, Estado de São Paulo/Brasil.

Genótipo	Genealogia
01	FT-Cometa x Bossier
02	FT-Cometa x Bossier
03	Tracy - M x Paraná
04	FT-Cometa x IAC-11
05	FT-Cometa x IAC-9
06	FT-Cometa x IAC-8
07	FT-Cometa x IAC-14
08	BR-16 x Ocepar-4
09	BR-16 x Ocepar-5
10	FT-Cometa x Paraná
11	FT-Cometa x Paraná
12	FT-Cometa x Paraná
13	Conquista x IAC Foscarin-31
14	(BR-16 x Tainung-3) x (CAC-1 x BRS-137)
15	(BRS -137 x Hartwig) x (IAC-8-2 x Embrapa 48)
16	[[(BR-16 x Tainung-3) x (CAC-1 x BRS-137)] x [(Embrapa-59 x FT-2) x (Conquista x CD-204)]]
17	[[Tainung-4 x Renascença) x (FT- Estrela x BRS - 134)] x [(EMBRAPA-59 X Coodetec-204) x (CAC-1 x BRS-137)]]
18	JAB.00-05-5/4A2D x M 7908 RR
19	JAB.00-05-8/2D3C x M 7211 RR
20	JAB.00-02-3/6A4D x M 8360 RR
21	M5947IPRO
22	M6210IPRO
23	AS3680IPRO
24	TMG 1175 RR

3.3 Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido no delineamento experimental de blocos casualizados, em três locais (Jaboticabal, Pindorama e Piracicaba) e dois anos agrícolas (2018/2019 e 2019/2020), com três repetições, sendo as parcelas compostas por quatro linhas de cinco metros de comprimento espaçadas em 0,5 m. A área útil foi constituída pelas duas linhas centrais com quatro metros de comprimento.

Dessa forma, foram avaliados 24 tratamentos em 3 locais (ambientes) e 3 anos agrícolas, resultantes da combinação de três local-ano de plantio: JBT_18/19 (Jaboticabal, ano agrícola 2018/2019), JBT_19/20 (Jaboticabal, ano agrícola 2019/2020), PND_18/19 (Pindorama, ano agrícola 2018/2019), PND_19/20 (Pindorama, ano agrícola 2019/2020), PRC_18/19 (Piracicaba, ano agrícola 2018/2019) e PRC_19/20 (Piracicaba, ano agrícola 2019/2020).

3.2 Avaliações conduzidas

As avaliações do ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) foram realizadas de acordo com os requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de soja para inscrição no Registro Nacional de Cultivares (RNC) – ANEXO VI (MAPA, 2018). Para as características agronômicas foram avaliados o Ciclo (número de dias da emergência à maturação), altura de plantas na maturidade (cm), altura de inserção das vagens inferiores (cm), grau de acamamento (Notas de 1 a 5, sendo 1 - Todas ou quase todas as plantas eretas; 2 – Até 25% das plantas acamadas; 3 - Todas as plantas medianamente inclinadas ou de 25 a 50% das plantas acamadas; 4 - Todas as plantas fortemente inclinadas ou de 50 a 80% das plantas acamadas; 5 - Mais de 80% das plantas acamadas).

Ainda, foram avaliados, o valor agronômico (notas visuais de 1 a 5, sendo a nota 1 correspondente à planta sem nenhum valor agronômico e a nota 5 à planta com excelentes características agronômicas (avaliado no estágio R8 na escala de Fehr e Caviness, 1977), o peso de 100 sementes (em gramas, corrigido a umidade da

semente para 13%) e produtividade (em quilogramas por hectare do rendimento da área útil das parcelas, padronizado para 13% de umidade).

A qualidade tecnológica/industrial dos genótipos de soja foi determinada no Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento de Plantas (LBMP), pertencente ao Departamento de Ciências da Produção Agrícola, Setor de Produção Vegetal da UNESP/FCAV. Cada parcela colhida teve uma amostra coletada, nos dois anos agrícolas. Os grãos inteiros e limpos de cada amostra foram submetidos a leituras em triplicatas, para determinação dos teores (%) de óleo e de proteína nos grãos utilizando a técnica da Reflectância do Infravermelho Próximo (NIR), com equipamento Espectrômetro FT-NIR TANGO Bruker.

A análise de variância individual foi realizada para os caracteres agrônômicos de natureza quantitativa, sendo as significâncias das fontes de variação e as médias de Ciclo e Produtividade submetidas pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% e 10% de probabilidade de erro. As médias e interações Genótipo x Ambiente foram calculadas a partir de análise conjunta com desdobramento das fontes de variação para estudo das interações Genótipo x Ambiente para as variáveis Ciclo (em número de dias) e Produtividade (kg/ha^{-1}).

Os testes de adaptabilidade e estabilidade foram realizados com o método AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction), utilizando o programa R Studio (RStudio Team, 2020) e os pacotes ExpDes.pt (Ferreira et al., 2020) e lattice (Sarkar, Sarkar e Kernsmooth, 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teste de Médias para Ciclo (dias)

Para a característica Ciclo, as médias dos genótipos avaliados nos 3 locais não apresentaram diferença estatística entre cada ano agrícola, sendo de 117,4 dias em 2018/2019 e 119,5 dias em 2019/2020 (Tabela 2).

Tabela 2. Médias de Ciclo (dias) de genótipos de soja avaliados em três locais para dois anos agrícolas, 2018/2019 e 2019/2020.

Genótipo	Média de Ciclo (dias)					
	2018/2019			2019/2020		
G1	108,3	CD	a	114,7	A	a
G2	127,0	A	a	121,6	A	a
G3	121,2	ABC	a	119,3	A	a
G4	110,2	BCD	a	116,6	A	a
G5	123,6	AB	a	121,9	A	a
G6	126,6	A	a	121,0	A	a
G7	114,6	ABCD	a	113,3	A	a
G8	115,1	ABCD	a	117,6	A	a
G9	116,9	ABCD	a	119,3	A	a
G10	116,9	ABCD	a	118,6	A	a
G11	115,8	ABCD	a	118,0	A	a
G12	119,7	ABCD	a	121,3	A	a
G13	121,1	ABCD	a	121,6	A	a
G14	123,8	AB	a	123,0	A	a
G15	116,0	ABCD	a	119,1	A	a
G16	121,2	ABC	a	127,0	A	a
G17	120,1	ABCD	a	122,7	A	a
G18	121,6	ABC	a	122,1	A	a
G19	108,9	CD	b	118,7	A	a
G20	125,8	A	a	121,6	A	a
G21	108,0	CD	a	115,1	A	a
G22	109,7	BCD	a	117,1	A	a
G23	106,7	D	b	114,9	A	a
G24	120,0	ABCD	a	121,4	A	a
Média Geral	117,4	ABCD	a	119,5	A	a
CV (%)	7,1			7,0		

Nas linhas, médias ligadas por mesma letra minúscula em comum e, nas colunas, médias ligadas por mesma letra maiúscula em comum não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott, com nível de significância de 5% de probabilidade nas linhas e 10% de probabilidade nas colunas.

No ano de 2018/2019, 16 genótipos exibiram os menores valores de ciclo (não diferem estatisticamente entre si), cujos mais baixos foram 106,67, 108,00, 108,33, 108,89, 109,67 e 110,22 dias apresentados pelos genótipos 23, 21, 1, 19, 22 e 4, respectivamente. Por outro lado, no ano agrícola 2019/2020 as médias de ciclo dos genótipos avaliados não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 2).

Nas análises de médias para o caráter Ciclo, para cada genótipo de soja e Interação Genótipos x Ambientes, a maior média geral ocorreu em Piracicaba no agrícola 2018/2019 (Tabela 3). Considerando que Piracicaba encontra-se em uma região edafoclimática diferente dos demais locais, pode-se relacionar o resultado encontrado com dois possíveis fatores, uma tendência de alongamento de ciclo na região e das condições pluviométricas no ano. Entretanto, no ano de 2019/2020 não houve diferença estatística entre as médias gerais de ciclo (Tabela 4).

Tabela 3. Médias de Ciclo (dias) para cada genótipo de soja e Interação Genótipos x Ambientes no ano agrícola 2018/2019.

Genótipo	Média de Ciclo (dias)								
	Jaboticabal			Pindorama			Piracicaba		
G1	105,00	DEF	b	101,00	DE	b	119,00	H	a
G2	119,67	A	b	121,00	A	b	140,33	A	a
G3	112,33	ABCD	b	116,00	AB	b	135,33	ABCDE	a
G4	105,00	DEF	b	103,00	DE	b	122,67	FGH	a
G5	114,67	ABC	c	121,00	A	b	135,00	ABCDE	a
G6	119,67	A	b	121,00	A	b	139,00	A	a
G7	105,00	DEF	c	116,00	AB	b	122,67	FGH	a
G8	108,33	CDEF	b	107,00	CDE	b	130,00	CDEF	a
G9	112,00	ABCD	b	111,33	BCD	b	127,33	EFGH	a
G10	113,67	ABCD	b	111,00	BCD	b	126,00	FGH	a
G11	106,67	CDEF	b	109,67	BCD	b	131,00	BCDEF	a
G12	111,00	ABCDE F	b	111,67	BCD	b	136,33	ABCD	a
G13	113,00	ABCD	b	112,00	BC	b	138,33	ABC	a
G14	119,00	A	b	114,00	ABC	c	138,33	ABC	a
G15	109,00	BCDEF	b	109,67	BCD	b	129,33	DEFG	a
G16	111,67	ABCDE	c	121,00	A	b	131,00	BCDEF	a
G17	111,33	ABCDE	b	112,00	BC	b	137,00	ABCD	a
G18	111,33	ABCDE	b	115,33	ABC	b	138,00	ABCD	a
G19	105,67	DEF	b	102,00	DE	b	119,00	H	a
G20	117,33	AB	b	121,00	A	b	139,00	AB	a
G21	102,33	F	b	101,00	DE	b	120,67	GH	a
G22	103,00	EF	b	107,00	CDE	b	119,00	H	a
G23	103,00	EF	b	98,00	E	c	119,00	H	a
G24	109,00	BCDEF	c	116,00	AB	b	135,00	ABCDE	a
Média Geral	110,36	BCDEF	b	111,61	BCD	b	130,35	CDEF	a
CV (%)	2,72			2,69			2,30		

Nas linhas, médias ligadas por mesma letra minúscula em comum e, nas colunas, médias ligadas por mesma letra maiúscula em comum não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott, com nível de significância de 5% de probabilidade nas linhas e 10% de probabilidade nas colunas.

Tabela 4. Médias de Ciclo (dias) para cada genótipo de soja e Interação Genótipos x Ambientes no ano agrícola 2019/2020.

Genótipo	Média de Ciclo (dias)					
	Jaboticabal		Pindorama		Piracicaba	
G1	109,33	A a	119,33	B a	115,33	A a
G2	124	A a	119,33	B a	121,33	A a
G3	116	A a	120,67	B a	121,33	A a
G4	114,67	A a	119,33	B a	115,5	A a
G5	122	A a	122,33	B a	121,33	A a
G6	121,33	A a	121,67	B a	119,5	A a
G7	110,33	A a	117	B a	112,67	A a
G8	117	A a	120,67	B a	115	A a
G9	120	A a	118,33	B a	119,67	A a
G10	119,33	A a	117	B a	119,33	A a
G11	114,33	A a	120,33	B a	119,33	A a
G12	120,33	A a	122,33	B a	121,33	A a
G13	122,67	A a	120	B a	122	A a
G14	124,33	A a	122,33	B a	122	A a
G15	119,33	A a	119,33	B a	118,5	A a
G16	120,33	A b	142	A a	118,67	A b
G17	124	A a	123,67	B a	120,33	A a
G18	122,33	A a	122,67	B a	121	A a
G19	122,33	A a	119,33	B a	114,33	A a
G20	123,67	A a	118	B a	123	A a
G21	110,33	A a	119,33	B a	115,67	A a
G22	112	A b	123,33	B a	116	A ab
G23	110,33	A a	118,33	B a	116	A a
G24	120,67	A a	122,33	B a	121	A a
Média Geral	118,38	A a	121,21	B a	118,76	A a
CV (%)	4,36		4,26		4,35	

Nas linhas, médias ligadas por mesma letra minúscula em comum e, nas colunas, médias ligadas por mesma letra maiúscula em comum não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott, com nível de significância de 5% de probabilidade.

As médias de ciclos em 2018/2019 variaram de 105 a 119,6 dias no município de Jaboticabal, de 98 a 121 dias em Pindorama e de 119 a 140,3 em Piracicaba, sendo as médias gerais de 110,42 dias em Jaboticabal, 111,76 dias em Pindorama e 130,40 dias em Piracicaba (Tabela 3). No ano agrícola 2019/2020 as médias de ciclos variaram de 109,33 a 124 dias no município de Jaboticabal, de 117 a 141,33 dias em Pindorama e 112,67 a 123 dias em Piracicaba, sendo as médias gerais de 118,38 dias em Jaboticabal, 121,21 dias em Pindorama e 118,76 dias em Piracicaba (Tabela 4).

Considerando apenas o local Jaboticabal no ano de 2018/2019, os menores valores foram encontrados para os genótipos 01, 04, 07, 21, 22 e 23, sem diferença estatística entre os genótipos 08, 11, 12, 15, 19 e 24. Em Piracicaba, os genótipos 01, 19, 22 e 23 apresentaram menores médias de Ciclo, sem diferença estatística entre os genótipos 04, 08 e 21 (Tabela 3). Em suma, destacaram-se nos locais de menor média de ciclo avaliados, Jaboticabal e Pindorama, os genótipos 01, 04 e 19. Comparando o ciclo destes genótipos entre os locais não houve diferença estatística.

No ano agrícola 2018/2019, a média do Ciclo dos vinte genótipos foi de 111,63 dias (Jaboticabal), 131 dias (Pindorama) e 131,79 (Piracicaba), enquanto para as testemunhas foi de 104,63 dias (Jaboticabal), 105,5 dias (Pindorama) e 123,41 dias (Piracicaba). As médias do Ciclo dos vinte genótipos no ano agrícola 2019/2020 foram de 119,38 dias (Jaboticabal), 121,28 dias (Pindorama) e 119,06 dias (Piracicaba), enquanto para as testemunhas foi de 113,33 dias (Jaboticabal), 120,83 dias (Pindorama) e 116,99 dias (Piracicaba). Os 20 genótipos de soja avaliados (G1-G20) apresentaram média de Ciclo muito similar ao dos genótipos utilizados como testemunha comercial (G21-G24).

4.2 Teste de Médias para Produtividade (kg ha^{-1})

As médias de produtividade dos genótipos avaliados foram superiores nos ambientes de Piracicaba e de Jaboticabal em relação ao ambiente de Pindorama, tanto no ano de 2018/2019 quanto no ano de 2019/2020. Ainda, em Piracicaba e Jaboticabal, houve superioridade de média de produtividade em 2019/2020 em relação à 2018/2019. De forma contrária, a média de produtividade obtida em Pindorama foi superior em 2018/2019 em relação à 2019/2020. Na interação Ambiente x Ano Agrícola, destacaram-se as combinações locais-ano cujas médias de produtividade foram superiores das demais, o ambiente de Jaboticabal no ano 2019/2020 e inferiores das demais, o ambiente de Pindorama no ano 2019/2020 (Tabela 5).

Tabela 5. Médias de Produtividade (kg ha⁻¹) de genótipos de soja avaliados em 3 locais para cada ano agrícola, 2018/2019 e 2019/2020.

	2018/2019	2019/2020
Pindorama	2352,529 Ba	1466,281 Bb
Piracicaba	3139,750 Ab	3581,309 Aa
Jaboticabal	3056,652 Ab	3656,321 Aa

Nas linhas, médias ligadas por mesma letra minúscula em comum e, nas colunas, médias ligadas por mesma letra maiúscula em comum não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott, com nível de significância de 5% de probabilidade.

Considerando as médias de produtividade dos genótipos de soja e a Interação Genótipos x Ambientes para cada ano agrícola, a média de produtividade não diferiu estatisticamente entre os locais no ano agrícola 2018/2019, mas foi estatisticamente menor em Pindorama no ano agrícola 2019/2020 (Tabelas 6 e 7). O fato de que os genótipos de soja avaliados não alcançaram altos patamares de produtividade em Pindorama em 2018/2019 indica que a combinação local-ano em questão pode não ter fornecido as condições ideais para a melhor performance dos genótipos avaliados.

Tabela 6. Médias de Produtividade (kg ha⁻¹) para cada genótipo de soja e Interação Genótipos x Ambientes no ano agrícola 2018/2019.

Genótipo	Média de produtividade								
	Jaboticabal			Pindorama			Piracicaba		
G1	2830,02	AB	a	2319,81	AB	a	2480,00	AB	a
G2	2811,39	AB	a	2534,80	AB	a	2980,00	AB	a
G3	2745,82	AB	ab	2194,98	AB	b	3593,33	AB	a
G4	2965,72	AB	ab	1892,94	AB	b	3148,00	AB	a
G5	3120,67	AB	a	3230,93	A	a	2808,00	AB	a
G6	2624,84	AB	a	2771,07	AB	a	3036,66	AB	a
G7	3083,97	AB	a	2320,40	AB	a	3252,00	AB	a
G8	3591,99	AB	a	1960,02	AB	b	3078,66	AB	a
G9	3110,03	AB	a	2619,36	AB	a	3538,66	AB	a
G10	3945,15	A	a	1940,53	AB	b	3234,66	AB	a
G11	2544,42	AB	a	2597,73	AB	a	3438,66	AB	a
G12	3171,15	AB	a	1914,99	AB	b	3149,33	AB	a
G13	3423,01	AB	a	2598,65	AB	a	3444,00	AB	a
G14	2860,52	AB	ab	2358,49	AB	b	3666,66	AB	a
G15	3367,33	AB	a	2605,77	AB	a	2790,66	AB	a
G16	3265,49	AB	a	2586,94	AB	a	3045,33	AB	a
G17	3301,57	AB	a	2364,45	AB	a	3405,33	AB	a
G18	3263,45	AB	a	2989,79	AB	a	3777,33	A	a
G19	2637,95	AB	a	2286,65	AB	a	2332,00	B	a
G20	2823,44	AB	ab	2028,04	AB	b	3270,66	AB	a

G21	2902,42	AB	a	2418,01	AB	a	2832,00	AB	a
G22	3042,73	AB	a	1646,66	B	b	3001,33	AB	a
G23	3400,07	AB	a	2053,76	AB	b	2404,00	AB	ab
G24	2526,42	B	b	2225,85	AB	b	3646,66	AB	a
Média Geral	3056,65	AB	a	2352,52	AB	a	3139,75	AB	a
CV (%)	9,17			11,92			8,93		

Nas linhas, médias ligadas por mesma letra minúscula em comum e, nas colunas, médias ligadas por mesma letra maiúscula em comum não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott, com nível de significância de 5% de probabilidade.

Tabela 7. Médias de Produtividade (kg ha⁻¹) para cada genótipo de soja e Interação Genótipos x Ambientes no ano agrícola 2019/2020.

Genótipo	Média de produtividade								
	Jaboticabal			Pindorama			Piracicaba		
G1	3602,237	ABC	a	1063,770	AB	b	3358,370	AB	a
G2	3435,903	ABC	a	1493,507	AB	b	3631,990	A	a
G3	4047,127	AB	a	1330,813	AB	b	3625,900	A	a
G4	3699,027	ABC	a	1600,283	AB	b	3205,690	AB	a
G5	3072,373	BC	b	1570,637	AB	c	4183,947	A	a
G6	3539,413	ABC	a	1805,280	AB	b	2017,040	B	b
G7	3505,740	ABC	a	1730,303	AB	b	3684,427	A	a
G8	3692,790	ABC	a	1252,057	AB	b	3621,800	A	a
G9	4313,757	AB	a	1434,313	AB	b	4014,907	A	a
G10	3761,857	ABC	a	1442,907	AB	b	4053,757	A	a
G11	3924,607	ABC	a	1128,933	AB	b	3887,987	A	a
G12	3438,487	ABC	a	1358,107	AB	b	3243,523	AB	a
G13	3968,280	ABC	a	1771,720	AB	b	3902,760	A	a
G14	3223,307	ABC	a	1643,810	AB	b	3757,615	A	a
G15	3927,813	ABC	a	1175,960	AB	b	4101,610	A	a
G16	2553,733	C	a	1552,327	AB	b	3243,087	AB	a
G17	4605,080	A	a	1227,767	AB	b	3917,857	A	a
G18	3770,250	ABC	a	1828,723	AB	b	3093,045	AB	a
G19	3472,307	ABC	a	1680,817	AB	b	3044,333	AB	a
G20	3587,450	ABC	a	2054,410	A	b	3896,380	A	a
G21	3652,107	ABC	a	851,003	B	b	3248,047	AB	a
G22	3474,237	ABC	a	1694,183	AB	b	3547,760	A	a
G23	4110,713	AB	a	1100,117	AB	b	3852,857	A	a
G24	3373,120	ABC	a	1398,997	AB	b	3068,680	AB	a
Média Geral	3656,321	ABC	a	1466,281	AB	b	3550,140	A	a
CV (%)	6,481			16,160			6,675		

Nas linhas, médias ligadas por mesma letra minúscula em comum e, nas colunas, médias ligadas por mesma letra maiúscula em comum não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott, com nível de significância de 5% de probabilidade

No ano agrícola de 2018/2019 destacaram-se os genótipos 10 (em Jaboticabal), 5 (em Pindorama) e 18 (em Piracicaba) por altos potenciais produtivos (Tabela 6). Os genótipos que se destacaram em produtividade para o ano agrícola de 2019/2020 foram o 17 (em Jaboticabal), 20 (em Pindorama) e 5 (em Piracicaba) (Tabela 7).

Comparando os resultados do ensaio experimental de VCU do presente trabalho com dados de cultivo comercial, observa-se que entre os genótipos 1, 4 e 19 de menores valores de Ciclo, apenas os genótipos 1 e 4 alcançaram produtividades superiores à produtividade média nacional da cultura da soja no mesmo ano agrícola de 3.273 kg ha⁻¹ (Conab, 2020) nos locais Jaboticabal e Piracicaba. Tal fato ressalta a possibilidade de utilização de genótipos precoces e de elevado potencial produtivo no sistema de semeadura direta sobre a palhada da cana-de-açúcar.

4.3 Modelos Aditivos com Interação Multiplicativa (AMMI)

Na análise de variância AMMI para Ciclo (dias, Tabela 8) e Produtividade Corrigida (kg ha⁻¹, Tabela 9), os genótipos, locais e interação GA apresentaram efeitos significativos.

Tabela 8. Análise de variância AMMI para Ciclo (dias) de 24 genótipos de soja testados em 6 ambientes (combinação de três locais e dois anos). Anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020.

Fonte de Variação	GL	QM	Valor F	Pr(>F)	Proporção variância	Variância Acumulada
AMB	5	3708.65	429.117	4.31 ^{-13**}	-	-
REP (AMB)	12	8.64	0.951	4.97 ^{-01 ns}	-	-
GEN	23	337.20	37.088	1.03 ^{-70**}	-	-
GEN:AMB	115	37.52	4.126	4.47 ^{-22**}	-	-
PC1	27	89.11	9.800	0.00 ^{0+00 **}	55.8	55.8
PC2	25	33.43	3.680	0.00 ^{0+00 **}	19.4	75.1
PC3	23	27.07	2.980	0.00 ^{0+00 **}	14.4	89.6
PC4	21	14.91	1.640	4.05 ^{-02 ns}	7.3	96.8
PC5	19	7.24	0.800	7.07 ^{-01 ns}	3.2	100
Resíduos	275	9.09	-	-	-	-
Total	545	68.87	-	-	-	-

*Significativo a 5% de probabilidade, **Significativo a 1% de probabilidade, ns: não significativo, AMB: Ambiente, REP: Repetição, GEN: genótipo, PC: Componente Principal, GL: Graus de Liberdade, QM: Quadrados Médios. Dados representados por hífen não apresentam valores.

Tabela 9. Análise de variância AMMI para Produtividade Corrigida (kg ha⁻¹) de 24 genótipos de soja testados em 6 ambientes (combinação de três locais e dois anos). Anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020.

Fonte de Variação	GL	Méd Qds	Valor F	Pr(>F)	Proporção variância	Variância Acumulada
AMB	5	49757.536	116.36	9.73 ^{-10**}	-	-
REP (AMB)	12	427.613	1.62	8.66 ^{-02 ns}	-	-
GEN	23	585.055	2.21	1.48 ^{-03**}	-	-
GEN:AMB	115	380.988	1.44	8.31 ^{-03**}	-	-
PC1	27	563.939	2.13	1.30 ^{-03**}	34.8	34.8
PC2	25	414.111	1.57	4.42 ^{-02 *}	23.6	58.4
PC3	23	362.518	1.37	1.24 ^{-01 ns}	19	77.4
PC4	21	285.269	1.08	3.69 ^{-01 ns}	13.7	91.1
PC5	19	205.579	0.78	7.31 ^{-01 ns}	8.9	100
Resíduo	276	264.574	-	NA	-	-
Total	546	783.928	-	NA	-	-

*Significativo a 5% de probabilidade, **Significativo a 1% de probabilidade, ns: não significativo, AMB: Ambiente, REP: Repetição, GEN: genótipo, PC: Componente Principal, GL: Graus de Liberdade, QM: Quadrados Médios. Dados representados por hífen não apresentam valores.

Para as características Ciclo e Produtividade, o efeito de ambiente foi responsável pela maior parte da variação, seguido pelos efeitos de genótipo e interação GA. Uma grande variação de ciclo e produtividade explicada pelos ambientes indica que os ambientes foram diversos, causando a maior parte da variação no Ciclo e produtividade dos genótipos. A variância acumulada até o terceiro componente principal foi de 89,6 para Ciclo (Tabela 8) e de 77.4 para Produtividade (Tabela 9), indicando a acurácia da metodologia utilizada.

Os quatro primeiros componentes principais de interação (PCs) alocaram parcela significativa da variabilidade, sendo responsáveis por um total de 96,8% da soma do quadrado da interação para Ciclo e 91,1% para Produtividade. Para o Ciclo, o primeiro eixo do componente principal (PC1) da interação incluiu 55,8% da soma do quadrado da interação GA, enquanto PC2 e PC3 explicaram mais 19,4% e 14,4%, respectivamente. Os três primeiros PCs, juntos, explicaram 89,6% da variabilidade no ciclo dos vinte e quatro genótipos testados nos dois anos agrícolas e nos três locais. Os PCs 4 e 5 representaram 7,3 e 3,2%, respectivamente, da soma de quadrados da interação GA (Tabela 8).

Dessa forma, os três primeiros eixos do componente principal de interação foram suficientes e necessários para explicar a soma dos quadrados da interação para

ambas variáveis, Ciclo e produtividade. A quantidade de ruído presente na interação GA foi de apenas 10,5% para Ciclo e 22,6% para Produtividade (Tabelas 8 e 9). Isso sugere que o modelo AMMI com os dois primeiros componentes principais de interação GA foi adequado para avaliar a variação de ciclo e também da produtividade dos 24 genótipos de soja, avaliados nos 6 ambientes. Os dois primeiros componentes de interação também foram capazes de explicar a soma dos quadrados da interação GA em análises de interação multiplicativa de variedades de soja (Asfawl et al., 2009; Amira et al., 2013; Cucolotto et al., 2007).

Ademais, o valor de estabilidade AMMI (ASV) também foi calculado para determinar a estabilidade dos genótipos (Tabela 10). O ASV é a distância do ponto coordenado à origem em uma pontuação bidimensional do PC1 contra os escores do PC2 no modelo AMMI (Purchase et al., 2000).

O valor de estabilidade AMMI (ASV) dos genótipos na análise AMMI indicaram maior estabilidade para a característica Ciclo em comparação à Produtividade, que variou de 0,28 a 5,24 para o ciclo e 1,44 a 29,66 para produtividade (Tabela 10). Menores valores de ASV indicam mais estabilidade dos genótipos nos ambientes testados. Portanto, menor estabilidade considerando o caractere produtividade em comparação ao Ciclo reflete a natureza altamente complexa do primeiro quanto ao número de genes que controla a característica.

A fim de visualizar melhor a estabilidade considerando ambas características, construímos um Ranking para avaliar a estabilidade, organizando os genótipos por ASV para ciclo, seguido de ASV para produtividade. Dessa forma, os genótipos 3, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18 e 24 apresentaram valores ASV de Ciclo abaixo da média dos 24 genótipos avaliados. Para produtividade, os valores ASV abaixo da média geral foram exibidos pelos genótipos 1, 2, 4, 7, 9, 12, 13, 19, 20, 21 e 22 (Tabela 10).

As três primeiras posições do Ranking indicam os genótipos 10, 9 e 2, respectivamente, como os mais estáveis considerando as condições de construção do Ranking. Também é importante destacar que os genótipos 2, 9 e 10 possuem valores ASV abaixo da média geral para as duas principais características da soja considerando o interesse para uso no sistema de rotação Soja x Cana (Ciclo e

produtividade), ressaltando a estabilidade dos genótipos nos ambientes avaliados (Tabela 10).

Tabela 10. Valor de estabilidade AMMI (ASV) para as características Ciclo (dias) e Produtividade Corrigida (kg ha^{-1}) e Ranking considerando menores ASV para ciclo seguido de menores ASV para produtividade considerando os 24 genótipos testados.

Genótipo	ASV Ciclo	ASV Produtividade	Ranking
1	4,53	8,09	18
2	5,14	7,64	23
3	2,27	16,14	11
4	3,61	5,57	16
5	2,64	24,19	12
6	4,55	27,62	19
7	2,82	5,04	14
8	0,86	16,19	5
9	0,45	12,36	2
10	0,28	22,85	1
11	0,58	15,55	4
12	0,55	3,38	3
13	2,66	1,44	13
14	2,18	14,65	10
15	1,96	17,79	9
16	3,2	27,98	15
17	1,06	24,21	7
18	0,98	19,53	6
19	5,06	9,8	22
20	4,79	4,51	20
21	4,32	4,46	17
22	4,97	5,72	21
23	5,24	29,66	24
24	1,27	20,47	8
Média	2,74	14,36	

Os genótipos e ambientes foram representados como pontos em um plano no biplot AMMI para identificar genótipos adequados que combinem Ciclo curto e desempenho estável (Figura 2), bem como genótipos de alto potencial produtivo e estabilidade (Figura 3) em uma gama de ambientes de produção. O eixo x indica a variável de interesse, sendo o Ciclo (dias) na Figura 2a e a Produtividade na Figura 3a. O eixo y representa o primeiro termo do eixo de análise de componentes principais

(PC1, Figuras 2a e 3a). A linha horizontal no gráfico mostra a pontuação zero de PC1 enquanto a linha vertical indica a média geral das variáveis Ciclo (Figura 2a) e Produtividade (Figura 3a).

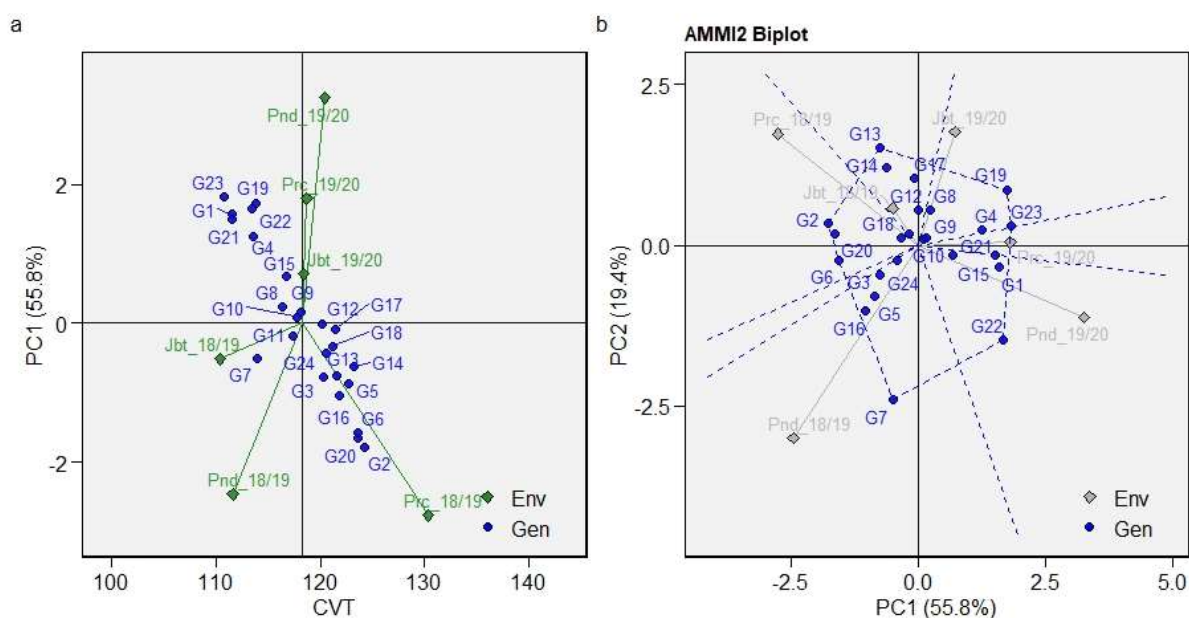


Figura 2. Análise biplot AMMI indicando (a) os efeitos principais e de interação (PC1) de genótipos e ambientes sobre o Ciclo e (b) PC1 e PC2 dos ambientes e genótipos baseados no Ciclo. PC: eixo de análise de componentes principais. CVT: Ciclo (dias). As abreviações de ambientes e genótipos estão apresentadas no item *Material e Métodos*.

Os genótipos com valores PC1 próximos de zero para Ciclo (G8, G9, G10, G12 e G17) expressam adaptação geral. Valores de PC1 maiores representam uma adaptação mais específica a ambientes com maiores valores PC1 do mesmo sinal. Considerando o Ciclo, uma adaptação mais específica de genótipos a ambientes foi observada para os genótipos G2 e G20 na localidade Piracicaba no ano agrícola 2018/2019 (Figura 2a).

O padrão de interação dos 24 genótipos de soja com 6 ambientes está exibido nas Figura 2b e 3b. O deslocamento ao longo do eixo vertical indica diferenças de interação GA enquanto ao longo do eixo horizontal indica diferença nos efeitos principais do genótipo e do ambiente. Os genótipos G12, G17 e G10 mais próximos da origem (0, 0), expressaram comportamento que indica baixa interação sobre

ambientes ou dos ambientes sobre genótipos para Ciclo (Figura 2b). Por outro lado, os genótipos localizados nos extremos do gráfico (07 e 13 para a característica Ciclo, Figura 2b) expressam um comportamento altamente interativo (positiva ou negativamente), sendo que G7 e G13 estão localizados em pares, indicando um padrão de resposta semelhante para Ciclo.

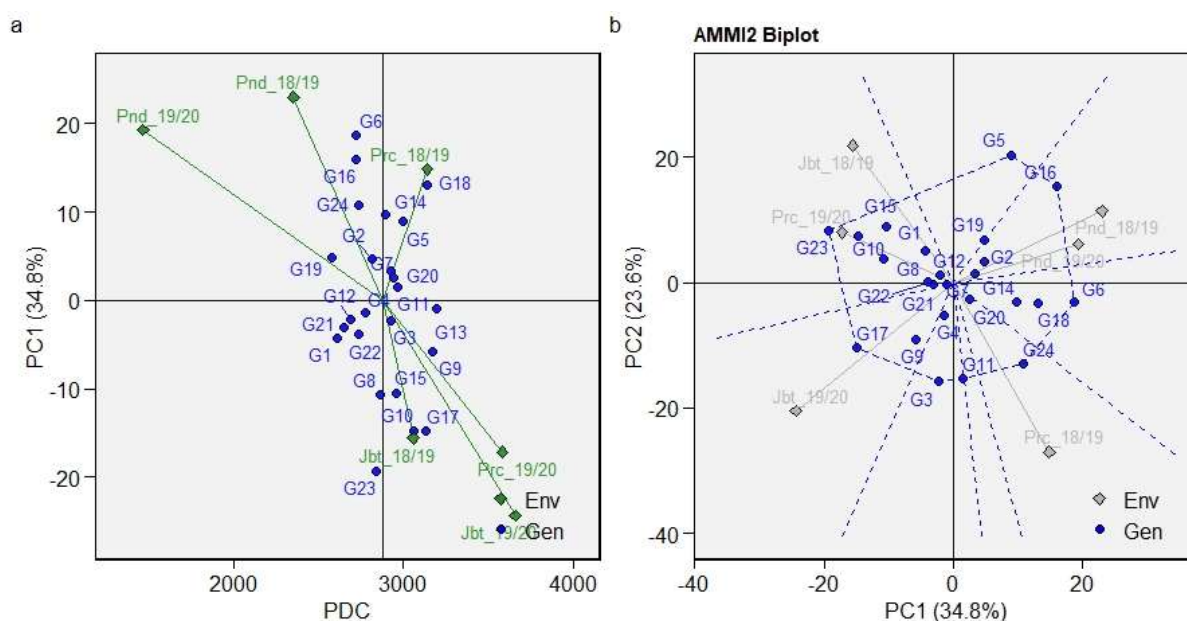


Figura 3. Análise biplot AMMI indicando (a) os efeitos principais e de interação (PC1) de genótipos e ambientes sobre a Produtividade e (b) PC1 e PC2 dos ambientes e genótipos baseados na Produtividade. PC: eixo de análise de componentes principais. PDC: Produtividade (kg ha^{-1}). As abreviações de ambientes e genótipos estão apresentadas no item *Material e Métodos*.

Para a característica Produtividade, expressam adaptação geral os genótipos G4, G11, G12 e G20), enquanto os genótipos G6 e G16 se mostraram mais adaptados à localidade Pindorama em ambos os anos agrícolas (Figura 3a). O padrão que indica baixa interação sobre ambientes ou dos ambientes sobre genótipos foi observado para os genótipos G7, G8, G12 e G21 considerando a característica Produtividade. De forma contrastante, os genótipos 3 e 11 localizados nos extremos do gráfico (Figura 3b) expressam um comportamento altamente interativo (positiva ou negativamente).

Em suma, destacaram-se os genótipos G1 e G4, que apresentaram ciclo curto e desempenhos médios superiores aos demais para a característica produtividade, sendo estáveis para ambas características. Portanto, a combinação de estabilidade, alto rendimento, ciclo curto e capacidade de dar origem a produtos de alto valor agregado apresentada pelos genótipos G1 e G4 está mais próxima da ideal para uso no sistema de rotação Soja x Cana, adaptadas a região de cultivo e com elevado potencial produtivo.

5. CONCLUSÕES

Não houve diferença estatística entre as médias de Ciclo dos genótipos com relação aos anos agrícolas, mas sim, entre locais e apenas para o ano agrícola 2018/2019.

A combinação de ambiente e ano agrícola que propiciou alcançar médias de produtividade superiores das demais foi o ambiente de Jaboticabal no ano 2019/2020 e o ambiente de Pindorama no ano 2019/2020 foi inferior com relação aos demais.

Nós destacamos os genótipos de soja G1 e G4 por apresentarem, nas condições experimentais avaliadas, superior desempenho médio para as características desejadas de alto potencial produtivo, ciclo curto e estabilidade, adequadas para as condições de rotação de culturas na reforma de canaviais no Estado de São Paulo.

Os genótipos selecionados podem ser indicados para o processo de registro e proteção de cultivares para o sistema de rotação soja x cana avaliado.

6. REFERÊNCIAS

Aita C, Giacomini SJ (2003) Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 27:601-612.

Aita C, Giacomini SJ, Hübner AP, Chiapinotto IC, Fries MR (2004) Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I – Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 28:739-749.

Ambrosano EJ, Cantarella H, Ambrosano GMB, Schammas EA, Dias FLF, Rossi F, Trivelin PCO, Muraoka T, Sachs RCC, Azcón R (2011) Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia** 70:810-818

Amira JO, Ojo DK, Ariyo OJ, Oduwaye OA, Ayo-Vaughan MA (2013) Relative discriminating powers of GGE and AMMI models in the selection of tropical soybean genotypes. **African Crop Science Journal** 21:67-73.

Asfaw A, Alemayehu F, Gurum F, Atnaf M (2009) AMMI and SREG GGE biplot analysis for matching varieties onto soybean production environments in Ethiopia. **Scientific Research and Essays** 4:1322-1330.

XXX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil (2008) **Resumos...** Rio Verde, 45 p.

Borges WLB, Hipólito JL (2013) Desempenho de Cultivares de Soja em Palhada de Cana-De-Açúcar no Noroeste Paulista. **Nucleus**. Edição Especial:43-56.

BRASIL - Presidência da República (2017) Decreto Nº 2.366, de 5 de Novembro de 1997. Regulamenta a Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997, que institui a Proteção de Cultivares, dispõe sobre o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares - SNPC, e dá outras providências. <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1997/decreto-2366-5-novembro-1997-445066-norma-pe.html>

CAPELARI Jr L, RODRIGUES RR, SOUZA V (1999) Apostila de botânica sistemática. Piracicaba: Departamento de Ciências Biológicas, ESALQ/USP 95p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Ano agrícola Brasileira de Grãos (2020). Brasília, (Série Manuais).

Conte AM, dos Santos KH, Miglioranza E, Gomes CJA, Marchione MS (2013) Avaliação de atributos físicos do solo em diferentes anos de cultivo de cana-de-açúcar. **Agrarian** 6:415-422.

Crossa J, Gauch Jr HG, Zobel RW (1990) Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. **Crop science** 30:493-500.

Cucolotto M, Pípolo VC, Garbuglio DD, Junior NDSF, Destro D, Kamikoga MK (2007) Genotype x environment interaction in soybean: evaluation through three methodologies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 7:270-277

CultivarWeb A (2021) Registro e Proteção Nacional de Cultivares <http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/index.php>

CultivarWeb B (2021) Consulta Pública de Cultivares Registradas – Soja. http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php

da Silva RSD (2019) Avaliação técnica da utilização do óleo fúsel, subproduto da produção de etanol da cana-de-açúcar: revisão.

de Souza Lima DL, Bott R, de Bello RD, Nemoto MCM, Faria FA (2019) Desempenho Produtivo de Soja em Áreas de Rotação com Cana-De-Açúcar. **Ciência & Tecnologia** 11:33-40.

dos Santos HP, Fontaneli RS, PIRES J, Lampert EA, Vargas AM, Verdi AC (2014). Rendimento de grãos e características agronômicas de soja em função de sistemas de rotação de culturas. **Bragantia**, 1-11.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil (2005) Londrina: Embrapa Soja - Fundação Meridional, 239p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil (2013). Londrina, 265 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2014) O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 70 p

EMBRAPA Meio-Norte (2016) II Jornada Científica **Anais** Teresina, 126 p.

Fancelli AL (2009). Pesquisas certificam espécies para rotação de culturas. **Revista Visão Agrícola** 9:17-20.

Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA, Ferreira MEB (2020) Package 'ExpDes. pt'. doi: 10.4236/am.2014.519280

Fehr WR, Caviness CE (1977) Stages of soybean development.

Finoto EL, Bolonhezi D, Soares MBB, Martins ALM (2012) Produção de soja RR e ocorrência de plantas daninhas em áreas de reforma de cana crua com diferentes manejos na destruição da soqueira. **Pesquisa & Tecnologia** 2:1-9.

Kaster M, Farias JRB (2012) Regionalização dos testes de Valor de Cultivo e Uso e da indicação de cultivares de soja-terceira Aproximação. Londrina: Embrapa Soja Documentos (INFOTECA-E).

Malavolta E, Haag HP (1964) Cultura e adubação da cana-de-açúcar. Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo: Brasil, 51p

Marchetti MM, Barp EA (2015) Efeito rizosfera: a importância de bactérias fixadoras de nitrogênio para o solo/planta–revisão. **Ignis: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação** 1:61-71.

MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Requisitos Mínimos para Determinação do Valor de Cultivo e Uso de Soja (*Glycine max*) para Inscrição no Registro Nacional de Cultivares (2018).

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2021). Formulários para Registro de Cultivares. (<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/registro-nacional-de-cultivares-2013-rnc-1/arquivos/SOJAGLYCINEMAX.doc>)

Mylona P, Pawlowski K, Bisseling T (1995) Symbiotic nitrogen fixation. **The Plant Cell** 7:869. doi: 10.1105/tpc.7.7.869.

Oliveira TBA, Selig PM, Barbosa VM, de Souza Campos LM, Bornia AC, de Oliveira MW (2012) Tecnologia e custos de produção de cana-de-açúcar: um estudo de caso em uma propriedade agrícola. **Latin American Journal of Business Management**, 3:1.

Oliveira AF, Pereira CN, Vieira PA (2012) Análise da Rotação de Grãos na Área de Reforma de Canavial. **Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. EMBRAPA, Campinas, Brasil. 1-13

Pavão MA, Alencar LD, Zanella CA, de Moraes JPG, Cardoso JC (2015) Cultivo e produção de soja em reforma de canavial. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente** 2:17-25.

Penariol, A (2000) Soja: Cultivares no lugar certo. **Cultivar** 16:31-32.

Purchase JL, Hatting H, Van Deventer CS (2000) Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. **South African Journal of Plant and Soil** 17:101-107.

RAICHER G (2011) **Análise econômica da produção de polímeros biodegradáveis no contexto de uma biorefinaria a partir de cana-de-açúcar**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>

Sarkar D, Sarkar MD, KernSmooth S (2015) Package 'lattice'. **Lattice Graphics Version** 0:20-30.

TANIMOTO OS (2002) Plantio direto de soja sobre a palhada de cana-de-açúcar. Campinas: CATI. 18 p.

USDA, United States Department of Agriculture (2020). World Agricultural Production.

Zobel RW, Wright MJ, Gauch Jr HG (1988) Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy journal**, 80:388-393.