

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM BIOENERGIA

Maghnom Henrique Melo

**POTENCIAL DE CULTIVARES DE SOJA PARA PRODUÇÃO DE
BIOCOMBUSTÍVEL**

Ponta Grossa
2018

MAGHNOM HENRIQUE MELO

**POTENCIAL DE CULTIVARES DE SOJA PARA PRODUÇÃO DE
BIOCOMBUSTÍVEL**

Dissertação apresentada para obtenção de título de mestre em Bioenergia na Universidade Estadual de Ponta Grossa, área de Biocombustíveis.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia.
Coorientadora: Prof. Dra. Maria Elena Payret Arrúa.

Ponta Grossa

2018

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

Melo, Maghnom Henrique
M528 Potencial de cultivares de soja para
 produção de biocombustível/ Maghnom
 Henrique Melo. Ponta Grossa, 2018.
 51f.

 Dissertação (Mestrado em Bioenergia -
 Área de Concentração: Biocombustíveis),
 Universidade Estadual de Ponta Grossa.
 Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio
 Garcia.
 Coorientadora: Prof^a Dr^a Maria Elena
 Payret Arrúa.

 1.Índice de acidez. 2.Densidade.
 3.Glycine max. 4.Teor de óleo. 5.Teor de
 proteína. I.Garcia, Luiz Cláudio. II.
 Payret Arrúa, Maria Elena. III.
 Universidade Estadual de Ponta Grossa.
 Mestrado em Bioenergia. IV. T.

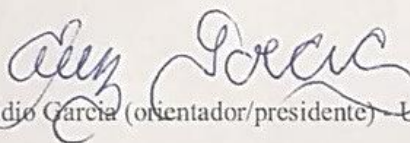
CDD: 665.3

TERMO DE APROVAÇÃO

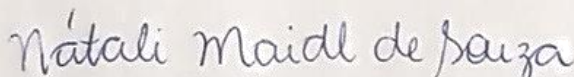
MAGHNOM HENRIQUE MELO

“POTENCIAL DE CULTIVARES DE SOJA PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTIVEL”

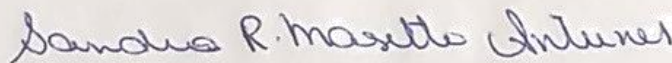
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-graduação em Bioenergia, área de concentração em Biocombustíveis, da Universidade Estadual de Ponta Grossa pela banca examinadora abaixo assinada:



Prof. Dr. Luiz Claudio Garcia (orientador/presidente) – UEPG/Ponta Grossa - PR



Prof. Dr. Nátali Maidl de Souza (membro) – Emater/Ipiranga – PR



Prof. Dr. Sandra Regina Masetto Antunes (membro) – UEPG/Ponta Grossa - PR Ponta Grossa,

Ponta Grossa, 23 de fevereiro de 2018

Aos meus pais Rafael e Magda, pela minha educação, pelo esforço em me propiciar as oportunidades e pela constante dedicação.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida concebido a mim e a Nossa Senhora Aparecida pelas bênçãos alcançadas.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) por possibilitar a realização do Curso de Pós-Graduação em Bioenergia.

Ao Professor Dr. Luiz Cláudio Garcia, pela orientação que possibilitou a realização deste trabalho, pelos ensinamentos e oportunidades oferecidas; que considero de essencial importância para a minha formação.

Aos Docentes do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia pela contribuição na minha formação profissional. Em especial a professora Dra. Maria Elena Payret Arrua, pela coorientação na realização deste trabalho.

A Castrolanda Cooperativa Agroindustrial pelo fornecimento das sementes para a realização deste trabalho.

Aos funcionários da Fazenda Escola Capão da Onça (Fescon), da UEPG pelo apoio na condução deste trabalho. Agradeço ao Complexo de Laboratórios Multiusuários (C-labmu) da UEPG, pela possibilidade de usar os equipamentos necessários para a realização deste trabalho.

Aos colegas de profissão, Eng.^{os} Agr.^{os} Fabrício Siqueira Hennipman e Wellington Massinham, pela amizade e pelo apoio na implantação deste trabalho. Ao colega de trabalho e de mestrado, Eng.^o Agr.^o Eduardo Lebarbenchon de Miranda, pelo companheirismo e pelo auxílio em todas as etapas deste trabalho. Aos colegas do Laboratório de Análise de Combustíveis e Biocombustíveis (Lacbio) da UEPG, pelo auxílio e ensinamentos nas análises deste trabalho. Aos colegas do Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama) da UEPG, pelo companheirismo e em especial aos Professores Dr. Pedro Henrique Weirich Neto e Carlos Hugo Rocha, pela oportunidade de me permitir fazer parte desta grande equipe multidisciplinar que é o Lama.

A minha namorada Rafaella Ragugnetti, pelo apoio e compreensão em todos os momentos.

À minha família pelo carinho, compreensão e apoio que sempre me concederam, me auxiliando em todas as etapas da vida.

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar,
não seremos capazes de resolver os problemas causados
pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

(Albert Einstein)

MELO, Maghnom Henrique. *Potencial de cultivares de soja para produção de biocombustível*. 2018. 51 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018.

RESUMO

Dentro do atual contexto energético mundial, é crescente a discussão sobre fontes alternativas e renováveis às fontes tradicionais e fósseis de energia. No Brasil, vale destacar a adoção de biocombustíveis em motores de combustão interna, como a utilização do biodiesel como alternativa na substituição de petrodiesel, que é derivado do petróleo. Como existem inúmeras cultivares de soja utilizadas no Brasil, faz-se necessário caracterizá-las para teor de óleo e proteína, a fim de auxiliar a indústria na tomada de decisão de quais materiais adquirir de acordo com as finalidades de produção (óleo ou farelo de soja) e também propiciar ao produtor obter valor diferenciado para o seu produto, aumentando os lucros deste. Objetivou-se determinar valores qualitativos e quantitativos dos grãos de diferentes cultivares de soja. O delineamento experimental utilizado foi em blocos aleatorizados. Os tratamentos consistiram em 12 cultivares: NS 5959 IPRO®, NS 6906 IPRO®, M 5705 IPRO®, M 6410 IPRO®, BRS 1003 IPRO®, BRS 1001 IPRO®, FTR 2155 RR®, TMG 7062 IPRO®, TMG 7262 IPRO®, BS 2606 IPRO®, Brasmax Garra IPRO® e 96Y90®. O experimento foi instalado no município de Ponta Grossa, estado do Paraná, safra 2016/17. Foi realizada extração a quente do óleo utilizando um hidrocarboneto como solvente (hexano) em aparelho do tipo Soxhlet. A determinação do índice de acidez foi feita através de titulação de amostra com solução aquosa de hidróxido de potássio. A densidade do óleo foi determinada através de densímetro digital na temperatura de 20° C. O teor de proteína foi determinado pelo método de digestão semi-micro-Kjeldahl. Concluiu-se que o índice de acidez do óleo, variou de 1,6 a 15,7 mg KOH g⁻¹ de óleo e a densidade do óleo variou de 915 a 921 kg m⁻³ entre as cultivares. O teor de óleo dos grãos de soja e de proteína variou de 156 a 179 g de óleo kg⁻¹ de massa de grãos e de 336 a 291 g de proteína kg⁻¹ de grãos, respectivamente. Das variáveis analisadas não houve diferenças significativas entre as cultivares para teor de óleo e de proteína, houve três cultivares com índice de acidez do óleo acima do aceitável pela indústria e a densidade do óleo de todas as cultivares estudadas ficaram acima do limite inferior estabelecido por normas.

Palavras-chave: Índice de acidez. Densidade. *Glycine max*. Teor de óleo. Teor de proteína

MELO, Maghnom Henrique. *Potential of soybean cultivars for the production of biofuel*. 2018. 51 f. Dissertation (Master in Bioenergy), State University of Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018.

ABSTRACT

Within the current global energy context, the discussion on alternative and renewable sources to traditional sources and fossil fuels is growing. In Brazil, it is worth mentioning the adoption of biofuels in internal combustion engines, such as the use of biodiesel as an alternative in the substitution of petrodiesel, which is derived from petroleum. As there are numerous soybean cultivars used in Brazil, it is necessary to characterize them for oil and protein content, in order to assist the industry in making the decision of which materials to acquire according to production purposes (soy oil or soybean meal) and also provide the producer with differentiated value for their product, increasing their profits. The objective was to determine the oil acidity and density index, oil and protein content of soybean grains extracted from different cultivars in the Campos Gerais region. The experimental design was randomized blocks. The treatments consisted of 12 cultivars: NS 5959 IPRO[®], NS 6906 IPRO[®], M 5705 IPRO[®], M 6410 IPRO[®], BRS 1003 IPRO[®], BRS 1001 IPRO[®], FTR 2155 RR[®], TMG 7062 IPRO[®], TMG 7262 IPRO[®], BS 2606 IPRO[®], Brasmax GARRA IPRO[®] and 96Y90[®]. The experiment was installed in the municipality of Ponta Grossa, state of Paraná, harvest 2016/17. Hot oil extraction was performed using a hydrocarbon solvent (hexane) in Soxhlet type apparatus. The determination of the acid number was done by titrating the sample with aqueous solution of potassium hydroxide. The density of the oil was determined by a digital densimeter at a temperature of 20° C. The protein content was determined by the semi-micro-Kjeldahl digestion method. The measured variables were submitted to F and Scott-Knott tests, with a confidence level higher than 95% of probability. The acid value of the oil varied from 1.6 to 15.7 mg KOH g⁻¹ of oil and the oil density ranged from 915 to 921 kg m⁻³ between the cultivars. The oil content of the soybean and protein grains ranged from 156 to 179 g of oil kg⁻¹ of grain mass and 336 to 291 g of kg⁻¹ of grain protein, respectively. Of the analyzed variables there were no significant differences between the cultivars for oil and protein content, there were three cultivars with an oil acid value above the industry acceptable and the oil density of all cultivars studied were above the lower limit established by standards .

Keywords: Acidity index. Density. *Glycine max*. Oil content. Protein content

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Composição química básica dos triacilgliceróis.....	22
FIGURA 2 - Dados meteorológicos e médias históricas de temperatura média, máxima e mínima; precipitação; umidade relativa do ar e vento na Fazendas Escola Capão da Onça, na safra 16/17, Ponta Grossa – PR.....	30
FIGURA 3 - Conjunto extrator Soxhlet com amostra de soja triturada.....	32

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Parâmetros de qualidade do biodiesel de acordo com a Resolução ANP N ° 20, DE 20 de outubro de 2014.....	21
TABELA 2 -	Composição de ácidos graxos do óleo de soja [<i>Glycine max</i> (L.) Merrill].....	23
TABELA 3 -	Teor de areia, silte e argila em (g kg ⁻¹) da Fazenda Escola Capão da Onça, município de Ponta Grossa (PR), 2016.....	29
TABELA 4 -	Análise química do solo da Fazenda Escola Capão da Onça, município de Ponta Grossa (PR), 2016.....	30
TABELA 5 -	Rampa de aquecimento de amostras durante digestão sulfúrica em manta aquecedora para determinação de nitrogênio em plantas pelo método de digestão semi-micro-Kjeldahl.....	35
TABELA 6 -	Índice de acidez de óleo de cultivares de soja [<i>Glycine max</i> (L.) Merrill], safra 2016/17, Ponta Grossa – Paraná.....	37
TABELA 7 -	Densidade do óleo vegetal degomado, na temperatura de 20 °C, de cultivares de soja [<i>Glycine max</i> (L.) Merrill], safra 2016/17, Ponta Grossa – Paraná.....	39
TABELA 8-	Teor de óleo de cultivares de soja [<i>Glycine max</i> (L.) Merrill], safra 2016/17, Ponta Grossa – Paraná.....	40
TABELA 9 -	Teores de proteína da massa de grãos de cultivares de soja [<i>Glycine max</i> (L.) Merrill], safra 2016/17, Ponta Grossa – Paraná.....	42
TABELA 10 -	Teores de Proteína Esperada no Farelo (PEF) das cultivares de soja [<i>Glycine max</i> (L.) Merrill], safra 2016/17, Ponta Grossa – Paraná.....	43

LISTA DE SIGLAS

ABIOVE	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
ANEC	Associação Nacional dos Exportadores de Cereais
Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BS	Bayer Sementes
BRS	Brasil Sementes
CDE	Campo Demonstrativo Experimental
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
Fescon	Fazenda Escola Capão da Onça
FTR	Francisco Terasawa
GEE	Gases causadores do Efeito Estufa
Iapar	Instituto Agrônômico do Paraná
IPro®	Tecnologia Intacta RR2 PRO®
M	Monsoy
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NS	Nidera Sementes
PEF	Proteína Esperada no Farelo
PVR	Podridão Vermelha das Raízes
RNC	Registro Nacional de Cultivares
RR	Roundup Ready®
SI	Sistema Internacional de medidas
TMG	Tropical Melhoramento & Genética

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	SOJA.....	14
3.2	PROCESSAMENTO DE GRÃOS DE SOJA.....	15
3.3	INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE.....	16
3.4	CULTIVARES DE SOJA.....	17
3.5	BIODIESEL.....	19
3.6	ÓLEO DE SOJA.....	21
3.6.1	Índice de acidez	23
3.6.2	Densidade.....	24
3.6.3	Teor de óleo.....	25
3.7	PROTEÍNA DE SOJA.....	26
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1	TRATAMENTOS.....	28
4.2	ÁREA EXPERIMENTAL.....	29
4.3	A CULTURA DA SOJA.....	30
4.4	EXTRAÇÃO E ANÁLISES DO ÓLEO E GRÃOS.....	31
4.4.1	Índice de acidez.....	32
4.4.2	Densidade.....	34
4.4.3	Teor de óleo.....	34
4.4.4	Teor de proteína.....	35
4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1	ÍNDICE DE ACIDEZ.....	37
5.2	DENSIDADE.....	39
5.3	TEOR DE ÓLEO.....	40
5.4	TEOR DE PROTEÍNA.....	41
6	CONCLUSÕES.....	44
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

Dentro do atual contexto energético mundial, é crescente a discussão sobre fontes alternativas e renováveis às fontes tradicionais e fósseis. A necessidade da mudança da matriz energética visa diminuir os impactos ambientais provocados pelo uso dos combustíveis fósseis, principalmente na emissão dos gases causadores do efeito estufa.

No Brasil, cada vez mais é destaque a adoção de biocombustíveis em motores de combustão interna, um exemplo é a mistura do biodiesel ao petrodiesel que é uma fonte fóssil de energia. A indústria brasileira de biodiesel utiliza como matéria prima para a produção deste biocombustível, óleos vegetais e/ou gorduras animais. O óleo vegetal mais utilizado pela indústria é o óleo de soja, devido à grande disponibilidade no mercado e a indústria extrusora estar consolidada, suprimindo o mercado interno.

A soja é cultivada visando principalmente a produção de farelo de soja, que é uma fonte importante de proteína. O farelo é muito utilizado na fabricação de ração, compondo a alimentação de suínos e aves. Para que o farelo de soja tenha a quantidade de proteína desejada para a fabricação de ração é realizada a extração do óleo dos grãos, onde a indústria utiliza a prensagem mecânica e posteriormente a extração com solvente (hexano) para se obter o óleo bruto.

A indústria extrusora de óleo de soja adquire matéria prima sem pagamento diferenciado para materiais com maior ou menor teor de óleo. Boa parte da produção de óleo no Brasil é adquirida pela indústria produtora de biodiesel.

Como existem inúmeros genótipos de soja utilizados no Brasil, faz-se necessária a caracterização quanto ao teor de óleo e proteína. Outro fator importante é o índice de acidez do óleo produzido, a fim de auxiliar à indústria na aquisição de materiais de acordo com as finalidades de produção (óleo ou farelo de soja). O agricultor, ao conhecer as características da soja produzida, pode agregar valor à commodity no momento da comercialização.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Objetivou-se, de forma geral, determinar valores qualitativos e quantitativos dos grãos de diferentes cultivares de soja, produzidos na região dos Campos Gerais (PR).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o índice de acidez do óleo das cultivares;
- Determinar a densidade do óleo das cultivares;
- Determinar a(s) cultivar (es) com maior teor de óleo;
- Determinar a(s) cultivar (es) com maior teor de proteína.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SOJA

A soja é uma planta herbácea, da classe Rosidae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae. As principais variedades comerciais apresentam caule híspido, pouco ramificado e raiz com eixo principal e muitas ramificações. As folhas são trifolioladas (exceto o primeiro par de folhas simples). As flores são de fecundação autógama; de cor branca, roxa ou intermediária. As vagens podem conter de um a cinco grãos lisos, elípticos ou globosos, de tegumento amarelo pálido, com hilo preto, marrom ou amarelo-palha. (NEPOMUCENO et al., 2008).

A soja que hoje é cultivada é muito diferente dos seus ancestrais, que eram plantas rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia. Sua evolução começou com o aparecimento de plantas oriundas de cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem que foram domesticadas e melhoradas por agricultores da antiga China. (EMBRAPA, 2015).

A soja vem sendo cultivada na China há pelo menos 3.100 anos, sendo usada para fazer tofu (queijo da proteína) e molho de soja. Ela é uma das mais ricas fontes de nutrientes entre as plantas alimentícias, seus grãos possuem em torno de 45% de proteína e cerca de 18% de óleo. (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007).

Na Europa a soja se tornou conhecida em 1739, quando pela primeira vez foi cultivada no Jardim Botânico de Paris. Nos EUA, a primeira referência sobre seu comportamento foi feita por Mease, em 1804 no estado da Pensilvânia. (CANECHIO FILHO et al., 1987).

A primeira referência sobre soja no Brasil data de 1882, com relatando seu cultivo na Bahia. Em 1908, imigrantes japoneses introduziram soja em São Paulo e em 1914 o professor Foi através da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que a cultura foi introduzida oficialmente no território gaúcho. (MYASAKA; MEDINA, 1981).

O espetacular crescimento da produção de soja no país determinou uma cadeia de mudanças sem precedentes na história da agricultura brasileira. Foi a soja, inicialmente apoiada pelo trigo, a grande responsável pelo estabelecimento da agricultura em larga escala no Brasil. (DALL AGNOL, 2011).

Para a safra 17/18, estima-se uma área cultivada de 35 milhões de hectares,

com produção de cerca de 111 milhões de toneladas. Com destaques para a região Sul, que na safra 16/17 teve a maior produtividade do país, com 3.542 kg ha⁻¹. Neste cenário o estado do Paraná se destaca, com produtividade de 3.731 kg ha⁻¹. (CONAB, 2018).

Excluindo o uso de soja em grão para semeadura e uma pequena quantidade utilizada na produção de produtos sofisticados, mais de 95% da produção mundial de soja é destinada ao processamento pela indústria para a obtenção de farelo e óleo vegetal. (PEREIRA, 2015).

3.2 PROCESSAMENTO DE GRÃOS DE SOJA

Além da produção de farelo e proteína, bem como a semeadura e aplicações especiais, a soja pode ser utilizada na alimentação humana através do consumo dos grãos tostados, assados, brotos de soja, produção de leite de soja, sobremesas, iogurte, sorvete, tofu, tempeh, missô e molho de soja. (MISSÃO, 2006).

O complexo soja no Brasil pode ser utilizado para o consumo interno do produto bruto ou a exportação do mesmo. O grãos também pode ser transformado pela indústria esmagadora, que produz farelo e óleo para utilização interna ou exportação. (SILVA; LIMA; BATISTA, 2011).

A maior parte da soja produzida no Brasil é utilizada na alimentação animal, através do farelo de soja, que é componente na ração animal de aves, caprinos, ovinos, bovinos entre outros, fornecendo aminoácidos aos animais. (KLEIN et al., 2013).

A cultura da soja contribui com cerca de 25% da produção mundial de óleo vegetal. Pode ser utilizado na alimentação humana, indústria têxtil, fabricação de tintas, cosméticos e biocombustíveis. (MEENA; JADON; MEENA, 2015).

Inicialmente os óleos vegetais foram utilizados na forma *in natura* para obtenção de energia; porém, devido ao fato dos óleos vegetais serem muito viscosos, causavam inúmeros problemas em motores diesel. Havendo a necessidade de se diminuir a viscosidade, surgiu a reação de transesterificação, que transforma o óleo vegetal e/ou gordura animal em monoésteres alquílicos (biodiesel). (RAMOS et al., 2011).

No ano de 2015, foram processadas 40,5 milhões de toneladas de soja no Brasil. Assim, pode-se produzir cerca de oito milhões de toneladas de óleo, onde 80%

da produção é destinada ao consumo interno do país. Deste montante, metade do volume foi utilizado na produção de cerca de três milhões de m³ de biodiesel. (ABIOVE, 2016).

3.3 INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE

Para os melhoradores genéticos, pode-se utilizar duas opções para selecionar materiais genéticos: procurar genótipos/variedades com estabilidade e adaptação mais ampla e apontar genótipos/variedades com adaptação específica para cada sub-região. (ADUGNA, 2008).

Para estudar a relação de cultivares de soja com o ambiente, Rocha e Vello (1999), trabalharam com 188 linhagens de soja em três locais distintos no estado de São Paulo. Os autores concluíram que existe interação genótipo x ambiente na produção de grãos, devido a variação no ciclo de maturação e características do local de cultivo.

Comparando o teor de proteína e teor de óleo em grãos de oito cultivares diferentes em oito localidades distintas na região no Mar Negro na Turquia, Arslanoglu; Aytac e Oner (2011) utilizaram o fator genótipo como a principal variável. Comparando as médias, foi possível determinar que houve interação genótipo x ambiente, visto que as mesmas cultivares produziram conteúdos diferentes de proteína e óleo de acordo com o local de cultivo. Como exemplo pode se citar a cultivar AP2292®, que obteve teor de óleo de 18,4% na localidade de Gokhoyuk e na localidade de Erbaa produziu 22,3% de óleo.

Utilizando cultivares em localidades diferentes, durante dois anos na região sul do estado de Wisconsin (EUA), Zhe et al. (2010) afirmam que foi possível identificar diferenças significativas. Através da avaliação de diversos dados, os autores concluíram que houve interação ano/localidade para valores de proteína e genótipo/ano para o teor de óleo. Desta forma, os autores asseguram que diferentes genes são responsáveis para estas características.

Estudando a significância na interação cultivar x ambiente, Monteiro et al. (2016) analisaram a produtividade de óleo oriundo da soja. Os mesmos indicaram comportamentos diferentes de cultivares em ambientes dessemelhantes; onde cultivares com maior estabilidade possuem menores valores de desvio, demonstrando que estas cultivares podem ser indicadas para um maior número de regiões.

3.4 CULTIVARES DE SOJA

O termo cultivar deriva do inglês, “*cultivated variety*”, que significa “variedade cultivada”. Assim é uma variedade de planta que foi selecionada e cultivada pelo homem. Algumas variedades surgem por mutação, cruzamentos de diferentes variedades, híbridos de duas ou mais plantas. (HAYNES, 2008).

Na legislação brasileira, o termo cultivar é definido como a variedade de qualquer gênero ou espécie vegetal superior, que é claramente distinguível de outras cultivares conhecida. A mesma deve ser homogênea e estável, além de passível de uso no complexo agroflorestal. (BRASIL, 1997).

Em maio de 2011 as cultivares registradas de soja no Registro Nacional de Cultivares totalizavam 823, sendo elas 502 cultivares convencionais e 321 cultivares transgênicas. Destaca-se assim, a gama enorme de material genético disponível no país. (LIMA; FILHO, 2011).

Em janeiro de 2018, no Registro Nacional de Cultivares, para a espécie *Glycine max* (L.) Merrill, estavam registradas 1.799 cultivares. Destas, 1.234 são cultivares transgênicas e 565 cultivares convencionais. (RNC, 2018). Houve um acréscimo de 118% no número de cultivares - quando comparado ao ano de 2011 - demonstrando o avanço em novas cultivares de soja no Brasil.

O melhoramento genético é um processo contínuo que desenvolve novas cultivares. O surgimento de novas cultivares propicia o incremento na produtividade, cabendo destacar que as cultivares devem ter boa adaptabilidade aos diferentes ambiente através da interação genótipo x ambiente. (POLIZEL et al., 2013).

Devido as condições edafoclimáticas de muitas regiões do planeta não serem favoráveis para o desenvolvimento das plantas com potencial para produção de biocombustíveis, a biotecnologia se insere como uma das alternativas para aumentar a adaptação, produtividade e qualidade da produção das plantas com potencial energético. (CARRER; BARBOSA; RAMIRO, 2010).

As cultivares de soja RR[®] (Roundup Ready[®]), são resistentes a aplicação do herbicida glyphosate, que atua sobre a enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), essas cultivares são resistentes por que possuem a produção de EPSPS proveniente da *Agrobacterium* sp., que é tolerante a este herbicida, inserido na planta através da tecnologia de transgenia. (PADGETTE, et al., 1995).

As bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp., que são as responsáveis pela

fixação de nitrogênio em simbiose com as plantas de soja, possuem a enzima EPSPS sensível ao herbicida glyphosate. Destaca-se assim, que se deve ter cuidado com a nutrição das plantas ao se utilizar este herbicida. (MOORMAN et al., 1992).

A utilização do glyphosate em plantas RR influencia na nutrição destas, podendo vir a causar efeitos que diminuam a produção das plantas de soja. (ZOBIOLE, et al., 2010).

As cultivares de soja com o evento de biotecnologia IPRO[®], que é chamada de Intacta RR2 PRO[®], além da resistência ao herbicida glyphosate, possuem resistência a lagarta comum da soja (*Anticarsia gemmatilis*), a falsa-medideira (*Rachiplusia includens*) e a broca-das-axilas (*Crociosema aporema*). A resistência aos insetos é conferido ao gene Cry1Ac, oriundo de *Bacillus thuringiensis* (Bt). (CTNBIO, 2010).

O *Bacillus thuringiensis* é uma bactéria inseticida utilizada a muitos anos como biopesticida. Ela libera cristais que possuem proteínas que são conhecidas como endotoxinas delta ou toxinas Cry. Após serem ingeridas por um inseto, estas provocam a destruição das células que revestem a o intestino. (RAYMOND, et al., 2010).

Atualmente o Bt é responsável por cerca de 2% do mercado mundial de inseticidas. Atua sobre a fase larval de diferentes ordens de insetos, causando a morte pela ruptura do tecido do intestino e posterior septicemia causada por outras bactérias; além do Bt. (BRAVO, et al., 2011).

Sistemas de produção de soja no Brasil que utilizam organismos geneticamente modificados (OGM) apresentaram uma rentabilidade energética de até 11% em relação a sistemas convencionais. Tal avaliação leva apenas o balanço energético, não considerando efeitos sobre o ecossistema circundante. (ROMANELLI; NARDI; SAAD, 2012).

Para afirmar e indicar que um determinado material será um bom gerador de energia, faz se necessário a caracterização deste através de análises químicas e da determinação de seu valor calórico. (PAULA et al., 2011).

Ao realizar um ensaio sobre competição de cultivares no estado Tocantins, Barbosa et al. (2011) observaram que cultivares semeadas mais tardiamente tendem a diminuir a produção de grãos e similarmente a diminuição do teor de óleo. Os autores não observaram diferença significativa de teor de óleo entre 21 cultivares em cinco épocas de semeadura diferentes. O teor de óleo nas cultivares variou de 18 a

21%.

Avaliando a interferência na produtividade de óleo do transgene *CP4 EPSPS*, Amorim (2011) notou que não houve diferença de produtividade em diferentes cruzamentos das cultivares transgênicas com convencionais. Porém, a geração F_2 (resultado da autofecundação da geração F_1) originou progênes promissoras para produtividade de óleo (teor maior que 21%). Tal fato foi atribuído pelo auto à superioridade de produção de grãos, que ultrapassou os 5.000 kg ha⁻¹.

Em um trabalho sobre tolerância de cultivares de soja à podridão vermelha das raízes (PVR), Oliveira (2011) realizou cruzamentos de cultivares para avaliar relações genéticas entre produção de óleo e PVR da soja. O autor observou que existe uma baixa correlação genética entre esses fatores. Entretanto, se conseguiu obter progênes com alta produtividade de grãos e óleo (superior a 22% de teor de óleo), com tolerância a PVR.

Ao se avaliar quatro cultivares de soja, Minuzzi et al. (2007) determinaram que não houve diferenças significativas do teor de óleo dentro de cada cultivar; sendo a expressão desta característica apenas resultado do genótipo. Os valores variaram entre 19 e 22% nas quatro cultivares.

Estudando as características agronômicas de oito cultivares de soja na Universidade Federal de Uberlândia, Marques; Rocha e Hamawaki (2008) concluíram que existe uma correlação negativa entre a porcentagem de óleo e a porcentagem de proteína. O alto teor de óleo pode ser associado à floração e maturação precoce, onde maiores temperaturas favorecem maiores teores de óleo. A cultivar Imperial destacou-se pela maior produtividade de grãos (3.682 kg ha⁻¹) e maior teor de óleo (19,5%).

Em experimento com sete cultivares, semeadas em três épocas na região de Uberlândia (MG), Lélis et al. (2010) demonstraram que houveram diferenças significativas. Cultivares semeadas mais precocemente, durante o mês de outubro (12,5%) e início de novembro (14,2%), obtiveram maior teor de óleo quando comparadas as semeadas no mês de dezembro (9,6%).

3.5 BIODIESEL

As recentes crises do petróleo, bem como as altas nos preços, fazem com que os pesquisadores trabalhem com fontes alternativas de combustíveis. A utilização de óleos vegetais em motores de ciclo diesel como combustíveis é antiga. Rudolf

Diesel usou óleo de amendoim para o funcionamento de um de seus motores, em 1900 na Exposição Mundial de Paris. (ALTIN; CETINKAYA; YÜCESU, 2001).

Devido às características físico-químicas dos óleos vegetais, em especial a alta viscosidade e baixo índice de cetano, pode haver problemas na combustão. Desta forma, é necessário a transformação do óleo vegetal em biodiesel. (BLIN, et al., 2013).

O biodiesel é formado por alquilésteres de cadeia linear. É obtido mais comumente através do processo de transesterificação dos triglicerídeos de óleos e gorduras com álcoois de cadeia curta (metanol e etanol), tendo o glicerol como coproduto (LOBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

Biodiesel é o combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, como óleos vegetais puros, utilizados e gorduras animais. É obtido por diferentes processos, como craqueamento, esterificação ou transesterificação. Pode ser utilizado puro ou em misturas com óleo diesel derivado do petróleo, em diferentes proporções. Quando o combustível provém da mistura dos dois óleos, recebe o nome da percentagem de participação do biodiesel. É chamado de B2 quando possui 2% de biodiesel, B20 quando possui 20%, até chegar ao B100, que é o biodiesel puro. (SILVA; FREITAS, 2008).

O método de obtenção de biodiesel que o governo brasileiro incentiva é o de transesterificação. Consiste na reação química de triglicerídeos com álcoois (metanol ou etanol) na presença de um catalisador (ácido, básico ou enzimático), resultando na substituição do grupo éster do glicerol pelo grupo etanol ou metanol. A glicerina é um subproduto da reação, e deve ser purificada antes da venda para se aumentar a eficiência econômica do processo. A produção brasileira de biodiesel deve utilizar o etanol no processo, por ser produzido em abundância e com baixo custo. (BRASIL, 2005).

Nos últimos anos, com a valorização do preço internacional e com a demanda crescente por biodiesel, está havendo maior interesse no aumento do teor de óleo das cultivares de soja. No Brasil, o interesse crescente pelo uso do óleo de soja na produção de biodiesel está estimulando o planejamento de programas de melhoramento de soja direcionado para o desenvolvimento de cultivares com alto teor de óleo nos grãos. (AMORIM, 2011).

A produção e a comercialização do biodiesel no Brasil são regulamentadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), que é uma autarquia federal vinculada ao Ministério de Minas e Energia. A ANP determina alguns

parâmetros de qualidade para o biodiesel, alguns desses parâmetros são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 - Parâmetros de qualidade do biodiesel de acordo com a Resolução ANP N ° 20, DE 20 de outubro de 2014

Característica	Unidade	Limite
Massa específica a 20° C	kg m ⁻³	850 a 900
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² s ⁻¹	3,0 a 6,0
Máximo teor de água	mg kg ⁻¹	200,0
Mínimo teor de éster	% massa	96,5
Máximo índice de acidez	mg KOH g ⁻¹	0,50
Mínimo de estabilidade à oxidação a 110°C	h	6

Fonte: ANP – Agência Nacional do Petróleo (2014)

A temperatura influencia a oxidação e consequentemente a estabilidade do biodiesel. Borsato et al. (2014) observaram que o biodiesel B100 possui uma baixa resistência a oxidação; no entanto, a adição de antioxidantes aumenta a estabilidade. O autor destaca que estudos são necessários para determinar o melhor antioxidante para aumentar a estabilidade do biodiesel.

O teor elevado de ácidos graxos livres presente em determinados óleos vegetais pode influenciar quantitativa e qualitativamente o processo de obtenção de biodiesel. Quando se existe um teor elevado de ácidos graxos livres, faz-se necessário um processo de esterificação prévio; para posteriormente ocorrer a transesterificação. (VIEIRA, et al., 2018).

3.6 ÓLEO DE SOJA

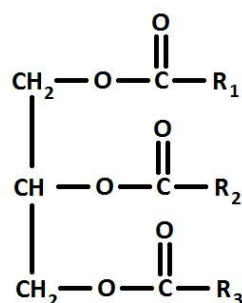
Vários aspectos motivam o estudo dos óleos vegetais como fontes de energia: (i) o seu estado físico (líquido) e o alto valor energético (MJ kg⁻¹ de combustível) em relação a outras biomassas; (ii) podem ser obtidos de diferentes oleaginosas (soja, colza, dendê, etc.); (iii) alta produtividade energética de algumas oleaginosas (Dendê produz acima de 150 GJ ha⁻¹) e (iv) possibilidade da utilização do óleo e seus derivados em motores de alta eficiência da conversão energética em motores de combustão interna. (ALMEIDA NETO, et al., 2000).

Os óleos e gorduras vegetais são definidos como os produtos constituídos

principalmente de glicerídeos de ácidos graxos de espécie (s) vegetal (is). Pode conter quantidades pequenas de outros fosfolipídios, constituintes insaponificáveis e ácidos graxos livres. (ANVISA, 2005).

Quimicamente, os lipídios são triacilgliceróis formados por ácidos graxos saturados ou insaturados (Figura 1). Os ácidos graxos são identificados pelo número de carbonos e de insaturações ou não na cadeia carbônica. (BEWLEY, et al., 2012).

FIGURA1 - Composição química básica dos triacilgliceróis



Fonte: Bewley, et al. (2012)

Os lipídios são substâncias insolúveis em água, que possuem densidade menor que a água, que são solúveis em solventes orgânicos (apolar) e são constituídos por cadeias carbônicas longas. Quando a temperatura de 20° C em estado sólido são denominados gorduras, se líquidos a esta temperatura são chamados de óleos. (GIOIELLI, 1996).

Quando comparada as características bioenergéticas, associada a benefícios ambientais, a soja em relação ao trigo, milho e óleo de palma apresenta menores valores de entradas (*input*¹) de pesticidas, fertilizantes e máquinas agrícolas. Também possui valores inferiores de emissão de gases do efeito estufa (GEE) na sua decomposição e desnitrificação. Ainda, é mais eficiente na reciclagem de nutrientes e utiliza menor taxa de água por unidade de produção, demonstrando seu potencial na geração de energia renovável. (DAVIS et al. 2013).

A composição média do óleo de soja é centrada em cinco ácidos graxos: palmítico, esteárico, oleico, linoleico e linolênico (Tabela 2). Estes representam mais de 95% da composição do óleo de soja e se mantem constantes após a reação de

¹Input: Quantidade de energia usada na produção.

transesterificação. (NETO, et al., 2000).

TABELA 2 - Composição de ácidos graxos do óleo de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]

Nº de carbonos	Ácido graxo	Concentração (%)
C12:0	Láurico	0,1 (máxima)
C14:0	Mirístico	0,2 (máxima)
C16:0	Palmítico	9,9 - 12,2
C16:1 (9)*	Palmitoléico	0,2 (máxima)
C18:0	Estearico	3 - 5,4
C18:1 (9)*	Oleico	17,7 - 26
C18:2 (9,12)*	Linoleico	49,7 - 56,9
C18:3 (9,12,15)*	Linolênico	5,5 - 9,5
C20:0	Araquídico	0,2 - 0,5
C20:1 (5)*	Gadolêico	0,1 - 0,3
C22:0	Behênico	0,3 - 0,7
C22:1	Erúcico	0,3 (máxima)
C24:0	Lignocérico	0,4 (máxima)

* números entre parênteses representam o carbono no qual ocorre a instauração.

Fonte: Neto, et al. (2000)

3.6.1 Índice de acidez

A acidez de óleos acontece devido a hidrólise enzimática que ocorre no fruto ou semente quando estes possuem alta umidade. Assim, o índice de acidez é um indicativo de qualidade do óleo, onde a rancidez dos óleos na maioria das vezes está acompanhada a produção de ácidos graxos livres. (MACHADO; CHAVES; ANTONIASSI, 2015).

O índice de acidez é expresso em mg de KOH para neutralizar os ácidos graxos livres por grama de óleo. Se o índice for $\leq 0,20$ o óleo de soja é do tipo 1, $> 0,20$ e $\leq 0,60$ é do tipo 2. (MAPA, 2006).

Ao se produzir biodiesel através da reação de transesterificação, um fator que pode vir a inviabilizar a produção, é a utilização de matéria prima com elevado teor de acidez. Durante o processo de produção pode levar a formação de sabão, reduzindo o rendimento de biodiesel devido ao consumo de catalisador básico. (SILVA; NETO, 2013). Para se obter biodiesel que atenda as normas da ANP e tenha índice de acidez menor que $0,5 \text{ mg KOH g}^{-1}$, o óleo vegetal ou gordura animal deve possuir índice de acidez no máximo de 1 mg KOH g^{-1} . (GONÇALVES et al., 2009).

A utilização de óleos com acidez elevada, na produção de biodiesel, se aplicado diretamente no processo, sem haver um pré-tratamento, não apresentara separação de fases, éster e glicerina. Isso ocorre pelo consumo excessivo de catalisador básico que age para neutralizar a acidez, faltando assim quantidade suficiente para catalisar a reação de forma eficiente. (GONÇALVES, et al., 2009).

Avaliando características químicas de grãos de soja de oito cultivares na região Sul do estado do Paraná, Costa et al. (2001) obtiveram teores de 18,6% de óleo e 40,8% de proteína. O índice de acidez do óleo foi de 0,44% de ácido oleico, que equivale a 0,88 mg KOH g⁻¹.

O óleo de soja degomado, produzido na Cooperativa Agroindustrial Cocamar, na cidade de Maringá – PR, durante os meses de dezembro de 2012 e junho de 2013, apresentou índice de acidez que variou de 2,20 a 2,24 mg KOH g⁻¹. Dessa forma, concluiu-se que o referido índice de acidez é aceitável pela indústria. (BARROS, et al., 2013).

Utilizando-se um óleo de soja com índice de acidez de 1,12 mg KOH g⁻¹, Oliveira et al. (2012) produziu um biodiesel com índice de acidez de 1,39 mg KOH g⁻¹. Demonstra-se assim a importância da qualidade do óleo para se obter biodiesel que atenda as normas da ANP.

3.6.2 Densidade

Densidade é a massa de uma unidade de volume de uma determinada substância. No Sistema Internacional (SI) a unidade de densidade utilizada é kg m⁻³. (BRITANNICA ACADEMIC, 2016). Para o biodiesel a densidade se destaca pois se correlaciona com a pureza do produto obtido. Fatores como reação incompleta, a presença de mono, di e triglicerídeos ou a presença de glicerina, devido a uma purificação mal realizada iram interferir na densidade final do produto. (BARROS, et al., 2013).

A densidade do biodiesel a partir do óleo de soja a 40°C é maior que a do diesel, possuindo valores de 867,4 kg m⁻³ e 827,8 kg m⁻³, respectivamente. O biodiesel a partir de óleo de coco possui menor densidade, 855,4 kg m⁻³. Isto ocorre devido possuir ácidos graxos de menor cadeia carbônica, cerca de 50% dos ácidos graxos com 14 carbonos. Já o de soja predomina os com 18 carbonos. (DUNCAN et al., 2010).

O óleo de soja, quando comparado ao óleo de mamona (*Ricinus communis* L.), possui densidade menor. Na composição dos ácidos graxos da mamona predomina o ácido ricinoleico (cerca de 89%), que é poliinsaturado com três ligações duplas. Na temperatura de 20°C o óleo de soja e de mamona possuem as densidades próximas de 880 kg m⁻³ e 910 kg m⁻³. (USTRA et al., 2013).

Quando comparado à produção de biodiesel a partir do óleo de soja e de linhaça (*Linum usitatissimum*), determinou-se que a densidade do óleo de soja (935 kg m⁻³) é maior que o do óleo de linhaça (928 kg m⁻³). Entretanto, o biodiesel de soja é menos denso, tendo valor de 882 kg m⁻³; sendo que o biodiesel a partir de linhaça tem densidade de 903 kg m⁻³. (OLIVEIRA A. et al. 2012).

As densidades dos óleos de soja, algodão e girassol a 27°C são muito parecidas: 914, 912 e 918 kg m⁻³, respectivamente. Apresenta a mesma característica de proximidade de suas densidades quando feito biodiesel (872, 874 e 878 kg m⁻³); sendo ainda estes mais densos que o diesel (RAMADHAS; JAYARAJ; MURALEEDHARAN, 2004).

A densidade do óleo de soja degomado, produzido na Cooperativa Agroindustrial Cocamar, na cidade de Maringá – PR, durante os meses de dezembro de 2012 e junho de 2013, apresentou densidade entre 920 e 925 kg m⁻³. (BARROS, et al., 2013).

3.6.3 Teor de óleo

A necessidade de se substituir o óleo diesel importado, bem como a utilização de fontes renováveis de energia, torna importante a necessidade de se desenvolver novas cultivares de soja com teores mais elevados de óleo nos grãos. (CAVALCANTE; SOUSA; HAMAWAKI, 2011). Um teor alto de óleo na composição dos grãos está associado à floração e maturação precoce nas plantas, bem como a temperatura durante o período de enchimento dos grãos; onde temperaturas abaixo de 25°C já começam a diminuir o teor de óleo nos grãos. (SEDIYAMA et al., 1993). O teor de óleo em grãos de soja é de 8,0 a 25,4%, na média de 17,9% (base seca), nos 16.472 acessos do Banco de Germoplasma da Embrapa. (PIPOLO et al., 2015).

As características de teor de proteína e teor de óleo podem ser determinadas por diversos genes. Diversos alelos destes genes para estas características possuem correlação negativa, indicando que um alelo que representa maior teor de proteína

está associado a um alelo que representa menor teor de óleo em grãos de soja e vice-versa. (HWANG et al., 2014).

O armazenamento de óleo em grãos de soja apresenta interações muito complexas, que pode variar entre genótipos e ambientes. Existe uma correlação positiva entre teor de óleo e produtividade de grãos. (BRUNO et al., 2015).

Comparando à quantidade de óleo presente nos grãos de soja provenientes dos estados de Mato Grosso e do Paraná, Greggio e Bonini (2014) notaram uma diferença significativa. A soja proveniente do Mato Grosso possui maior teor de óleo em seus grãos (21,3%) em relação a proveniente do Paraná (19,7%). Comparando com soja armazenada, o teor de óleo foi semelhante ao teor de óleo dos grãos provenientes do Paraná.

3.7 PROTEÍNA DE SOJA

Proteínas são substâncias altamente complexas, que são específicas de cada espécie. Uma molécula de proteína é muito maior que uma de açúcar e é formada por aminoácidos unidos para formar cadeias longas. Existem 20 diferentes aminoácidos que formam as proteínas. O teor de proteína em grãos de soja está relacionado com a qualidade fisiológica destas. Além dos fatores genéticos, os teores de óleo e proteínas dos grãos de soja também são fortemente influenciados pelo ambiente; principalmente durante o período de enchimento. (HENNING et al., 2010).

O farelo de soja corresponde por 70% do consumo mundial. O teor de proteína no farelo de soja é de até 50%, o colocando como um produto quase que insubstituível para a produção de proteína animal; que explica a expansão da produção e do consumo de soja através da produção avícola e suína. (PEREIRA, 2015).

Existe uma correlação negativa entre o teor de óleo e o teor de proteína em grãos de soja. Quando se aumenta o teor de proteína de um grão, o teor de óleo vai diminuir. (MORAES et al., 2006).

Quando se ocorre a semeadura muito antecipada, as condições climáticas podem ser mais favoráveis para a planta aumentar a produtividade e acumular mais óleo do que proteína. Portanto existe uma correlação negativa entre produtividade e teor de proteína nos grãos. (ALBRECHT et al., 2008).

Para fins de exportação, o farelo de soja deve apresentar no mínimo 46% de proteína. Abaixo disto, o farelo é reprovado para a exportação. (ANEC, 2016). Entre

janeiro e junho de 2017 o Brasil exportou mais de 7,5 milhões de toneladas de farelo de soja, sendo a Holanda e a Tailândia os maiores compradores de farelo de soja brasileiro, importando cerca de 2,5 milhões de toneladas. (ANEC, 2018).

A Portaria 795 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, determina que o farelo de soja é classificado em 3 tipos: (i) tipo 1= teor mínimo de 48% de proteína; (ii) tipo 2= teor mínimo de 46% de proteína; e (iii) tipo 3= teor mínimo de 44% de proteína. O farelo que possuir teor inferior a 44% é classificado como abaixo do padrão e pode ser comercializado, desde que devidamente identificado como abaixo do padrão ou ser rebeneficiado afim de se enquadrar em um dos três tipos. (MAPA, 1993).

No Rio Grande do Sul, a diminuição no teor de proteína nas novas cultivares está associado ao uso de determinados genitores nos programas de melhoramento. Ao aumentar a produtividade obteve-se a correlação positiva entre produtividade e teor de óleo; além da correlação negativa entre teor de óleo e teor de proteína. (BONATO et al., 2000).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi em blocos aleatorizados com 3 repetições. Os tratamentos consistiram em 12 cultivares. As 12 cultivares de soja utilizadas foram escolhidas por se destacarem no cultivo na região dos Campos Gerais (PR). Abaixo a descrição das mesmas:

- NS 5959 IPRO®: cultivar da Nidera Sementes®, grupo de maturação 5.9, hábito de crescimento indeterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 320 a 400 mil plantas ha⁻¹;
- NS 6906 IPRO®: cultivar da Nidera Sementes®, grupo de maturação 6.5, hábito de crescimento indeterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 200 a 260 mil plantas ha⁻¹;
- M 5705 IPRO®: cultivar da Monsoy®, grupo de maturação 5.7, hábito de crescimento indeterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 260 mil plantas ha⁻¹;
- M 6410 IPRO®: cultivar da Monsoy®, grupo de maturação 6.4, hábito de crescimento indeterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 280 a 300 mil plantas ha⁻¹;
- BRS 1003 IPRO®: cultivar da Embrapa®, grupo de maturação 6.3, hábito de crescimento indeterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 260 a 310 mil plantas ha⁻¹;
- BRS 1001 IPRO®: cultivar da Embrapa®, grupo de maturação 6.2, hábito de crescimento indeterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 220 a 260 mil plantas ha⁻¹;
- FTR 2155 RR®: cultivar da FT Sementes®, grupo de maturação 5.5, hábito de crescimento indeterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 220 a 240 mil plantas ha⁻¹;
- TMG 7062 IPRO®: cultivar da Tropical Melhoramento Genético®, grupo de maturação 6.2, hábito de crescimento semideterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 200 a 220 mil plantas ha⁻¹;
- TMG 7262 IPRO®: cultivar da Tropical Melhoramento Genético®, grupo de

maturação 6.2, hábito de crescimento semideterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 200 a 220 mil plantas ha⁻¹;

- BS 2606 IPRO®: cultivar da Bayer®, grupo de maturação 6.0, hábito de crescimento indeterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 240 a 310 mil plantas ha⁻¹;
- Brasmax Garra IPRO®: cultivar da Brasmax®, grupo de maturação 6.3, hábito de crescimento indeterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 180 a 250 mil plantas ha⁻¹;
- 96Y90®: cultivar da Pioneer Sementes®, grupo de maturação 6.0, hábito de crescimento indeterminado e população indicada para a região dos Campos Gerais de 250 a 320 mil plantas ha⁻¹.

4.2 ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado no Campo Demonstrativo e Experimental (CDE) da Fazenda Escola Capão da Onça (Fescon) da Universidade Estadual de Ponta Grossa, no município de Ponta Grossa, estado do Paraná, safra 16/17. A Fescon está localizada nas coordenadas geográficas 25° 05' de latitude sul e 50° 03' de latitude oeste, a 990 metros de altitude.

O município de Ponta Grossa localiza-se na região com classificação climatológica definida como temperado Cfb, conforme critérios estabelecidos por Köppen, como. (CAVIGLIONE, et al., 2000).

O solo da área onde foi realizado o experimento possui textura média, de acordo com a Tabela 3. A análise química de rotina é mostrada na Tabela 4. Os dados agrometeorológicos relacionados durante a realização do experimento são demonstrados na Figura 1. (IAPAR, 2017).

TABELA 3 - Teor de areia, silte e argila em (g kg⁻¹) da Fazenda Escola Capão da Onça, município de Ponta Grossa (PR), 2016

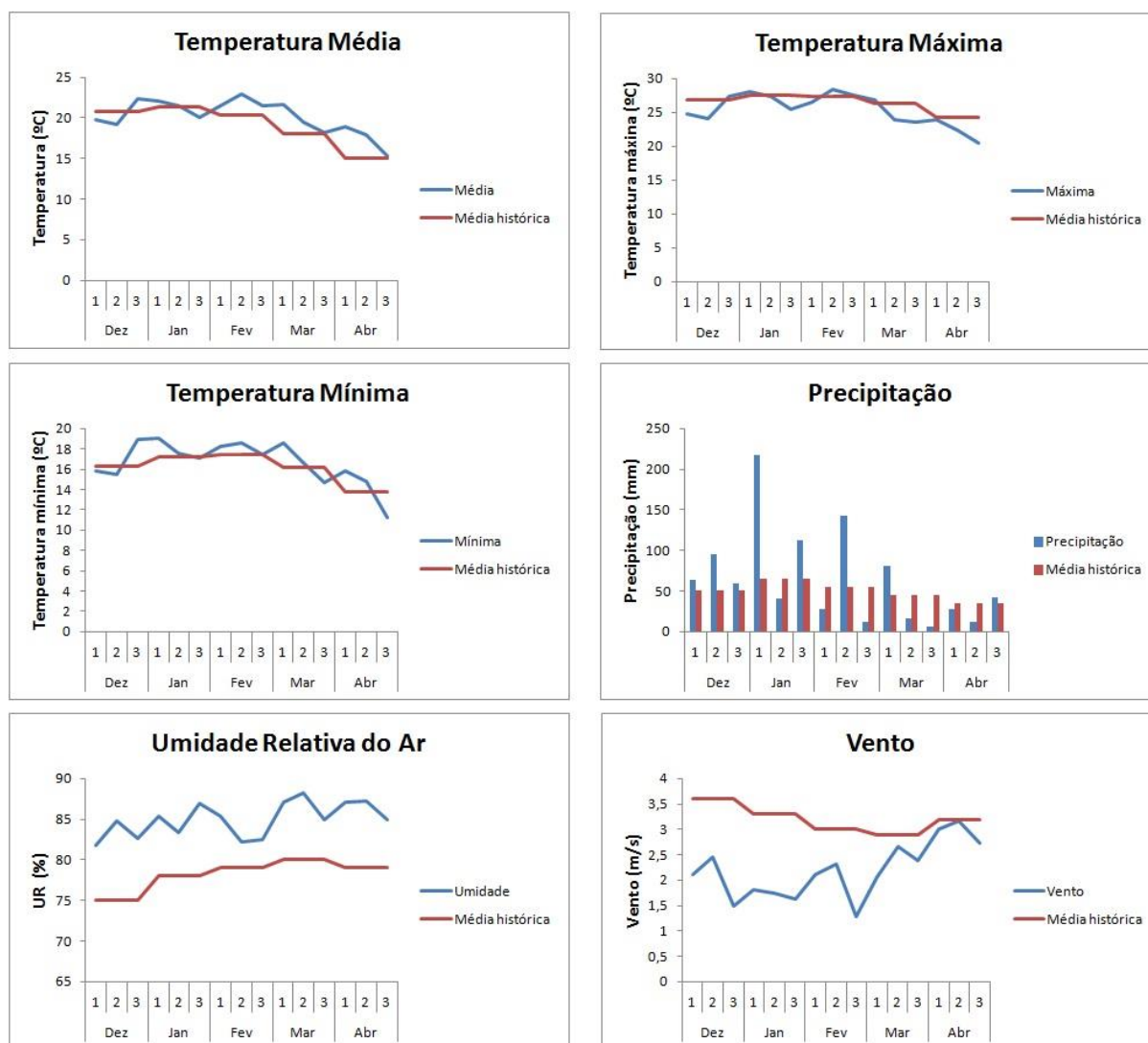
Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)
615	85	300

TABELA 4 - Análise química do solo da Fazenda Escola Capão da Onça, município de Ponta Grossa (PR), 2016

pH (CaCl ₂)	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P (Mehlich ⁻¹)	C	CTC a pH 7,0	V ¹	m ²
	----- mmol _c dm ⁻³ -----					g dm ⁻³	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³	--- % ---	
4,3	97	17	17	4	3,2	49,8	25	121,2	20	41,3

¹V = saturação por bases. ²m = saturação por alumínio.

FIGURA 2 - Dados climatológicos e médias históricas ocorridos na Fazenda Escola Capão da Onça, na safra 2016/17, Ponta Grossa (PR)



4.3 A CULTURA DA SOJA

Cada unidade experimental (parcela) teve área de 15 m², tendo o experimento área total de 720 m². Foi realizada dessecação da área antes da semeadura e no fechamento das fileiras de semeadura, no estágio fenológico de florescimento (R2)

(FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007), utilizando-se $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de herbicida a base de glyphosate (Roundup WG®).

A semeadura foi realizada com uma semeadora manual da marca SB Máquinas® de experimentos, em 09/12/2016, com 350.000 sementes ha^{-1} . Foi utilizado na adubação de base, 300 kg ha^{-1} da fórmula 0-20-20 (N-P-K).

A aplicação de produtos fitossanitários foi feita com um pulverizador costal manual de 20 litros, com ponta que gera jato do tipo leque plano XR 11002 da marca Teejet®. Foram realizadas duas aplicações: a primeira foi realizada no dia 04/02/2017 e a segunda no dia 23/02/2017, utilizando-se $0,4 \text{ L ha}^{-1}$ de fungicida a base de trifloxistrobina e proclorazoxol (Fox®), $0,15 \text{ L ha}^{-1}$ de fungicida a base de propiconazol e difenoconazol (Score Flexi®) e 0,25% do volume da calda do adjuvante de éster metílico de óleo de soja (Aureo®).

O volume de calda utilizado foi de 200 L ha^{-1} , as condições meteorológicas no momento da aplicação estavam dentro das recomendadas para a aplicação dos produtos. A colheita foi realizada com uma colhedora automotriz de experimentos da marca WINTERSTEIGER® no dia 27/04/2017.

4.4 EXTRAÇÃO E ANÁLISES DO ÓLEO E GRÃOS

O óleo foi extraído pelo método de extração contínua com aparelho Soxhlet utilizando *n*-hexano como solvente. A soja foi triturada com o auxílio de um liquidificador e colocada em uma capsula de tecido fino, dentro do Soxhlet® (Figura 2). O período de extração foi de 150 minutos por amostra a uma temperatura de $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

O solvente foi evaporado com evaporador rotativo marca Quimis® modelo Q344B1 utilizando bomba de vácuo da marca Fisatom® modelo 830. O óleo bruto foi acondicionado em recipiente de vidro âmbar de 100 mL fechado com tampa e armazenado sobre refrigeração a uma temperatura de 2 a $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Foi realizada a degomagem do óleo bruto a fim de remover os fosfolipídios, proteínas, enzimas e outras substâncias coloidais presentes no mesmo. Foi colocado o óleo em um becker de 250 mL e aquecido com uma manta de aquecimento até atingir a temperatura de $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Logo, foram acrescentados 5% (m/m) em água deionizada e mantido sobre aquecimento e agitação na mesma temperatura por 30 minutos. Em seguida a mistura foi centrifugada em ultra centrífuga refrigerada Hitachi Himae® CR21GII, a 5000 rotações por minuto (RPM), durante 30 minutos a uma

temperatura de -4,0 °C. Após a centrifugação, a goma ficou aderida juntamente com a água no fundo dos frascos, o óleo degomado foi retirado e armazenando. Para todas as variáveis analisadas, foram feitas triplicatas para maior confiabilidade dos dados.

FIGURA 3 – Conjunto extrator Soxhlet®, com amostra de soja triturada



4.4.1 Índice de acidez

Para a determinação do índice de acidez, utilizou-se o método titulométrico volumétrico apresentado pelo IAL (2008), onde foi feita uma solução aquosa de hidróxido de potássio (KOH) 0,1 M. Foi padronizada utilizando bi-ftalato de potássio.

Para a padronização foi realizado as seguintes equações:

$$\frac{B}{\left(\frac{V}{0,20422}\right)} = \text{Molaridade Real}$$

(1)

Onde:

B = massa real de biftalato de potássio pesada;

V = volume de KOH consumido na titulação;

0,20422 = milimol-grama do biftalato de potássio.

O fator de correção da solução foi calculado pela equação abaixo:

$$\frac{\text{Molaridade Teórica}}{\text{Molaridade Real}} = \text{Fator de Correção} \quad (2)$$

Foi mensurada a massa de 1,0 g de óleo em balança analítica da marca Shimadzu modelo AUY220, considerando-se até a casa centesimal da medida e colocado em Erlenmeyer de 125 mL. Para solubilizar a amostra de óleo, foram acrescentados 12,5 ml de uma solução éter etílico:etanol (2:1). A mistura da solução foi realizada em capela de exaustão de gases. Foram acrescentadas 5 gotas de solução indicadora alcoólica de fenolfetaleína a 1%. Foi utilizada uma bureta graduada de 25 ml para se fazer a titulação de neutralização das amostras até o momento no qual a solução de éter-etanol juntamente com óleo mudou de coloração, ficando com um tom roseado. Foi mensurado o volume gasto de solução de KOH.

Para se determinar o índice de acidez (IA), utilizou-se a seguinte formula:

$$\frac{v \times f \times 5,61}{P} = \text{IA} \quad (3)$$

Onde:

v = volume em mL de solução de KOH gasto em titulação

f = fator da solução de KOH

P = nº de grama da amostra

O índice de acidez é expresso em mg KOH g⁻¹ de óleo e pode ser expresso também em porcentagem de ácido oleico (C18:1), basta fazer a conversão direta, dividindo o valor obtido por 1,99 e se tem o valor do índice de acidez expresso em porcentagem de ácido oleico.

4.4.2 Densidade

Para se determinar a densidade das amostras, foi utilizado um densímetro digital modelo DMA 4500M da marca Anton Paar®, sendo realizada a análise na temperatura de 20 °C; de acordo com a norma ASTM D5002 (1999).

O aparelho possui uma acurácia de 0,05 kg m⁻³. Foi utilizado um padrão analítico de densidade da marca do equipamento para aferir a leitura do aparelho. Desta forma foi possível realizar a medição de densidade pelo princípio do tubo em U que oscila, em vidro borossilicato.

Foi utilizado um termostato Solid state na célula e sensor de temperatura de platina. Foram inseridos cerca de 2,0 mL de amostra de óleo no equipamento com o auxílio de uma seringa.

Após a leitura do equipamento, foi passado fluxo de ar pelo tubo por 15 segundos, inseridos 10 mL de hexano no tubo para fazer a limpeza. Em seguida passado novamente fluxo de ar por 15 segundos para então colocar uma nova amostra no aparelho e fazer a determinação de densidade.

4.4.3 Teor de óleo

A determinação do teor de óleo dos grãos foi realizada com base no método apresentado pelo IAL (2008). As amostras de grãos de soja foram trituradas em moinho da marca Marconi® modelo MA 630/1, durante 15 segundos para se obter uma farinha fina dos grãos. A amostra foi armazenada em embalagem rígida de plástico com volume de 50 mL.

Para a extração do óleo das amostras, foi mensurada a massa, entre 5,0 e 8,0 gramas por amostra; em balança analítica da marca Shimadzu®. Considerou-se até a casa centesimal da medida.

Cada balão empregado na extração foi lavado e seco em estufa a 100 °C por 12 horas. Após a secagem foram colocados em dessecador. Quando atingiram a temperatura ambiente os mesmos foram identificados e tiveram sua massa mensurados em balança analítica da marca Shimadzu® modelo AUX220.

A extração foi feita utilizando conjunto extrator Soxhlet®, utilizando hexano como solvente em processo contínuo. A duração da extração foi de 360 minutos ininterruptos a temperatura de aquecimento de 80 °C.

Após o termino do período de extração, o balão com óleo foi levado à estufa em temperatura de 100 °C, durante o período de 18 horas. Após este procedimento o balão foi retirado da estufa, colocado em um dessecador até resfriar a temperatura ambiente. Foi mensurada a massa do balão com o teor de óleo da extração em balança analítica da marca Shimadzu® modelo AUX220.

Para se determinar o teor de óleo em porcentagem, se utilizou a seguinte equação:

$$\text{Teor de óleo (\%)} = \frac{(\text{massa balão com óleo} - \text{massa balão vazio}) \times 100}{\text{massa da amostra de soja}} \quad (4)$$

4.4.4 Teor de proteína

Para a determinação de teor de nitrogênio (N) total, utilizou-se o método de digestão semi-micro-Kjeldahl. O referido método consiste em digestão sulfúrica, destilação e titulação das amostras. (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Foi colocado 0,1 gramas de amostras em tubos de vidro e adicionado 7,0 mL de solução digestora de ácido sulfúrico. Após este procedimento os tubos foram envoltos em manta de aquecimento dentro de capela exaustora de gases (Tabela 5).

TABELA 5 - Rampa de aquecimento de amostras durante digestão sulfúrica em manta aquecedora para determinação de nitrogênio em plantas pelo método de digestão semi-micro-Kjeldahl

Temperatura (°C)	Tempo (minutos)
40	00
80	30
120	60
160	90
200	120
240	150
280	180
350	210

No processo de digestão, a matéria orgânica existente na amostra foi decomposta com ácido sulfúrico e um catalisador. O nitrogênio foi transformado em sal amoniacal.

Após a digestão, os tubos são colocados em aparelho de arraste de vapor, onde a amônia foi liberada do sal amoniacal pela reação com hidróxido de sódio e transferida para um Erlenmeyer com 10 mL de solução de ácido bórico com indicadores vermelho de metila e verde de bromocresol. Quando o volume do Erlenmeyer atingiu 50 mL, a destilação estava concluída, ficando a solução com coloração esverdeada. Posteriormente foi realizada a titulação das amostras usando uma solução de H_2SO_4 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ até que a amostra ficasse com coloração avermelhada.

Para se determinar o teor de N em g kg^{-1} de amostra, multiplicou-se o volume de solução gasto na amostra em mL por 2,8. O teor de N na proteína de soja é em torno de 16%, assim, para se transformar o teor de N em teor de proteína, multiplicou-se o teor de N por 6,25.

Para fins de exportação, é necessário determinar o teor de proteína no farelo, a formula para se determinar a Proteína Esperada no Farelo (PEF), é a seguinte:

$$\text{PEF} = \frac{0,01 \times \text{teor de proteína} - (0,0000485 \times \text{teor de óleo} \times 0,01)}{(0,9829 - 1,10968 \times \text{teor de óleo} \times 0,01) \times 100} \quad (5)$$

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados registrados foram submetidos aos testes de Hartley, a fim de se verificar a homocedasticidade das variâncias e ao teste de Shapiro-Wilk, para examinar a normalidade dos dados. As variáveis mensuradas foram submetidas aos testes de F e Scott-Knott, com grau de confiança superior a 95% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos fatores afetaram o desenvolvimento da cultura em condição de campo. A semeadura que ocorreu de forma tardia, devido ao período com excesso de precipitação nos meses de novembro e dezembro de 2016.

A acidez do solo (pH 4,3 em CaCl_2), bem como uma saturação por bases baixa (20 %) aliada a uma saturação por alumínio elevada (41,3 %), são condições que desfavorecem o correto desenvolvimento das plantas, acarretando em diminuição da produção bem como da qualidade da produção. Onde o crescimento celular é limitado em ambientes com pH igual ou próximo de 4. (CUSTÓDIO, et al., 2002).

O teste de Hartley apontou a homocedasticidade das variâncias e o teste de Shapiro-Wilk confirmou a normalidade dos dados, para todas as variáveis estudadas. Portanto, não houve necessidade de transformação dos valores para a aplicação da análise de variância (ANOVA).

5.1 ÍNDICE DE ACIDEZ

Observou-se diferença significativa para os tratamentos, com um grau de confiança superior a 95% de probabilidade. O índice de acidez variou significativamente entre os tratamentos (Tabela 6).

TABELA 6 - Índice de acidez de óleo de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], safra 2016/17, Ponta Grossa – Paraná¹

Cultivar	mg KOH g ⁻¹ de óleo
FTR 2155 RR [®]	4,7 d ²
M 5705 IPRO [®]	3,2 e
BRS 1003 IPRO [®]	2,5 e
NS 6906 IPRO [®]	1,8 e
M 6410 IPRO [®]	11,7 b
96Y90 [®]	4,0 d
TMG 7062 IPRO [®]	1,8 e
BS 2606 IPRO [®]	1,6 e
TMG 7262 IPRO [®]	2,6 e
NS 5959 IPRO [®]	15,7 a
BRS 1001 IPRO [®]	11,0 b
Brasmax Garra IPRO [®]	7,0 c
CV (%)	22,1

1 - Não significativo para blocos ($P > 0,05$)

2 - Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott ($P > 0,05$)

O índice de acidez, variou de 1,6 a 15,7 mg KOH g⁻¹ de óleo, com um coeficiente de variação de 22,1%. Sendo todos os óleos classificados como tipo 2 (MAPA, 2006). Apesar de terem atingido o ponto de maturação fisiológica, a umidade dos grãos no momento da colheita, estava próxima a 14%. Este fator pode ter tido influência na variação do índice de acidez entre os tratamentos, onde a acidez é consequência da hidrólise enzimática que ocorre no grão, devido ao teor de água da mesma (MACHADO; CHAVES e ANTONIASSI, 2015).

Os dados de índice de acidez expresso em mg KOH g⁻¹ de óleo demonstraram que a cultivar NS 5959 IPRO®, obteve o maior índice; sendo superior as outras cultivares. Apesar do ciclo da cultivar ser de 128 dias, devido ao seu grupo de maturação (5.9) e o período da semeadura a colheita do experimento ter sido de 139 dias, não se pode afirmar que o grupo de maturação seja a explicação para a variação. Pois, a cultivar BS 2606 IPRO®, possui grupo de maturação (6.0) muito semelhante a cultivar NS 5959 IPRO®.

Os valores obtidos contrariam os encontrados por Costa et al. (2001), onde a média do índice de acidez de diversas cultivares de soja, no estado do Paraná, na safra 96/97, obteve índice de acidez de 0,44 % de ácido oleico; que é equivalente a 0,88 mg KOH g⁻¹ de óleo.

Para que o biodiesel tenha índice de acidez inferior ao limite colocado pela ANP (2005), o índice de acidez do óleo vegetal para Gonçalves et al. (2009), deve ser inferior a 1,0 mg KOH g⁻¹ de óleo para que não haja o consumo de catalisador básico na reação. Demonstrando que nenhum dos óleos obtidos poderia ser utilizado para a fabricação de biodiesel, sem que houvesse consumo de catalisador básico na reação de transesterificação.

Porém, a indústria aceita matéria prima com até 5% de índice de acidez expresso em % de ácido oleico, equivalente a 9,95 mg KOH g⁻¹ de óleo, demonstrando que o óleo das cultivares Brasmax Garra IPRO, FTR 2155 RR, 96Y90, M 5705 IPRO, TMG 7262 IPRO, BRS 1003 IPRO, TMG 7062 IPRO, NS 6906 IPRO e BS 2606 IPRO, poderiam ser adquiridos pela indústria, sem haver descontos no valor do óleo. O óleo das cultivares M 6410 IPRO®, NS 5959 IPRO® e BRS 1001 IPRO® necessitam de uma esterificação prévia para posteriormente ser feito o processo de transesterificação tradicional.

5.2 DENSIDADE

Para a variável densidade do óleo, houve diferença significativa para os tratamentos, ao nível de 1% de significância. Os valores de densidade variaram de 915 a 921 kg m⁻³, com um coeficiente de variação de 0,1%.

Apenas as cultivares BS 2606 IPRO® e TMG 7062 IPRO® diferiram das demais cultivares através do teste de Scott-Knott, para a variável densidade. As demais cultivares não apresentaram diferença significativa (Tabela 7).

TABELA 7 – Densidade do óleo vegetal degomado, na temperatura de 20 °C, de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], safra 2016/17, Ponta Grossa – Paraná¹

Cultivar	Densidade (kg m ⁻³)
FTR 2155 RR®	920 a ²
M 5705 IPRO®	918 a
BRS 1003 IPRO®	920 a
NS 6906 IPRO®	919 a
M 6410 IPRO®	921 a
96Y90®	919 a
TMG 7062 IPRO®	915 c
BS 2606 IPRO®	917 b
TMG 7262 IPRO®	919 a
NS 5959 IPRO®	919 a
BRS 1001 IPRO®	920 a
Brasmax Garra IPRO®	921 a
CV (%)	0,1

1 - Não significativo para blocos (P > 0,05)

2 - Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott (P > 0,05)

Os valores de densidade são superiores ao encontrado por Ustra et al. (2013), que determinaram a densidade do óleo de soja de 880 kg m⁻³, mas inferiores ao encontrado por Oliveira et al. (2012), que obtiveram valor de 935 kg m⁻³, demonstrando que os valores obtidos estão dentro dos valores encontrados na literatura.

Os dados corroboram com os registrados por Barros et al. (2013), que determinaram a densidade do óleo degomado produzido pela Cooperativa Agroindustrial Cocamar (Maringá – Paraná), entre os valores de 925 e 920 kg m⁻³.

Os valores de densidade são inferiores aos encontrados por Oliveira et al., (2012), que obtiveram 935 kg m⁻³. Quando transformado em biodiesel, a densidade obtida foi de 882 kg m⁻³, dentro dos limites estabelecidos pela ANP (2005). Isto demonstra que o óleo de todas as cultivares avaliadas, quando levado em

consideração a densidade, poderiam ser utilizados para a fabricação de biodiesel.

5.3 TEOR DE ÓLEO

Não se observou diferença significativa na análise de variância pelo teste “F” entre os tratamentos para teor de óleo. Assim, dispensou-se a aplicação do teste de Scott-Knott para comparar a média entre cultivares (Tabela 8).

O teor de óleo dos grãos de soja variou de 156 a 179 g de óleo kg⁻¹ de massa de grãos, com um coeficiente de variação de 5,1%, onde a cultivar BRS 1003 IPRO[®] apresentou o maior valor e a cultivar FTR 2155 RR[®] apresentou o menor valor, o valor médio das cultivares ficou em 169 g de óleo kg⁻¹ de massa de grãos. Sendo que a composição química dos grãos é influenciada por fatores genéticos e ambientais, conforme afirmam Rodrigues et al. (2011).

TABELA 8 - Teor de óleo de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], safra 2016/17, Ponta Grossa – Paraná¹

Tratamento	Teor de óleo (g de óleo kg ⁻¹ de massa de grãos)
FTR 2155 RR [®]	156
M 5705 IPRO [®]	171
BRS 1003 IPRO [®]	179
NS 6906 IPRO [®]	170
M 6410 IPRO [®]	177
96Y90 [®]	161
TMG 7062 IPRO [®]	167
BS 2606 IPRO [®]	177
TMG 7262 IPRO [®]	169
NS 5959 IPRO [®]	175
BRS 1001 IPRO [®]	165
Brasmax Garra IPRO [®]	162
CV (%)	5,1

1 - Não significativo para blocos e tratamentos pela análise de variância (P > 0,05)

Os valores de teor de óleo corroboram com os valores encontrados por Pípolo et al. (2015), onde o teor de óleo varia de 08 a 25% nos 16.472 acessos do banco de germoplasma da Embrapa.

Apesar de não haver diferença significativa no teor de óleo entre 21 cultivares semeadas em cinco épocas de semeadura no estado do Tocantis Barbosa et al. (2001), notaram que o teor de óleo tende a diminuir de 21% na semeadura na segunda quinzena de novembro, para 17% na primeira quinzena de janeiro. Demonstrando que

o fato da semeadura da cultura ter ocorrido de forma tardia pode ser um dos fatores responsáveis pelo teor de óleo não ter variado entre as cultivares.

A cultura da soja tem evapotranspiração média de 550 a 800 mm (FARIAS et al., 2001). A precipitação total durante o período que a cultura esteve a campo foi de 917,2 mm, sendo superior ao necessitado pela cultura.

Ao comparar três cultivares de soja em cinco épocas de semeadura no estado do Paraná, Albrecht et al.(2008) observaram que o teor de proteína na safra 03/04 (36 a 42%) foi significativamente maior do que na safra 04/05 (25 a 30%). O autor atribuiu aos fatores climáticos que permitiram aumentar a produção de óleo, que foi de 12 a 19% e 26 a 29%; nas safras 2003/04 e 04/05, respectivamente.

Quando as cultivares são semeadas mais precocemente, nos meses de outubro e novembro, o teor de óleo das cultivares é maior do que cultivares semeadas em dezembro (LÉLIS et al. 2010). Demonstrando que o fato da semeadura ter sido realizada de num período mais tardio, este pode ter influenciado para um menor teor de óleo nas cultivares.

5.4 TEOR DE PROTEÍNA

A análise de variância demonstrou que não houve diferença significativa entre blocos e tratamentos para o teor de proteína (Tabela 9). Para fins de exportação de farelo de soja, o farelo de soja precisa ter no mínimo 46% de proteína. (ANEC, 2016). O valor médio das cultivares ficou em 32%.

Os valores de teor de proteína corroboram com os valores encontrados por Pípolo et al. (2015), onde o teor de proteína varia de 31 a 58%, nos 16.472 acessos do banco de germoplasma da Embrapa.

Quando comparado aos trabalhos de Moraes (2006) e Felix e Canniatti-Brazaca (2008), o teor de proteína citado na literatura é em torno de 40%, sendo assim, os valores obtidos neste experimento são inferiores.

Um fator que pode explicar o teor de proteína inferior ao relatado na literatura, é o uso do herbicida glyphosato em pós emergência, visto que este herbicida causa alterações diretas na nutrição de plantas de soja RR. (ZOBIOLE et al., 2010). Quando aplicado no período de florescimento, a composição química do grão é afetada, diminuindo o acúmulo de proteína nos mesmos. (ALBRECHT, et al. 2011). Outro fator que pode ser levado em conta quando utilizado o herbicida é que este pode interferir

na fixação biológica da planta, diminuindo o aporte de nitrogênio fornecido às plantas pelas bactérias. (DVORANEN et al., 2008).

TABELA 9 - Teores de proteína da massa de grãos de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], safra 2016/17, Ponta Grossa – Paraná

Tratamento	Teores de proteína (g kg ⁻¹ de massa de grãos)
FTR 2155 RR [®]	336
M 5705 IPRO [®]	341
BRS 1003 IPRO [®]	328
NS 6906 IPRO [®]	321
M 6410 IPRO [®]	310
96Y90 [®]	354
TMG 7062 IPRO [®]	325
BS 2606 IPRO [®]	310
TMG 7262 IPRO [®]	297
NS 5959 IPRO [®]	319
BRS 1001 IPRO [®]	316
Brasmax Garra IPRO [®]	291
CV (%)	7,3

1 - Não significativo para blocos e tratamentos pela análise de variância (P > 0,05)

Devido à alta quantidade de proteína no grão, a soja necessita de uma oferta abundante de N, para se obter produtividade de 3.500 kg ha⁻¹. Para se alcançar teor de proteína em torno de 40% é necessário 224 kg ha⁻¹ de N, apenas para suprir a demanda do enchimento de grãos (PÍPOLO et al., 2015). Assim, uma alteração no suprimento de N ou mesmo no processo de fotossíntese, pode acarretar na diminuição do acúmulo de proteína nos grãos de soja. A não utilização de adubação com N na área experimental, isso pode ter implicado em um menor acúmulo de proteína nos grãos.

Ao se transformar o teor de proteína em Proteína Esperada no Farelo (PEF) apresentado na Tabela 10, nenhuma das cultivares apresentou conteúdo significativo para se fazer a classificação do farelo; visto que para o mercado interno, o teor mínimo para enquadramento em uma das três categorias de farelo de soja é de 44% de PEF. (MAPA, 1993). Para a exportação, é necessário um PEF de no mínimo 46%. (ANEC, 2016). Assim, o farelo de soja obtido das 12 cultivares de soja neste experimento, poderia apenas ser comercializado no mercado interno, desde que identificado como farelo de soja abaixo do padrão, sendo comercializado a um valor abaixo do mercado de proteína, devido ao fato do menor conteúdo desta no material.

TABELA 10 - Teores de Proteína Esperada no Farelo (PEF) das cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], safra 2016/17, Ponta Grossa – Paraná

Tratamento	PEF (%)
FTR 2155 RR [®]	41,45
M 5705 IPRO [®]	42,97
BRS 1003 IPRO [®]	41,78
NS 6906 IPRO [®]	40,43
M 6410 IPRO [®]	39,40
96Y90 [®]	43,93
TMG 7062 IPRO [®]	40,67
BS 2606 IPRO [®]	39,44
TMG 7262 IPRO [®]	37,32
NS 5959 IPRO [®]	40,51
BRS 1001 IPRO [®]	39,43
Brasmax Garra IPRO [®]	36,14
CV (%)	7,3

1 - Não significativo para blocos e tratamentos pela análise de variância ($P > 0,05$)

6 CONCLUSÕES

Houve três cultivares com índice de acidez do óleo acima do aceitável pela indústria, as cultivares NS 5959 IPRO[®], BRS 1001 IPRO[®] e M 6410 IPRO[®].

Já a densidade do óleo de todas as cultivares estudadas ficaram acima do limite inferior estabelecido por normas, sendo os menores valores da BS 2606 IPRO[®] e TMG 7062 IPRO[®].

Não houve diferenças significativas entre as cultivares para teor de óleo e de proteína. Os valores de teor de óleo ficaram abaixo do encontrado por outros autores e o teor de Proteína Esperado no Farelo (PEF) ficou abaixo do estipulado pela indústria para a comercialização e/ou exportação.

7 REFERÊNCIAS

ABIOVE. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Estatística: Biodiesel: produção por tipo de matéria-prima – Julho, 2016. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>>. Acesso em: 01 out. 2016.

ADUGNA, A. Assessment of yield stability in sorghum using univariate and multivariate statistical approaches. **Hereditas**, v. 145, n. 1, p. 28-37, 2008.

ALBRECHT, L. P. et al. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, v. 67, n. 4, 2008.

ALBRECHT, L. P. et al. Performance of roundup ready soybean under glyphosate application at different stages. **Planta Daninha**, v. 29, n. 3, p. 585-590, 2011.

ALMEIDA NETO, J. A., et al. Projeto Biocombustível: processamento de óleos e gorduras vegetais in natura e residuais em combustíveis tipo diesel. In: 3º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, **Anais...** Campinas, 2000.

ALTIN, R.; CETINKAYA, S.; YÜCESU, H. S. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. **Energy conversion and management**, v. 42, n. 5, p. 529-538, 2001.

ASTM. **American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Density and Relative Density of Crude Oils by Digital Density Analyzer - ASTM D5002**. Washington: ASTM, 1999. 08p.

AMORIM, F. A. Efeito do gene *CP4 EPSPS* na produtividade de óleo em populações de soja. 198p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

ANEC. Associação Nacional dos Exportadores de Cereais. **ANEC 71 (Brazilian soybean meal / soybean meal pellets solvent extracted toasted – FOB contract for parcels)**, 2016. Disponível em: < <http://www.anec.com.br/pt-br/servicos/contratos> >. Acesso em: 14 fev. 2018.

ANEC. Associação Nacional dos Exportadores de Cereais. **Estatísticas mensais**, 2018. Disponível em: <<http://www.anec.com.br/pt-br/servicos/estatisticas>>. Acesso em: 14 fev. 2018.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução nº 45, de 25 de agosto de 2014**, 2014. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2014/agosto/ranp%2045%20-%202014.xml>. Acesso em: 30 ago. 2016.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 270, de 22 de setembro de 2005**. Disponível em: <http://www.oliva.org.br/assets/pdfs/RDC_270_2005_oleos_gorduras_vegetais_azeit

e_de_oliva.PDF>. Acesso em: 17 ago. 2016.

ARSLANOGLU, F.; AYTAC, S.; ONER, E. K. Effect of genotype and environment interaction on oil and protein content of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seed. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 80, p. 18409-18417, 2011.

BARBOSA, V. S. et al. Comportamento de cultivares de soja, em diferentes épocas de semeaduras, visando a produção de bicomcombustível. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 742-749, 2011.

BARROS, E. et al. Análise das propriedades físico-químicas do óleo de soja degomado visando a produção de biodiesel. VIII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar. **Anais...** Maringá, 2013.

BEWLEY, J. D. et al. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. Berlim: Springer Science & Business Media, 2012. 392p.

BLIN, J. et al. Characteristics of vegetable oils for use as fuel in stationary diesel engines — Towards specifications for a standard in West África. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, n. 1, p. 580-597, 2013.

BONATO, E. R. et al. Teor de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidos após 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2391-2398, 2000.

BORSATO, D. et al. Kinetic and thermodynamic parameters of biodiesel oxidation with synthetic antioxidants: simplex centroid mixture design. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.25, n.11, p.1984-1992, 2014.

BRASIL. Casa Civil da Presidência da República. **Lei Nº 9456, de 25 de abril de 1997, institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências**, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9456.htm>. Acesso em: 17 ago. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Plano Nacional de Agroenergia**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005. 120p.

BRAVO, A. et al. *Bacillus thuringiensis*: a story of a successful bioinsecticide. **Insect biochemistry and molecular biology**, v. 41, n. 7, p. 423-431, 2011.

BRUNO, J. L. et al. Acúmulo de óleo em sementes de soja cultivadas in vitro e in vivo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 3085-3090, 2015.

CANECCHIO FILHO, V. et al. **Principais Culturas – II**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1987. 400p.

CARRER, H.; BARBOSA, A. L.; RAMIRO, D. A.. Biotecnologia na agricultura. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 70, p. 149-164, 2010.

CAVALCANTE, A. K.; SOUSA, L. B.; HAMAWAKI, O. T. Determinação e avaliação do teor de óleo em sementes de soja pelos métodos de ressonância magnética nuclear

e Soxhlet. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 8-15, 2011.

CAVIGLIONE, J. et al. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD.

CTNBio. COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA. **Parecer Técnico Nº 2542/2010**. Brasília: CTNBio, 2010. 3p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 5 – Safra 2017/18, quarto levantamento**. Brasília: CONAB, 2018, 126p.

COSTA, N. P. da et al. Efeito da colheita mecânica da soja nas características físicas, fisiológicas e químicas das sementes em três estados do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, n. 1, p. 140-145, 2001.

CUSTÓDIO, C. C. et al. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 145-153, 2002.

DALL AGNOL, A. A soja no Brasil: evolução, causas, impactos e perspectivas. Congreso de la soja del Mercosur, 5; **Foro de la soja Ásia**, 1, 2011. Un grano: un universo. Asociación de la Cadena de la Soja Argentina. CD-ROM. MERCOSOJA, Rosário, 2011.

DA SILVA RODRIGUES, Josiane Isabela et al. Mapeamento de QTL para conteúdos de proteína e óleo em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 472-480, 2011.

DAVIS, S. C. et al. Management swing potential for bioenergy crops. **GCB Bioenergy**, v. 5, n. 6, p. 623-638, 2013.

DVORANEN, E. C. et al. Nodulação e crescimento de variedades de soja RR sob aplicação de glyphosate, fluazifopp-butyl e fomesafen. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 619-625, 2008.

DUNCAN, A. M. et al. High-pressure viscosity of biodiesel from soybean, canola, and coconut oils. **Energy and Fuels**, v. 24, n. 10, p. 5708-5716, 2010.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A história da soja**, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia>>. Acesso em: 28 nov. 2015.

FARIAS, J. R. B. et al. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: **Embrapa**. Circular Técnica 48, 2007. 9p.

FELIX, M. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Disponibilidade de ferro *in vitro* de grãos de soja tostados por diferentes tratamentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.

28, n. 1, p. 78-83, 2008.

GIOIELLI, L. A. Óleos e gorduras vegetais: composição e tecnologia. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 5, n. 2, p. 211-232, 1996.

GONÇALVES, A. et al. Determinação do índice de acidez de óleos e gorduras residuais para produção de biodiesel. In: Congresso da rede brasileira de tecnologia de biodiesel, 3, 2009, **Anais...** Brasília, 2009, p.187-188.

GREGGIO, E. A.; BONINI, E. A. Qualidade do grão de soja relacionada com o teor de acidez do óleo/soybean quality and oil acidity rates. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, p. 645, 2014.

HAYNES, C. **Cultivar versus variety**, 2008. Disponível em: <<http://www.ipm.iastate.edu/ipm/hortnews/2008/2-6/CultivarOrVariety.html>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

HENNING, F. A. et al. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p.727-734, 2010.

HWANG, E. Y. et al. A genome-wide association study of seed protein and oil content in soybean. **BMC genomics**, v. 15, n. 1, p. 1-12, 2014.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª ed. Brasília: Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2005. 1018p.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Médias históricas em estações do Iapar – Estação Agrometeorológica de Ponta Grossa**, 2017. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Ponta_Grossa.htm> Acesso em: 20 ago. 2017.

KLEIN, C. H. et al. **Perfil de aminoácidos digestíveis para aves de farelos produzidos a partir de soja convencional e soja geneticamente modificada**. Concordia: Embrapa Suínos e Aves, 2013. 05p.

LÉLIS, M. M. et al. Genótipos de soja em três épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 602-609, 2010.

LIMA, D.; FILHO, P. M. S. Disponibilização de cultivares de soja no Brasil. Informativo ABRATES, Londrina, v. 21, n. 2, agosto 2011. CD-ROM. Edição dos Anais do XVII Congresso Brasileiro de Sementes. **Anais...** Natal, 2011.

LOBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

MACHADO, G. C.; CHAVES, J. B. P.; ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. **Ceres**, v. 53, n. 308, p. 463-470, 2015.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Norma de identidade, qualidade, embalagem, marcação. e apresentação do farelo de soja**, 1993. Disponível em:
<http://www.codapar.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/farelosoja795_93.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2018.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 49, de 22 de dezembro de 2006**, 2006. Disponível em:
<http://www.codapar.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/oleos_veg_ref_in_49_06.pdf>. Acesso em: 06 set. 2016.

MARQUES, M. C.; ROCHA, J. E. S.; HAMAWAKI, O. T. Avaliação do teor de óleo de cultivares de soja da UFU visando à produção de biodiesel. **Horizonte científico**, v. 2, n. 1, p, out. 2008.

MEENA, D. S.; JADON, C.; MEENA, B. S. Impact of production technology on soybean productivity through frontline demonstration. **Annals of agricultural research**, v. 36, n.1, p. 219, 2015.

MINUZZI, A. et al . Características fisiológicas, contenido de aceite y proteína en genotipos de soya, evaluadas en diferentes sitios y épocas de cosecha, Brasil. **Agricultura Técnica**, v. 67, n. 4, p 353-361, 2007.

MISSÃO, M. R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá Management**, v. 3, n. 1, p. 7-15, 2006.

MOORMAN, T. B. et al. Production of hydroxybenzoic acids by Bradyrhizobium japonicum strains after treatment with glyphosate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 1, p. 289-293, 1992.

MORAES, R. M. A. et al. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 725-729, 2006.

MOTEIRO, F. J. F. et al. Correlação entre parâmetros de adaptabilidade e estabilidade em cultivares de soja quanto a produtividade de óleo. **Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata**, v. 114, n. 2, p. 143-147, 2016.

MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. 1ª ed. São Paulo: ITAL, 1981. 1.062p.

NEPOMUCENO, A. L., et al. Características da soja. Agência Embrapa de Informação. 2008. Disponível em:
<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_24_271020069131.html>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2018.

NETO, P. R. C. et al. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química nova**, v. 23, n. 4, p.

531-537, 2000.

OLIVEIRA, I. J. Relações genéticas entre a produtividade de óleo e podridão vermelha das raízes em soja. 167 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

OLIVEIRA, A. C. et al. Produção e avaliação comparativa do biodiesel de soja e biodiesel de linhaça através de dois métodos de preparação aplicados aos óleos vegetais. VII CONNEPI - Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. **Anais...** Palmas, 2012.

PADGETTE, S. R. et al. Development, identification, and characterization of a glyphosate-tolerant soybean line. **Crop Science**, v. 35, n. 5, p. 1451-1461, 1995.

PAULA, L. E. R. et al. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **CERNE**, Lavras, v.17, n.2, p.237-246, 2011.

PEREIRA, S. R. A evolução do complexo soja e a questão da transgenia. **Revista de Política Agrícola**, v. 13, n. 2, p. 26-32, 2015.

PÍPOLO, A. E. et al. Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria. Londrina: **Embrapa**. Comunicado técnico 86. 2015. 15 p.

POLIZEL, A. C. et al. Phenotypical adaptability and stability of soybean genotypes in the state of Mato Grosso. **Bioscience Journal**, v.29, n.4, p. 910-920, 2013.

RAMADHAS, A. S.; JAYARAJ, S.; MURALEEDHARAN, C. Use of vegetable oils as IC engine fuels — a review. **Renewable energy**, v. 29, n. 5, p. 727-742, 2004.

RAMOS, L. P. et al. Tecnologias de produção de biodiesel. **Revista virtual de química**, v. 3, n. 5, p. 385-405, 2011.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara, 2007. 830p

RAYMOND, B. et al. *Bacillus thuringiensis*: an impotent pathogen? **Trends in microbiology**, v. 18, n. 5, p. 189-194, 2010.

RNC. Registro Nacional de Cultivares. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Proteção de cultivares, 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes/protecao-cultivares/cultivares-protegidas>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

ROCHA, M. M.; VELLO, N. A. Interação genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturação. **Bragantia**, v. 58, n. 1, p. 69-81, 1999.

RODRIGUES, J. I. S. et al. Mapeamento de QTL para conteúdos de proteína e óleo em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 472-480, 2011.

ROMANELLI, T. L.; NARDI, H. S.; SAAD, F. A. Material embodiment and energy flows as efficiency indicators of soybean (*Glycine max*) production in Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 261-270, 2012.

SEDIYAMA, T. et al. **Cultura da soja**: Viçosa: UFV, 1993. 96p.

SILVA, A. C.; LIMA, E. P. C.; BATISTA, H. R. A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação. In: V ENCONTRO DE ECONOMIA CATARINENSE, 2011, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: UNESC, 2011.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 843-851, 2008.

SILVA, T. A. R.; NETO, W. B. Estudo da redução da acidez do óleo residual para a produção de biodiesel utilizando planejamento fatorial fracionado. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 5, p. 828-839, 2013.

USTRA, M. K. et al. Effect of temperature and composition on density, viscosity and thermal conductivity of fatty acid methyl esters from soybean, castor and *Jatropha curcas* oils. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, v. 58, n. 1, p. 460-466, 2013.

VIEIRA, J. S. C. et al. Homogeneous esterification and transesterification of vegetable oils with high free fatty acids content. **Química Nova**, v. 41, n. 1, p. 10-16, 2018.

ZHE, Y. et al. Effects of genotype × environment interaction on agronomic traits in soybean. **Crop science**, v. 50, n. 2, p. 696-702, 2010.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Nutrient accumulation and photosynthesis in glyphosate-resistant soybeans is reduced under glyphosate use. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 12, p. 1860-1873, 2010.