

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

NÁTALI MAIDL DE SOUZA

TEOR DE ÓLEO NA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE
FÓSFORO

PONTA GROSSA
2012

NÁTALI MAIDL DE SOUZA

TEOR DE ÓLEO NA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE
FÓSFORO

Dissertação apresentada para a obtenção do
título de Mestre em Agronomia na
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Área
de concentração Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique
Weirich Neto

PONTA GROSSA
2012

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

S729 Souza, Nátali Maidl de
Teor de óleo na cultura da soja em
função de fontes e doses de fósforo/
Nátali Maidl de Souza. Ponta Grossa, 2012.
63f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia -
Área de Concentração: Agricultura),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique
Weirich Neto.

1.Glycine max. 2.Lipídios de reserva.
3.Biocombustível. I.Weirich Neto, Pedro
Henrique. II. Universidade Estadual de
Ponta Grossa. Mestrado em Agronomia. III.
T.

CDD: 633.34



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: “TEOR DE ÓLEO NA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE FÓSFORO”.

Nome: Nátali Maidl de Souza

Orientador: Pedro Henrique Weirich Neto

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto

Profª. Drª. Silvana Ohse

Profª. Drª. Sandra Regina Masetto Antunes

Data da Realização: 23 de fevereiro de 2012.

A meus pais, Rozana e Valmir, exemplos
de dignidade e perseverança.
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom eterno e insubstituível da vida, pela certeza de que Sua graça e companhia me bastam. Por me capacitar e me dar forças para cada dia enfrentar as duras batalhas na caminhada ao meu objetivo.

A minha família, em especial a minha mãe Rozana Maidl de Souza e Valmir José de Souza (*in memoriam*), pelo exemplo de vida, pelos valores ensinados e por respeitar as minhas escolhas de difícil compreensão. Aos meus irmãos Rodrigo, Bruna e Northon Maidl de Souza, minha cunhada Sinthia S. de Souza, meu sobrinho Victor B. S. de Souza, meus tios Sidney e Liliane S. Maidl e Abiezer e Patrícia de Souza pelo suporte incondicional em todos os momentos e por compreenderem a minha ausência. Amo todos vocês incondicionalmente.

Ao meu orientador e muito além disso, amigo, Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto, pela orientação e amizade desde os tempos da graduação. Por idealizar o Lama e ter me oportunizado fazer parte dele, pela grande confiança depositada ao me conceder a sua orientação na Iniciação Científica. Pelo exemplo de profissionalismo, seriedade e comprometimento, pelos muitos mates e conversas compartilhadas, pelas muitas vezes que comentou “feio” e me fez repensar, reescrever e finalmente assimilar, compartilhando seus conhecimentos sem hesitar, além do incentivo constante a acreditar que ter coragem para olhar à frente é sempre possível.

A família Francisco, Sr. José, D. Clarice, Michelle, Mirian, José Augusto, por me acolherem incondicionalmente em seu lar nos momentos em que estive cursando disciplinas externas, fazendo com que me sentisse “em casa”.

Ao Pr. Diniz D. Dagostim e Maristella Dagostim, pelo apoio secular e espiritual dado a mim e a minha família.

Aos queridos amigos e colegas do Lama, pelo convívio diário: Prof. PhD Carlos Hugo Rocha, pelas demonstrações quase que constantes de otimismo, paciência e tolerância; Mestres e Eng. Agrôn. Hevandro Colanhese Delalibera e Joelcio Eurich, pela maturidade profissional, compartilhando sempre seus conhecimentos; Eng. Agrôn^a e mestranda Raquel Márcia Modena-Wutzki, pela amizade compartilhada desde a graduação, pelas lições constantes de bom humor, além da solicitude em contribuir em qualquer atividade; Eng. Agrôn.: Kássio Kiyoteru Okuyama, Diogenes Raphael Soares Ribeiro, Alice Karine Vriesman, Gabriel Gomes Ramos e Vinícius Bodanese Demarch; Bióloga Eliane Nascimento dos Santos; aos graduandos Guilherme Pedrollo Mazer. Todos, cada um a sua maneira,

certamente contribuíram no meu crescimento profissional e pessoal, de maneira que sempre farão parte das memórias mais saudosas destes tempos.

Ao grande amigo MSc. Eng. Agrôn. Paulo William Garbuio, pela amizade compartilhada desde o período de graduação, bem como pela capacidade de transferir conhecimento técnico de maneira singela e mesmo pelos muitos momentos de descontração nas inúmeras oportunidades que estivemos a campo, no Lama, na “farm” ou ao telefone.

A querida amiga Adriana Schimandei, mesmo distante, pelo auxílio nas traduções, na compreensão de textos, pelas palavras de incentivo que sempre me fazem refletir e acreditar que é possível.

A amiga de longa data, minha e da minha família, Celi M. Frank Bach, pela presença constante em todas as fases das nossas vidas, pelas palavras de incentivo e pela amizade.

As amigas Dayana Almeida, Rosana Aparecida Paitch e Khetlen Leitão, “irmãs de Lama”, que mesmo à distância não deixam de ser indispensáveis e sempre lembradas nas mais simples coisas que faço.

A Prof. Dr^a Silvana Ohse, por me acolher, mesmo não fazendo parte da turma naquele momento na graduação, em suas aulas de Fisiologia, pelo entusiasmo e incentivo constante a estudar e tentar entender mesmo que migalhas desta “coisa” intrigante chamada “Fisiologia Vegetal”, oportunizando e materializando os meus estágios de docência que, sem dúvida, foram os melhores momentos de estudo desfrutados neste período de Mestrado.

Ao Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca e sua equipe, em especial à Zootecnista e Mestranda Shively Los Galetto, pela disponibilização de dados e contribuição científica na conclusão deste.

A Fundação ABC – Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário, pela cessão da área agrícola para o desenvolvimento do experimento, além do fornecimento dos dados meteorológicos no período de condução do trabalho.

Ao Prof. Dr. Osmar Paulo Beckert, pela disponibilização de material bibliográfico de qualidade.

A secretária do Programa de Pós-Graduação em Agronomia e do Departamento de Ciência do Solo e Eng. Agrícola, Nilcéia Alves de Lara, pela capacidade de administrar as inúmeras tarefas a ela atribuídas, sem em momento nenhum deixar de ser humana e amiga.

Ao técnico do Laboratório de Bromatologia (DEZOO), Antonio, pela disponibilidade e auxílio na realização das análises utilizadas para redação deste trabalho.

As técnicas do Laboratório de Análise de Sementes e de Fertilidade do Solo, Zima Richter, Luciane Henneberg e Dirce Vaz, por sempre estarem dispostas a contribuir e sanar dúvidas nas mais diversas tarefas desempenhadas para conclusão deste trabalho.

As Prof. Dr^{as} Sandra Regina Masetto Antunes e Maria Elena Payret-Arrúa, por me auxiliarem em algumas discussões e por disponibilizarem o seu laboratório.

As minhas queridas amigas Kátia Mitie Nagano e Kenny Suemy Uehara, pelas muitas horas de conversas, sempre dispostas a ouvir e a opinar, incentivando e acreditando que tudo seria possível.

A minha amiga Fabiane Ritter Moro, que mesmo à distância não deixa de me acolher e de torcer por mim.

A amiga Lilian Yukari Yamamoto, pelo apoio nas disciplinas cursadas externamente ao programa, sempre disponível a contribuir e opinar naquilo que foi requerida, facilitando muitas coisas na transição da caminhada.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), pela oportunidade de desfrutar de ensino público de qualidade, capacitando-me para enfrentar novos desafios. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual certamente a conclusão deste trabalho não seria possível, além do seu portal de periódicos, fundamental ferramenta de consulta bibliográfica de qualidade.

A todos não aqui mencionados, mas não menos importantes, que de qualquer modo tenham contribuído para a conclusão deste trabalho, para o meu aperfeiçoamento profissional, pessoal e espiritual, muito obrigada!

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos”.

Fernando Pessoa

SOUZA, N. M. **Teor de óleo na cultura da soja em função de fontes e doses de fósforo.** 2012, 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2012.

RESUMO

O crescente aumento do uso dos óleos vegetais como combustíveis tem levado a estudos que busquem qualificar essas matérias-primas. No caso da soja, o genótipo, as condições edafoclimáticas de cultivo e o manejo agrônômico são relatados como responsáveis pelas variações dos teores de óleo, proteína e perfil de ácidos graxos. O objetivo deste trabalho foi determinar a influência da adubação fosfatada sobre o teor de óleo produzido pela cultura da soja, além de efeitos sobre o rendimento de grãos, massa de 100 sementes, rendimento de óleo, teor e rendimento de proteína e teor e acúmulo de fósforo no grão. O trabalho foi desenvolvido nos anos de 2010/2011, sob delineamento experimental de blocos aleatorizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 3, onde os fatores foram três fontes (superfosfato-tríplo, fosfato natural reativo e termofosfato magnésiano) e três doses de fósforo (60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicados antecipadamente à cultura da soja (cultivar Apolo), por ocasião da safra de outono/inverno, além de um tratamento adicional para cada fonte, aplicado por ocasião da safra de primavera/verão na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (controle regional). Não houve efeito significativo das fontes e doses de fósforo, aplicadas antecipadamente, sobre o rendimento de grãos, massa de 100 sementes, teor de óleo, rendimento de óleo, teor de proteína e rendimento de proteína. Para teor de P, o superfosfato-tríplo foi superior ao fosfato natural reativo, sendo que as doses a partir de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foram superiores a menor dose. O acúmulo de P foi superior nas fontes superfosfato-tríplo e termofosfato magnésiano, sendo a dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ superior a menor dose. O contraste entre a fertilização realizada em outono/inverno e primavera/verão mostrou efeito sobre o teor de proteína, onde a fertilização por ocasião da safra de primavera/verão apresentou efeito superior, e sobre o acúmulo de P, onde a fertilização no outono/inverno favoreceu este acúmulo.

Palavras-chave: *Glycine max*. Lipídios de reserva. Biocombustível.

SOUZA, N. M. **Oil content in soybean crop according to the sources and rates of phosphorus.** 2012, 64 f. Dissertation (Master Science in Agronomy) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2012.

ABSTRACT

Increasing use of vegetable oils as fuels has led to studies that seek to qualify these raw materials. In the case of soybean, genotype, soil and climatic cropping conditions, and agronomic management are reported as responsible by oil content, protein and fatty acid profile variation. The aim of this study was to determine the influence of phosphorus fertilization on oil content produced by soybean crop, and also effects on grain yield, weight of 100 seeds, oil yield, protein content, protein yield, content of phosphorus and phosphorus accumulation in the grain. The work was carried out in the years 2010/2011, under randomized blocks experimental design, with four replications, in a factorial scheme 3 x 3, with three sources (triple superphosphate, phosphate rock and magnesium termophosphate) and three rates of phosphorus (60, 120 e 180 kg ha⁻¹ of P₂O₅) placed before soybean sowing (Apolo genotype), in the autumn/winter crop season, besides one additional treatment for each source, placed during the spring/summer crop season, at a 90 kg ha⁻¹ of P₂O₅ (local control). There were no significant effects of sources and rates of phosphorus, applied earlier, on grain yield, weight of 100 seeds, oil content, oil yield, protein content and protein yield. For P content, triple superphosphate was superior than phosphate rock, and rates from 120 kg ha⁻¹ were superior than the lowest rate. Phosphorus accumulation was higher in triple superphosphate and magnesium termophosphate sources, where the rate of 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅ was superior than the lowest rate. The contrast between the fertilization placed in autumn/winter and spring/summer crop seasons showed effect on protein content, where fertilization placed in spring/summer crop season showed superior effect, and on P accumulation, where fertilization placed in autumn/winter increased this accumulation.

Keywords: *Glycine max.* Lipid reserve. Biofuel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Biossíntese de ácidos graxos e triacilgliceróis em plantas.....	23
Figura 2 – Precipitação e médias das temperaturas máxima, média e mínima durante o ciclo da cultura da soja.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Culturas oleaginosas potenciais para a produção de biocombustíveis.....	20
Tabela 2 – Principais ácidos graxos presentes em óleos vegetais.....	21
Tabela 3 – Variação na composição da semente de soja durante o desenvolvimento.....	27
Tabela 4 – Análise química de rotina do solo.....	35
Tabela 5 – Médias gerais e coeficientes de variação de acordo com as variáveis dependentes, em função das fontes e doses de fósforo.....	41
Tabela 6 – Efeito das fontes e doses de fósforo sobre as variáveis dependentes de acordo com a análise de variância (p-valor).....	41
Tabela 7 – Rendimento de grãos (kg ha^{-1}) de acordo com as fontes e doses de fósforo.....	42
Tabela 8 – Massa de 100 sementes (g) de acordo com as fontes e doses de fósforo.....	43
Tabela 9 – Teor de óleo (g kg^{-1}) de acordo com as fontes e doses de fósforo.....	44
Tabela 10 – Rendimento de óleo (kg ha^{-1}) de acordo com as fontes e doses de fósforo.....	46
Tabela 11 – Teor de proteína (g kg^{-1}) de acordo com as fontes e doses de fósforo.....	47
Tabela 12 – Rendimento de proteína (kg ha^{-1}) de acordo com as fontes e doses de fósforo.....	49
Tabela 13 – Teor de P (g kg^{-1}) de acordo com as fontes de fósforo.....	49
Tabela 14 – Acúmulo de P (kg ha^{-1}) de acordo com as fontes de fósforo.....	51
Tabela 15 – Comparação entre a aplicação das fontes de fósforo no período da safra outono/inverno x aplicação no período da safra primavera/verão, através de contrastes.....	52
Tabela 16 – Médias das variáveis teor de proteína (g kg^{-1}) e acúmulo de P (kg ha^{-1}) de acordo com as fontes de fósforo SFT e TRM, respectivamente, analisadas por contrastes.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO GERAL	15
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA PARA A ECONOMIA BRASILEIRA.....	16
3.2	PRINCIPAIS USOS DO GRÃO DE SOJA.....	17
3.3	LIPÍDIOS DE RESERVA COMO FONTE DE COMBUSTÍVEL: PROCESSO DE SÍNTESE NA PLANTA.....	19
3.4	SOJA: ACÚMULO DE RESERVAS NAS SEMENTES E FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR.....	24
3.5	PROCESSO DE EXTRAÇÃO: METODOLOGIAS QUE QUANTIFICAM LIPÍDIOS.....	29
3.6	FUNÇÕES E FONTES DE FÓSFORO.....	32
4	MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1	ASPECTOS GERAIS.....	35
4.2	VARIÁVEIS DEPENDENTES.....	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	VARIÁVEIS DE CONTROLE.....	39
5.2	VARIÁVEIS DEPENDENTES.....	40
6	CONCLUSÕES	54
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

De modo geral, as sementes que armazenam óleo, provenientes de culturas domesticadas para este fim, configuram-se como importantes commodities agrícolas. Desenvolvidas primariamente com fins nutricionais, recentemente tem-se notado crescimento do uso destes óleos para a produção de combustíveis. Isto pode ser justificado em parte pelo rápido aumento nos custos do petróleo, pela preocupação ambiental a cerca dos impactos causados pela utilização de combustíveis fósseis, além da necessidade de desenvolver fontes renováveis a partir de recursos domésticos ou mesmo a partir de materiais crus provenientes das indústrias (DYER et al., 2008).

No que diz respeito às crises do petróleo, pode-se citar tensões internas e externas nos países que detêm as maiores reservas passíveis de extração, elevação dos custos de extração, relatórios científicos demonstrando o fim das reservas de petróleo em curto espaço de tempo além de manipulação dos preços. Com relação às preocupações ambientais, relatam-se os problemas gerados pela emissão de gases que poderiam maximizar o efeito-estufa, gases estes decorrentes em grande parte da queima de combustíveis fósseis. A utilização de combustíveis fósseis representa, de maneira simples, a liberação ao ambiente do carbono que por milhares de anos permaneceu fixado em grandes profundidades, oriundos do trabalho fotossintético de organismos vivos neste período. Neste contexto, a produção de biomassa vegetal para utilização como combustível renovável se configura como alternativa energética para esta demanda. Assim, o CO₂ emitido pela combustão da biomassa, pelo menos em parte, pode ser compensando pelo CO₂ fixado pelo processo fotossintético que produzirá este material, o que responde positivamente ao ambiente.

Quanto à utilização de biomassa como fonte energética, trabalhos científicos têm demonstrado desempenho diferencial de máquinas térmicas quando utilizados óleos vegetais com cadeias de ácidos graxos distintas como combustível. Estas qualificações de óleos vegetais, além dos rendimentos quantitativos diferenciais, podem ser decorrentes das condições edafoclimáticas de cultivo interagindo com a variabilidade genotípica das culturas. Paula (2007) classificou 34 genótipos de soja em cinco grupos distintos em função do teor de lipídios. Considerando as condições ambientais, nos trabalhos de Gibson e Mullen (1996) e Albrecht et al. (2008), o teor e a qualidade de óleo de sementes de soja sofreram alterações influenciado por condições distintas de temperatura. Com relação à nutrição mineral, por exemplo, Haq e Mallarino (2005) obtiveram respostas positivas da fertilização sobre o rendimento de grãos de soja, mas não observaram variações consistentes nos teores de óleo e

proteína nos grãos. Dessa maneira, tendo em vista que o manejo agrônômico pode interferir no teor e rendimento de óleo em espécies vegetais, estudos que busquem elucidar os efeitos desse são justificados.

O manejo agrônômico de fertilização, por exemplo, é peculiar ao sistema de cultivo empregado. Na região dos Campos Gerais do Paraná, a maioria das lavouras é cultivada sob Sistema Plantio Direto, o qual tem como premissas básicas o não revolvimento do solo, a manutenção de cobertura do solo e a rotação de culturas. Neste contexto, o planejamento agrônômico das atividades de cultivo deve atender o Sistema como um todo, não havendo sentido em planejar e aportar esforços a uma safra de maneira isolada. Como o período de implantação das culturas de primavera-verão, que basicamente se baseia nos cultivos de soja ou milho, coincide com períodos de precipitação pluvial consideráveis, o tempo disponível para os procedimentos adequados do processo de semeadura são bastante reduzidos. Assim, com a antecipação das fertilizações, aplicando os nutrientes quando da semeadura da cultura de outono/inverno, reduziriam-se as atividades e o tráfego de maquinários neste período. Como alternativa, vislumbra-se à antecipação da adubação fosfatada, a qual dispõe de diversas fontes, formas e doses de aplicação.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi determinar a influência da adubação fosfatada sobre o teor de óleo produzido pela cultura da soja.

2 OBJETIVO GERAL

Determinar a influência da adubação fosfatada sobre o teor de óleo produzido pela cultura da soja na região dos Campos Gerais do Paraná.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar a influência de fontes e doses de fósforo, em adubação antecipada, sobre o teor de óleo produzido.

Determinar a influência de fontes e doses de fósforo, em adubação antecipada, sobre o rendimento de grãos, teor de proteínas, rendimento de óleo e de proteínas, além de teor e acúmulo de fósforo nos grãos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA PARA A ECONOMIA BRASILEIRA

Evidências históricas e geográficas indicam que a soja (*Glycine max* L. Merrill) surgiu como uma cultura domesticada na metade leste do norte da China, por volta do século 11 a.C., na Dinastia Zhou. Em relatos antigos, a soja foi inúmeras vezes mencionada e considerada um dos cinco grãos sagrados juntamente com o arroz, o trigo, a cevada e o painço, os quais eram essenciais à cultura chinesa (LIU, 1999). Sua evolução começou com o surgimento de plantas oriundas de cruzamentos naturais entre espécies de soja selvagem, sendo que a planta de soja que hoje se cultiva (Família Fabaceae; Gênero *Glycine*) é muito diferente de seus ancestrais (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/ EMBRAPA, 2011a). A partir da China, o cultivo de soja espalhou-se para o Japão, Coréia e para todo o sudeste da Ásia.

No Brasil, em 1882 a soja foi introduzida provinda dos Estados Unidos, através do professor Gustavo Dutra da Escola de Agronomia da Bahia, o qual realizou estudos avaliando cultivares introduzidas daquele país. Em 1891, testes de adaptação de cultivares foram realizados pelo Instituto Agrônomo de Campinas, no Estado de São Paulo, com vistas a utilizá-la como forrageira, a exemplo do uso dado nos EUA. Foi no Rio Grande do Sul o primeiro registro de cultivo de soja no Brasil, tendo ocorrido em 1914 no município de Santa Rosa. Nesta região, a cultura encontrou condições adequadas para seu desenvolvimento devido às semelhanças climáticas com o país de origem das cultivares. No final da década de 60, o trigo era a principal cultura do Sul do Brasil e a soja surgiu como alternativa para o cultivo no verão, o que possibilitava a realização de duas safras agrícolas por ano. Nesta mesma época, iniciava-se também no Brasil um esforço para produção de aves e suínos, encontrando-se na soja a fonte de proteína demandada para compor a ração. Depois do Rio Grande do Sul, a soja foi introduzida em Santa Catarina e no Paraná. Em terras paranaenses, a expansão se deu através da ocupação das áreas de arroz de sequeiro, das áreas de araucárias retiradas pelas madeireiras e dos cafezais devastados pelas geadas no norte (EMBRAPA, 2011a).

A pesquisa teve papel importante para a expansão do cultivo da soja no Brasil, pois possibilitou o desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições de baixas latitudes. Isto fez com que o cenário mundial da produção de soja mudasse drasticamente, pois a partir da

década de 70 se passou a explorar intensivamente a agricultura e regiões como o Centro-Oeste brasileiro (BLACK, 2000). Outro fator importante a ser relatado é a vantagem competitiva que a produção brasileira de soja apresenta em relação aos demais produtores mundiais, pois o escoamento da safra brasileira ocorre na entressafra americana, momento em que os preços atingem as melhores cotações (EMBRAPA, 2011a).

No que diz respeito aos países produtores de soja, os Estados Unidos lideram a produção mundial respondendo por cerca de 34% do total produzido. Em segundo lugar está o Brasil, sendo responsável por aproximadamente 29% (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE/USDA, 2011). Com relação ao impacto do complexo produtivo da soja na economia brasileira, de acordo com dados do MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR/MDIC (2011) este complexo é responsável por aproximadamente 9,8% das exportações brasileiras em valor monetário. Dentre os produtos exportados, pode-se citar soja em grão, farelo, soja triturada, óleo bruto e óleo refinado.

Ao observar o cenário nacional de produção de soja, a região Centro-Oeste é a maior produtora, sendo responsável por cerca de 45% da produção do país, seguida da região Sul, a qual responde por cerca de 38%. Dentre os estados produtores, cabe relatar a contribuição dos estados do Mato Grosso e do Paraná, sendo estes o primeiro e o segundo maior produtor, respondendo por aproximadamente 27 e 20%, respectivamente, de toda a produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO/CONAB, 2011).

Dentro do panorama agrícola paranaense, merece destaque a região dos Campos Gerais, a qual tem como sede do pólo produtivo regional a cidade de Ponta Grossa. De acordo com dados da Secretária de Estado da Agricultura e do Abastecimento/Departamento de Economia Rural (SEAB/DERAL, 2011), esta região responde por cerca de 12% da produção de soja do estado. Tendo em vista que porção significativa das áreas da região é cultivada sob o Sistema Plantio Direto (SPD), a cultura da soja é uma das principais opções para os cultivos de verão a figurar nos esquemas de rotação, ao lado do milho e do feijão.

3.2 PRINCIPAIS USOS DO GRÃO DE SOJA

A soja é uma das mais importantes commodities, devido a sua composição química singular. Dentre os cereais e outras espécies de fabáceas (anteriormente denominadas leguminosas) é a que apresenta o maior teor de proteína (cerca de 400 g kg⁻¹) e contém aproximadamente 200 g kg⁻¹ de óleo, sendo o segundo maior conteúdo de óleo entre as fabáceas comestíveis, ficando atrás apenas do amendoim (aproximadamente 48% em base de

matéria seca). Outros componentes encontrados na soja são os fosfolipídios, vitaminas e minerais, além das isoflavonas, as quais têm sido reconhecidas pelos seus poderes para prevenir e tratar doenças crônicas, como cânceres (LIU, 1999). O óleo de soja, de acordo com Kinney (1996), contém cerca de 11% de ácido palmítico, 4% de ácido esteárico, 24% de ácido oléico, 54% de ácido linoléico e 7% de ácido linolênico. Wilson (2004), no entanto, relata a presença de ácidos graxos em teores um tanto diferentes, sendo 10% de ácido palmítico, 4% de ácido esteárico, 22% de ácido oléico, 54% de ácido linoléico e 10% de ácido linolênico.

Em face ao exposto, a soja é considerada muito versátil pois dá origem a produtos e subprodutos muito usados pela agroindústria, indústria química e de alimentos. Na alimentação humana, a soja é empregada na composição de vários produtos embutidos, chocolates, temperos para saladas entre outros. A proteína de soja é base de ingredientes de padaria, massas, produtos cárneos, cereais, misturas preparadas, bebidas, alimentação para bebês e dietéticos. Seu uso mais conhecido, no entanto, é como óleo refinado, obtido a partir do óleo bruto, sendo que este é co-produto da industrialização do grão para produção de farelo. Como coproduto do processo de refino do óleo tem-se a lecitina, que é um agente emulsificante, muito utilizada na fabricação de salsichas, maioneses, achocolatados, entre outros (EMBRAPA, 2011b).

Com relação ao seu uso industrial, a soja é muito utilizada na obtenção de farelo para a alimentação animal, cujo coproduto é o óleo bruto, conforme já citado anteriormente. Além disso, o óleo é usado pela indústria de adesivos e nutrientes, formulador de espumas, fabricação de fibra, papel emulsão de água para tintas, agentes anti-corrosivos, fabricação de fungicidas, fármacos, plásticos, substitutos para couro, entre outros produtos (EMBRAPA, 2011b; LUSAS, 2004).

Atualmente, a soja também vem se destacando como fonte alternativa de combustível. O que se observa é o emprego do óleo de soja na fabricação de biodiesel ou mesmo sua utilização direta, sem transformações químicas, como combustível. De acordo com dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis/ANP (2011), cerca de 82% da produção nacional de biodiesel provém do óleo de soja. Entre janeiro de 2004 e fevereiro de 2011, o preço do óleo de soja esteve em média 36% acima do valor do sebo bovino, o qual é o segundo recurso mais empregado na produção de biodiesel.

3.3 LIPÍDIOS DE RESERVA COMO FONTE DE COMBUSTÍVEL: PROCESSO DE SÍNTESE NA PLANTA

De modo geral, as sementes que armazenam óleo, provenientes de culturas domesticadas para este fim, configuram-se como importantes commodities agrícolas, tendo sido destinadas primariamente para fins nutricionais. Recentemente, tem-se notado crescimento do uso destes óleos para a produção de combustíveis, fato este justificado em parte pelo rápido aumento nos custos do petróleo, pela preocupação ambiental a cerca dos impactos causados pela utilização de combustíveis fósseis, além da necessidade de desenvolver fontes renováveis a partir de recursos domésticos ou mesmo a partir de materiais crus provenientes das indústrias (DYER et al., 2008).

As plantas oleaginosas são recursos renováveis que merecem estudos mais detalhados com vistas à produção de combustíveis alternativos. A produção mundial de óleo vegetal somou cerca de 127 milhões de toneladas em 2006, o que representa um aumento de quase 50 milhões de toneladas comparado com a produção de 10 anos atrás (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/FAOSTAT, 2010). A maioria dos óleos vegetais produzidos é a partir de apenas quatro culturas, sendo elas palma, soja, colza (canola) e girassol, as quais juntas contabilizam aproximadamente 79% do total de óleo produzido no mundo (DYER et al., 2008).

A gama de culturas que podem ser utilizadas para produção de biocombustíveis é variada (Tabela 1). Embora os rendimentos em óleo que possam ser obtidos cultivando soja sejam inferiores ao de diversas outras culturas, conforme já relatado anteriormente a soja é matéria-prima para cerca de 82% de todo o biodiesel produzido no Brasil (ANP, 2011). Uma possível explicação para este fato seria de que a soja é esmagada para a produção de farelo protéico para o arração animal, sendo o óleo um coproduto. Tendo em vista que a demanda por farelo protéico de soja é crescente, pode-se dizer que a disponibilidade de óleo de soja também é grande. Além disso, a cadeia produtiva da soja é organizada, tanto do ponto de vista produtivo quanto de industrialização (DALL'AGNOL, 2007).

Tabela 1 – Culturas oleaginosas potenciais para a produção de biocombustíveis

Cultura	Teor de óleo (g kg ⁻¹)	Rendimento de óleo* L ha ⁻¹
Abacate	500 a 350	2000 a 2800
Algodão	180 a 200	280 a 340
Amendoim	450 a 500	1000 a 1340
Canola	380 a 450	550 a 1100
Coco	450 a 600	500 a 3000
Dendê	450 a 500	3700 a 6000
Gergelim	460 a 560	270 a 340
Girassol	350 a 450	720 a 940
Linhaça	390 a 410	330 a 370
Mamona	450 a 500	740 a 1000
Oliva	250 a 300	1200 a 1500
Pinhão manso	280 a 370	140 a 2220
Soja	150 a 200	550 a 720

*Rendimentos baseados nas fontes abaixo citadas ou obtidos através de relações com a produtividade por unidade de área, de acordo com dados da Conab (2011).

Fonte: Arruda et al. (2004); BiodieselBR (2011); Embrapa (2011c); Salgado et al. (2008); Tango; Carvalho e Soares. (2004); Turatti (2000); Yamaoka (2008); Wilson (2004)

Nas plantas, ocorre a biossíntese de dois tipos de lipídios, sendo eles os triacilgliceróis (TAGs) e os glicerolipídios polares. Estes são os componentes das bicamadas lipídicas das membranas celulares, e aqueles são os óleos e gorduras estocados em sementes. Nesta revisão, portanto, será dada ênfase aos triacilgliceróis, importantes para a produção de biocombustíveis. De acordo com Taiz e Zeiger (2009), os óleos vegetais são importantes formas de armazenamento de energia, pois a oxidação completa de 1 g de gordura ou óleo (que contém cerca de 40 kJ ou 9,3 kcal de energia) pode produzir consideravelmente mais ATP que a oxidação de 1 g de amido (cerca de 15,9 kJ ou 3,8 kcal).

Os triacilgliceróis são ésteres de ácidos graxos (AG - geralmente com 16 ou 18 carbonos de comprimento) com glicerol (1,2,3 propanotriol). Os TAGs de óleos vegetais contêm, tipicamente, diferentes tipos de AG, ou seja, diferentes AG podem estar ligados à cadeia do glicerol o que revelará diferentes perfis de AG (KNOTHE et al., 2006). As cadeias de ácidos graxos, por sua vez, são ácidos carboxílicos com cadeias hidrocarbonadas de 4 a 36 átomos de carbono (Tabela 2). Podem ser muito semelhantes quimicamente com os hidrocarbonetos alifáticos que compõem a maior parte das moléculas encontradas na gasolina, por exemplo (DURRETT et al., 2008). No entanto, a maioria dos TAGs apresenta viscosidade superior em relação ao diesel convencional, fato este que acarreta em atomização deficiente do combustível em motores, levando a problemas como acúmulo de depósitos de carbono

(RYAN; DODGE; CALLAHAN, 1984). Para superar estes problemas, os TAGs são convertidos em ésteres de ácidos graxos menos viscosos através de esterificação usando um álcool primário, sendo mais comumente empregado o metanol. O que se obtém, então, é o que se chama de biodiesel.

Tabela 2 – Principais ácidos graxos presentes em óleos vegetais

Nome comum	Nome sistemático	Esqueleto carbônico
Ácidos graxos saturados		
Ácido caprílico	Ácido octanóico	8:0
Ácido cáprico	Ácido decanóico	10:0
Ácido láurico	Ácido dodecanóico	12:0
Ácido mirístico	Ácido tetradecanóico	14:0
Ácido palmítico	Ácido hexadecanóico	16:0
Ácido esteárico	Ácido octadecanóico	18:0
Ácido araquídico	Ácido eicosanóico	20:0
Ácido behênico	Ácido docosanóico	22:0
Ácido lignocérico	Ácido tetracosanóico	24:0
Ácidos graxos insaturados		
Ácido palmitoléico	Ácido 9 - hexadecenóico	16:1 (9)
Ácido oléico	Ácido 9-octadecenóico	18:1 (9)
Ácido linoléico	Ácido 9,12-octadecadienóico	18:2 (9, 12)
Ácido linolênico	Ácido 9, 12, 15-octadecatrienóico	18:3 (9, 12, 15)
Ácido erúico	Ácido 13-docosenóico	22:1 (13)

Fonte: Allen et al. (1999); Lehninger; Nielson e Cox (1995); Moretto e Fett (1998)

Os ácidos graxos e os triacilgliceróis não são transportados na planta, sendo biossintetizados nos locais de acúmulo. A organela-chave deste processo de biossíntese é o plastídio (TAIZ; ZEIGER, 2009). Nos frutos e sementes em desenvolvimento, a síntese ocorre a partir de carboidratos (sacarose) transportados a partir das folhas. A síntese de lipídios acarreta em conseqüente redução no conteúdo de carboidratos, sendo que no caso de algumas sementes oleaginosas, a pequena quantidade de amido que se acumula durante as primeiras fases de desenvolvimento é posteriormente utilizada na síntese de lipídios (CASTRO; KLUGE; PERES, 2005).

Na maioria das sementes, os TAGs são armazenados no citoplasma das células do cotilédone ou endosperma, em organelas denominadas oleossomos (também chamadas de esferossomos ou corpos lipídicos). Estes apresentam um tipo de membrana pouco usual em organelas vegetais, fazendo com que os TAGs mantenham-se separados do citoplasma aquoso, sendo constituída de uma camada única de fosfolipídios, com as extremidades

hidrofílicas dos fosfolipídios voltadas ao citoplasma e as cadeias hidrofóbicas de hidrocarbonetos acil para o interior de triacilgliceróis. O oleossomo mantém-se estabilizado pela presença de proteínas específicas chamadas oleosinas, que cobrem a superfície e impedem que os fosfolipídeos de oleossomos adjacentes entrem em contato e se fundam. Esta estrutura de membranas que ocorre nos oleossomos resulta do padrão de biossíntese dos triacilgliceróis, pois a síntese é completada por enzimas localizadas nas membranas do retículo endoplasmático, acumulando-se as gorduras resultantes entre duas monocamadas da bicamada da membrana do retículo endoplasmático. A bicamada, por sua vez, intumesce e se separa à medida que mais gorduras são adicionadas à estrutura em crescimento e, por fim, um oleossomo maduro solta-se do retículo endoplasmático (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Durante o desenvolvimento das sementes, os fotossintatos provenientes da planta-mãe são importados na forma de açúcares e a semente os converte em precursores da biossíntese de ácidos graxos. A glicólise desempenha papel fundamental nesta conversão (Figura 1), pois o piruvato produzido pela glicólise é convertido a acetil coenzima A (acetil-CoA) pelo complexo plastídico piruvato desidrogenase (DURRETT; BENNING; OHLROGGE, 2008), sendo que a acetil-CoA é o substrato inicial para a síntese de esqueletos carbônicos de todos os ácidos graxos (CASTRO; KLUGE; PERES, 2005), de maneira que a biossíntese ocorre envolvendo a condensação cíclica de unidades de dois carbonos (TAIZ; ZEIGER, 2009). Há relatos na literatura de que existam enzimas glicolíticas tanto nos plastídios quanto no citosol, não ficando clara qual a rota preferida em sementes oleaginosas para que este processo ocorra (PLAXTON; PODESTÁ, 2006). No entanto, alguns trabalhos realizados com sementes de *Arabidopsis* demonstram que pelo menos as reações mais relevantes à síntese de lipídios ocorrem nos plastídios (RUUSKA et al., 2002). Com relação às enzimas envolvidas o processo de síntese, acredita-se que elas são mantidas juntas em um complexo conhecido como ácido graxo sintase. O complexo permite que a série de reações necessárias à síntese ocorra de maneira mais eficiente do que se estas estivessem compartimentalizadas. As cadeias acil em crescimento são ligadas covalentemente a uma proteína acídica de baixo peso molecular, denominada proteína carregadora de acil (acyl carrier protein - ACP) (TAIZ; ZEIGER, 2009).

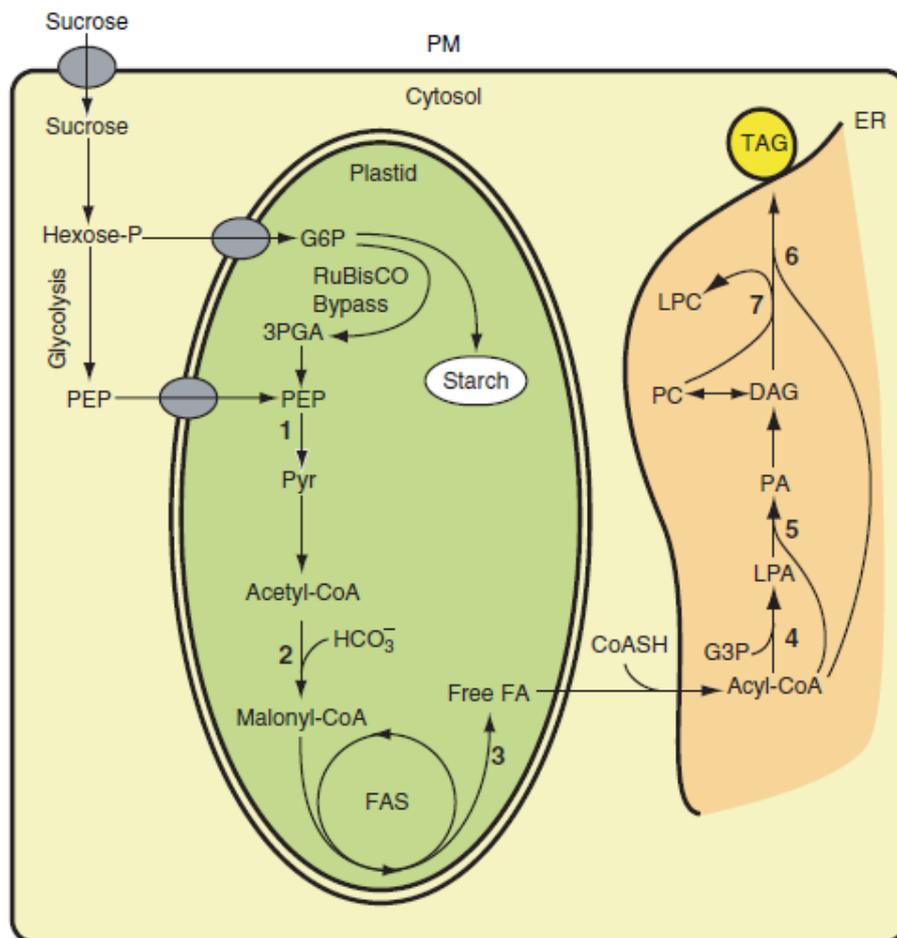


Figura 1 – Biossíntese de ácidos graxos e triacilgliceróis em plantas (Tendo em vista simplificar, apenas as reações mais importantes encontram-se demonstradas).

Nota: Os números em negrito representam enzimas-chave: 1 – piruvato quinase plastídica; 2 – acetil-CoA carboxilase; 3 – acil-ACP tioesterases FatA e FatB; 4 – glicerol-3-fosfato acil transferase; 5 – ácido lisofosfatídico acil transferase; 6 – diacilglicerol acil transferase; 7 – lisofosfatidilcolina acil transferase. Demais siglas presentes na figura: 3PGA – 3-fosfoglicerato; DAG – diacilglicerol; ER – retículo endoplasmático; FAS – síntese de ácido graxo; G3P – glicerol-3-fosfato; G6P – glicose-6-fosfato; LPA – ácido lisofosfatídico; LPC – lisofosfatidilcolina; PA – ácido fosfatídico; PC – fosfatidilcolina; PEP – fosfoenolpituvato; PM – membrana plasmática; Pyr – piruvato; TAG – triacilglicerol.

Fonte: Adaptado de Durrett et al. (2008)

A primeira etapa específica à síntese de ácidos graxos é a síntese do malonil-CoA a partir de acetil-CoA e CO_2 pela enzima acetil-CoA carboxilase. O malonil-CoA, por sua vez, reage com ACP gerando malonil-ACP. No primeiro ciclo da síntese, o grupo acetato da acetil-CoA é transferido a uma cisteína específica da enzima condensadora 3-cetoacil-ACP sintase e então combinado com malonil-ACP para formar acetoacetil-ACP. Num segundo momento, o grupo ceto no carbono 3 é removido (reduzido) pela ação de três enzimas para formar uma nova cadeia acil (butiril-ACP), que tem agora quatro carbonos de comprimento. O ácido de quatro carbonos formado e uma nova molécula de malonil-ACP tornam-se novos substratos para a enzima condensadora, fazendo com que uma unidade de dois carbonos seja adicionada

à cadeia, de modo que isto ocorre ciclicamente até que 16 ou 18 carbonos tenham sido adicionados (TAIZ; ZEIGER, 2009). Sete ciclos de condensação produzem o palmitoil saturado com 16 carbonos, estando este ainda ligado à ACP. Por razões ainda não bem compreendidas, a alongação da cadeia geralmente para neste ponto e é liberado o palmitato livre da molécula de ACP pela ação de uma atividade hidrolítica existente no complexo sintase. Porém, também pode ser observada a presença de quantidades menores de ácidos graxos de cadeias mais longas, como o estearato (18:0) (LEHNINGER; NIELSON; COX, 1995).

O primeiro passo relacionado à dessaturação também ocorre nos plastídios. Enquanto a cadeia acil ainda está conjugada com a ACP a enzima Δ^9 -dessaturase converte esteraoil ACP (18:0) a oleoil ACP (18:1). O término da alongação dos ácidos graxos é catalizada pelas acil-ACP tioesterases, das quais existem dois tipos nas plantas, FatA e FatB (DURRETT et al., 2008). A classe FatA preferencialmente remove oleato do ACP, enquanto FatB tioesterases são mais ativas com acil-ACPs saturados e insaturados, sendo que em algumas espécies, com cadeias de acil-ACPs mais curtas (SALAS; OHLROGGE, 2002). Após a remoção da ACP, os ácidos graxos são exportados do plastídio para o retículo endoplasmático e são convertidos em acil-CoAs. Ácidos graxos que ainda estão sendo formados podem fazer parte de triacilgliceróis em sementes em desenvolvimento de várias maneiras. Uma série de reações conhecida como via de Kennedy resulta na esterificação de duas cadeias acil, provenientes de acil-CoA, em glicerol-3-fosfato para formar ácido fosfatídico. Na sequência, ocorre a remoção do grupo fosfato, dando origem ao diacilglicerol (DAG). A diacilglicerol transferase (DGAT) usa a acil-CoA como doadora de grupo acil, convertendo o diacilglicerol em triacilglicerol (TAG). Uma rota alternativa a este processo reside no fato de que DAG pode ser interconvertido em fosfatidilcolina (PC), e vice-versa, pela ação da colinafosfotransferase. Este processo parece ser importante para aquelas espécies que acumulam ácidos graxos polinsaturados, fato este observado, por exemplo, quando ocorre a dessaturação do oleato (18:1) isto ocorre quando ele se encontra esterificado pela PC (DURRETT et al., 2008).

3.4 SOJA: ACÚMULO DE RESERVAS NAS SEMENTES E FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR

O acúmulo de matéria seca no início do desenvolvimento das sementes é relativamente lento, pois nessa fase predominam a divisão e a expansão celulares,

responsáveis pela constituição da estrutura adequada para receber as substâncias transferidas da planta-mãe (MARCOS FILHO, 2005).

Considerando os estádios fenológicos da cultura da soja, em R2, ou seja, pleno florescimento, a planta acumulou somente cerca de 25% de sua matéria seca final e nutrientes. Esse estágio marca o início de um período de rápido e constante acúmulo diário das taxas de matéria seca e de nutrientes pela planta, que continuará até logo após o estágio R6. Essa rápida acumulação inicia-se nas partes vegetativas (folhas, hastes, pecíolos e raízes), deslocando-se gradualmente para as vagens e sementes em formação. Em R3 ocorre o início da formação de vagens, sendo que em R4 as vagens já estão formadas e ocorre um rápido crescimento das mesmas, além do início do desenvolvimento das sementes. O período compreendido entre R4 e logo após R5.5 é um período de rápida e constante acumulação de matéria seca pelas vagens. Estresse (umidade, luz, deficiências nutricionais, geada, acamamento ou desfolha), ocorrendo a qualquer momento entre os períodos de R4 a logo após R6 reduzirá mais a produção do que a ocorrência do mesmo estresse em qualquer outro período de desenvolvimento. O período de R4.5 (formação das últimas vagens) a aproximadamente R5.5 é muito crítico porque o florescimento completa-se e não pode ser compensado, uma vez que as vagens e sementes novas são mais propensas a abortar sob estresse que as vagens e sementes mais velhas. As perdas de produção ocorridas nesse período devem-se principalmente à redução no número total de vagens por planta do que à redução no número de sementes por vagem ou no tamanho da semente. No estágio R5 ocorre o início da formação da semente. Em R5.5 as sementes iniciam um rápido período de constante acúmulo de matéria seca e nutrientes, sendo que logo após esta fase ocorre o máximo acúmulo de matéria seca e de nutrientes nas folhas, pecíolos e ramos, iniciando a seguir a sua redistribuição (translocação) dessas partes da planta para as sementes em desenvolvimento. O período de rápida e constante acumulação de matéria seca na semente continua até logo após R6.5, no qual a semente está com aproximadamente 80% da sua matéria seca total. A demanda por água e nutrientes é alta ao longo do período de enchimento das sementes. Em R6 as sementes já se encontram cheias e são verdes. A taxa de crescimento dos grãos nessa fase ainda é muito rápida, começando a diminuir logo após de R6.5 e sendo máximo próximo a R7. Nos estádios R7 e R8, embora nem todas as vagens numa planta em R7 tenham perdido a cor verde, a planta essencialmente se encontra em maturidade fisiológica porque muito pouca matéria seca adicional será acumulada. Neste momento, as sementes possuem aproximadamente 60% umidade. Em R8, 95% das vagens apresentam-se maduras. A maturidade fisiológica das sementes de soja pode ser identificada pela coloração amarela das

sementes e variações da cor do hilo. Uma população de sementes de soja está madura quando aproximadamente 95% das sementes atingem a coloração amarela e apresenta hilo heterocromo, isto é, de coloração diferente da do tegumento (CARLSON; LERSTEN, 2004; INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE/IPNI, 2010; VAZ; SANTOS; ZAIDAN, 2008).

O processo de embriogênese em fabáceas se divide em quatro fases. As fases I e II compreendem a divisão e expansão (alongamento) celular, a fase III é caracterizada pelo acúmulo de reservas e o aumento progressivo da matéria seca das sementes. Em seguida, no final do processo de transferência de matéria seca, intensifica-se a desidratação das sementes (fase IV). Os fotossintatos (açúcares e aminoácidos e outros solutos) são transportados para a semente via floema, através de gradiente osmótico, em que o fluxo de água gera razoável pressão, reduzida quando essas substâncias atingem a semente. O gradiente de pressão da fonte para o dreno dirige o fluxo de massa do conteúdo do floema. O transporte para as sementes, via xilema, é muito limitado. Não há conexão vascular direta entre o embrião em formação e a planta-mãe, nem entre o tegumento e o embrião ou o endosperma. Assim, a sacarose produzida, via fotossíntese, em folhas em vagens, pode ser armazenada temporariamente como amido, nas vagens, antes da remobilização e transferência para as sementes. O transporte a curtas distâncias é efetuado via filamentos vasculares que se ramificam na vagem, atravessam o funículo e atingem os tegumentos. A partir daí, ocorre a difusão das substâncias para os cotilédones. A semente recebe um número relativamente pequeno de substâncias para o seu desenvolvimento, devendo sintetizar a grande maioria deles. A síntese ocorre em compartimentos específicos: amido e lipídios em plastídios e proteínas no citoplasma e retículo endoplasmático. O acúmulo de carboidratos precede o de lipídios e de proteínas porque são precursores ou o participam indiretamente da síntese desses compostos nas sementes. O carbono assimilado anteriormente ao florescimento é menos disponível para o desenvolvimento dos frutos que o nitrogênio. Isto faz com que o acúmulo de reservas nas sementes seja muito dependente dos assimilados durante a frutificação, tornando a produção de sementes extremamente sensível a fatores do ambiente que possam reduzir a fotossíntese, pois aproximadamente 85% do carbono que chega aos tegumentos da semente, na forma de sacarose, provém da fotossíntese. Cerca de 90% da matéria seca acumulada é armazenada nos cotilédones. O conteúdo de DNA e RNA nos cotilédones aumenta durante a fase de expansão celular. Além de reservas, as sementes também acumulam fitormônios (citocininas, auxinas, ácido abscísico e giberelinas). De acordo com a Tabela 3, o período crítico de acúmulo de reservas pelas sementes de soja ocorre nos estádios R5 e R7, fase em

que a planta se mostra muito sensível a períodos de deficiência hídrica. Assim, a escolha adequada da época de semeadura influencia as relações entre temperatura, radiação solar, disponibilidade de água e desenvolvimento das plantas (CARLSON; LERSTEN, 2004; HILL; BREIDENBACH, 1974; IPNI, 2010; MARCOS FILHO, 2005; WILSON, 2004; ZEEVAART, 1962).

Tabela 3 – Variação na composição da semente de soja em função dos estádios de desenvolvimento

Estádios	Conteúdo de água	Matéria seca	Proteínas	Óleo	Açúcares
	g kg ⁻¹mg sem ⁻¹			
R4	784	0,2	--	0	--
R5	831	5,9	2,5	0,1	1,3
R6	624	123,6	42	26,7	19,3
R7	519	194,2	71,9	31,2	30,8
R8	97	188,3	73,4	36,2	32,4

Fonte: Adaptado de Marcos Filho (2005)

Os fatores que regulam a biossíntese de lipídios em vegetais são inúmeros. Relatos na literatura comentam a respeito da forte regulação genética destes eventos (HILLS, 2004; MARCOS FILHO, 2005). No caso específico da soja, por exemplo, ocorre uma forte correlação negativa entre a concentração de proteína e óleo (HURBURGH et al., 1990), o que significa dizer que as influências genéticas ou ambientais que causem aumento de proteína, resultarão em redução do conteúdo de óleo. Um aumento de 1% na concentração de proteína foi associado a um declínio de 0,43% na concentração de óleo (GIBSON; MULLEN, 1996). Há relatos, também, que existe uma correlação genética negativa entre proteína e rendimento, mas uma correlação positiva entre óleo e rendimento (WILCOX; GUODONG, 1997).

Trabalho de LIU (1999) relatou que entre 10 genótipos de soja selecionados em cultivos no Arkansas (EUA), em base de matéria seca, os valores de proteína variaram de 39,5% a 50,2%, óleo 16,3% a 21,6% e proteína mais óleo de 59,7 a 67,5%. Nas linhagens da coleção de germoplasma norte-americana de modo geral, no entanto, a variação é ainda maior, com proteína variando de aproximadamente 30% a mais de 50% e óleo de aproximadamente 12% a quase 30%. O autor ainda relata que, além das questões genotípicas, devem ser considerados o ano de cultivo, localização geográfica e condições ambientais de cultivo. WILSON (2004) relatou variações de proteína entre 34,1 e 56,8%, com média de 42,1%, enquanto teores de óleo variando de 8,3 a 27,9%, com média de 19,5%.

A temperatura ambiente durante a fase de enchimento de grãos tem forte correlação com o teor de proteínas, óleo e composição de ácidos graxos em soja. Em trabalho realizado em oito ambientes distintos, Gibson e Mullen (1996) concluíram que a temperatura foi a principal variável na determinação da composição de ácidos graxos. Temperaturas mais elevadas (35 °C diurna/30 °C noturna) foram associadas com o aumento do teor de ácido oléico, em detrimento das concentrações de ácido linoléico e linolênico. O ácido oléico é convertido a ácido linoléico, e este a ácido linolênico por reações de dessaturação que, ao serem afetadas por temperaturas diurnas e noturnas altas em todo o período reprodutivo, parecem ser mais lentas.

De acordo com Castro; Kluge e Peres (2005), experimentalmente observou-se que a biossíntese de ácidos graxos sofre efeito primário do oxigênio e indiretamente de temperatura. Considerando que o O₂ é mais solúvel em águas frias, quando a temperatura do meio diminui, há aumento na biossíntese de ácidos graxos insaturados em relação aos saturados. No entanto, ao ser mantido o nível de oxigênio constante, observou-se diminuição dos ácidos graxos insaturados em ambiente mais frio. Ao fixar a temperatura e aumentar disponibilidade de oxigênio, ocorreu aumento de ácidos graxos insaturados. Os mesmos autores ainda relatam que a produção de maiores quantidades de ácidos graxos insaturados por plantas cultivadas em baixas temperaturas pode representar proteção contra o ambiente hostil, pois esses ácidos graxos apresentam menor ponto de solidificação de que os saturados análogos. Isto confere às plantas capacidade de crescer e de desenvolver sob baixas temperaturas sem que as funções das membranas sejam afetadas.

Com relação ao manejo agrônomico, muitos são os trabalhos que relatam a influência deste sobre o rendimento da soja, mas poucos os que relatam a influência sobre o teor de óleo e proteínas. Em trabalho com quatro cultivares precoces de soja, em três anos agrícolas, Mascarenhas et al. (1996) obtiveram aumento do teor de proteína e redução do teor de óleo nos grãos em função da calagem. A possível justificativa para isto encontra-se na melhoria do ambiente de crescimento radicular, devido à redução da acidez, o que leva a maior fixação simbiótica de nitrogênio e também maior disponibilidade de molibdênio. Tendo em vista que este faz parte da enzima redutase de nitrato, pode-se afirmar que sua presença levaria a uma maior síntese de aminoácidos e, conseqüentemente, maior síntese de proteínas. Gao et al. (2009) estudaram os efeitos de quatro sistemas de manejo agrônomico sobre o teor de óleo e a composição de ácidos graxos (sistema convencional com alto aporte de insumos externos; sistema plantio direto com alto aporte de insumos externos; sistema convencional com baixo aporte de insumos externos e sistema convencional sem aporte de insumos externos –

orgânico). Neste, concluíram que os sistemas de cultivo não afetaram os teores de óleo de maneira significativa, havendo diferença apenas entre os anos em que o experimento foi conduzido, o que sugere efeito climático de temperatura e precipitação sobre esta variável. No entanto, os autores ressaltam que o rendimento de grão foi maior no sistema plantio direto com alto aporte de insumos externos, o que representaria rendimento de óleo por unidade de área maior do que nos demais sistemas.

Em experimento com fertilização com P e K em doses distintas, Jones e Lutz (1971) observaram que houve decréscimo no teor de óleo com o aumento das doses de P e K, além de resposta não conclusiva para proteína. No entanto, como houve resposta em rendimento de grãos, ao considerar este fator tanto rendimento de óleo quanto de proteína sofreram incrementos. Haq e Mallarino (2005) estudaram os efeitos da fertilização foliar em soja (NPK) em 42 locais e da fertilização via solo de P e K em 35 locais. A fertilização foliar aumentou o teor de óleo e de proteína em apenas um local, tendo ocasionado redução de proteína em dois locais. Com relação à fertilização via solo de P houve aumento do teor de óleo em dois e de proteína nos grãos em cinco locais, porém houve redução do teor de óleo em cinco locais e de proteína em dois locais. Deste modo, os autores concluem que o efeito da fertilização na soja não é frequente, sendo inconsistente e com efeitos pequenos sobre as concentrações de óleo e proteína, sendo possível ressaltar, porém, que os rendimentos totais por unidade de área de óleo e proteína podem ser incrementados tendo em vista que o rendimento de grãos tem apresentado resposta positiva.

3.5 PROCESSO DE EXTRAÇÃO: METODOLOGIAS QUE QUANTIFICAM LIPÍDIOS

O processo industrial de extração de óleo vegetal de soja, e de outras oleaginosas, é compreendido por três fases: armazenamento das sementes, preparação da matéria-prima e extração do óleo bruto. O armazenamento, semelhante ao armazenamento de grãos para fins agrícolas, deve respeitar teor de água, temperatura, limpeza e aeração adequados com vistas a evitar problemas com aquecimento da massa de grãos, aumento da acidez, escurecimento do óleo, modificações organolépticas e estruturais do óleo. O processo de preparação compreende as etapas de pré-limpeza, descascamento (remoção do tegumento), condicionamento (aquecimento da massa, após descascamento, entre 55 e 60 °C), trituração e laminação (para que aja aumento da superfície para saída do óleo) e cozimento (rompimento das paredes celulares para facilitar a saída do óleo). Na sequência, tem-se o processo de extração propriamente dito (MANDARINO; ROESSING, 2001; MORETTO; FETT, 1998).

De acordo com Mandarino e Roessing (2001), nas indústrias esmagadoras mais antigas, o óleo é parcialmente extraído por meio mecânico de pressão em prensas contínuas ou “expellers”, sendo que a torta resultante deste processo é submetida à ação de solvente orgânico (hexano). O solvente então é recuperado e o óleo separado do solvente é misturado ao óleo bruto que foi retirado na prensagem. Essa mistura dos dois óleos é submetida a uma filtração para eliminar suas impurezas mecânicas, que são partículas arrastadas dos cotilédones dos grãos. A torta ou farelo extraído, contendo menos de 10 g kg^{-1} de óleo, é submetido à moagem e em seguida é armazenado em silos ou ensacado. Nos processos mais modernos, os flocos são introduzidos diretamente nos extratores e o óleo é extraído diretamente com o solvente orgânico.

Nos trabalhos científicos, porém as metodologias que extraem e quantificam lipídios são um tanto distintas dos métodos utilizados industrialmente. Algumas amostras requerem cuidados especiais, pois fatores como co-extração dos componentes não-lipídicos e a oxidação indesejada podem influenciar a qualidade final da fração lipídica (BRUM; ARRUDA; REGITANO-D'ARCE, 2009). Dentro os diversos métodos, pode-se citar o método de Soxhlet, Bligh e Dyer (1959) e de Folch et al. (1957).

O método clássico de Soxhlet (1879) é a técnica mais antiga e difundida de extração, sendo uma das principais metodologias adotadas como referência de eficiência de extração. Franz Von Soxhlet ao desenvolver o primeiro aparelho para extração, demonstrou preocupação quanto à importância do grau trituração da amostra, para que o método seja eficiente. O método consiste no tratamento sucessivo e intermitente da amostra imersa em um solvente puro (n-hexano, éter de petróleo ou éter dietílico) devido à sifonagem e subsequente condensação do solvente, que é aquecido dentro do balão que se encontra na base do aparelho (LUQUE DE CASTRO; GARCÍA-AYUSO, 1998).

As maiores vantagens do método de Soxhlet são: a amostra está sempre em contato com o solvente, o que facilita a sua constante renovação; a temperatura do sistema se mantém relativamente alta, pois o calor aplicado no balão de destilação atinge a cavidade de extração até certo ponto; não há necessidade de filtrar a miscela após o processo de extração, pois a amostra é acondicionada em cartucho; o rendimento de amostras pode ser aumentado pela possibilidade de proceder extrações simultâneas, tendo em vista que o equipamento básico é relativamente barato; é uma metodologia simples que possibilita a extração de uma quantidade maior de óleo em relação a outras metodologias. Como principais desvantagens, podem ser citadas: longo tempo requerido para a extração; grande volume de solvente utilizado, o qual não é somente de alto custo, mas também pode causar problemas ambientais;

as amostras geralmente são extraídas no ponto de ebulição do solvente por um longo período de tempo, de maneira que analitos termolábeis presentes podem ser decompostos termicamente; o aparelho de Soxhlet convencional não fornece esquema de agitação, o que poderia acelerar o processo; devido a grande quantidade de solvente utilizado, uma etapa de evaporação/concentração é obrigatória depois da extração; a técnica é restrita à seletividade do solvente (LUQUE DE CASTRO; GARCÍA-AYUSO, 1998).

Com relação aos métodos de Bligh e Dyer (1959) e de Folch et al. (1957), estes são apontados como alternativas efetivas e com melhor rendimento em amostras de tecidos animais, pois não utilizam um único solvente, de maneira que a mistura de solventes ideal é suficientemente polar para removê-la das associações com as membranas celulares ou com lipoproteínas, sem que ocorra reação química (BRUM; ARRUDA. REGITANO-D'ARCE, 2009). Reconhecendo estas características, Folch et al. (1957) desenvolveram um método usando uma mistura de clorofórmio e metanol, seguida pela adição de solução de cloreto de potássio, visando melhor separar as fases. Na sequência, Bligh e Dyer (1959) modificaram o método de Folch et al. (1957), denominando-o “método rápido para extração e purificação dos lipídios totais”. Como principal desvantagem deste método podem-se citar o nítido fato do metanol ser tóxico e o clorofórmio carcinogênico, o que exige local de trabalho totalmente adequado além de cuidados redobrados em sua manipulação.

Comparando quatro métodos de extração de lipídios em produto de origem animal e vegetal, Brum; Arruda e Regitano-D'Arce (2009) concluíram que o método de Soxhlet pode ser recomendado tanto para amostras de origem animal como vegetal, quando o extrato obtido não for empregado posteriormente para análises qualitativas. A justificativa é de que devido ao tempo de refluxo (4 a 8 h) e aquecimento constante, ocorre um favorecimento da hidrólise dos triacilgliceróis. Quando o objetivo da extração for utilizar posteriormente o extrato, os mesmos autores recomendam a metodologia de Bligh e Dyer (1959) para ambos os tipos de amostra.

Porém, ao se consultar a literatura com referência à utilização do método de Soxhlet para extração e posterior utilização do extrato, inúmeros são os trabalhos relatados (BANAS et al., 2007; PINHO; OLIVEIRA; SILVA, 2009; PRESTES et al., 2007; SALGADO et al., 2008; YILMAZ; SARI; DEMIRBAS, 2002; ZHELJAZKOV et al., 2012). Prestes et al. (2007), por exemplo, ao propor um método de análise de qualidade de óleo em sementes intactas por ressonância magnética nuclear de baixo campo (RMN), descreveram em seu material e métodos a utilização do método de Soxhlet para extração dos lipídios para comparação e calibração do método por RMN.

3.6 FUNÇÕES E FONTES DE FÓSFORO

A essencialidade do fósforo (P) para o crescimento e desenvolvimento vegetal foi evidenciada por Ville em 1860 (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1980). O fósforo é considerado um macronutriente e pela classificação dos nutrientes minerais essenciais às plantas de acordo com a função bioquímica, este faz parte do grupo 2, ou seja, do grupo que compreende os elementos importantes em reações de armazenamento de energia ou na manutenção da integridade estrutural (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O fósforo desempenha papel importante como composto das células vegetais, incluindo fosfato-açúcares, intermediários da respiração e da fotossíntese, bem como fosfolipídios que compõem as membranas vegetais. É também um componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético da plantas (como ATP) e no DNA e RNA, participando ainda da composição ainda de coenzimas e do ácido fítico, essencial ao metabolismo germinativo das sementes e fator antinutricional para animais (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2009).

As plantas absorvem a maior parte do P como ânion monovalente – ortofosfato biácido – H_2PO_4^- , e em menor proporção, como ânion divalente – ortofosfato monoácido – HPO_4^{2-} . As plantas podem utilizar outras formas de P, mas em menores quantidades. O pH do solo tem influência na proporção em que essas duas formas de P estão disponíveis para absorção pela planta. O ânion monovalente tem sua disponibilidade aumentada em valores de pH abaixo de 7, enquanto o ânion divalente tem sua disponibilidade aumentada em valor de pH acima de 7. No caso de pH muito alcalino, quase todo o P se encontra sob a forma de PO_4^{3-} , a qual não é absorvida pelas plantas. Em caso contrário, ou seja, em solos muito ácidos, as concentrações de ferro (Fe) e alumínio (Al) em solução são relativamente altas, podendo provocar a precipitação de P como fosfatos de Fe e Al (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Internamente à planta, o P também se move na forma de fosforilcolina (ácido fosfórico ligado à colina), distribuindo-se facilmente pelo floema (FAÇANHA; CANELLAS; DOBBSS, 2008).

O teor total médio de P na litosfera é de $2,8 \text{ g kg}^{-1}$ de P_2O_5 . No entanto, muitos solos contêm de $0,2$ a $0,8 \text{ g kg}^{-1}$ de P. O P encontra-se em compostos que estão distribuídos em muitas rochas, minerais, plantas e animais. No solo, o P pode ser encontrado em formas orgânicas e inorgânicas. Nas plantas, os teores de P podem variar de $0,5$ a $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria seca da planta, sendo considerados adequados para crescimento normal das plantas teores entre $1,0$ e $1,5 \text{ g kg}^{-1}$. Plantas deficientes apresentam teores foliares menores do que $1,0$

g kg^{-1} , enquanto acima de $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ podem ser observados sintomas de toxidez (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; MALAVOLTA, 1980).

Ao levar em consideração os solos da região dos Campos Gerais, predominantemente se observa a presença de Cambissolos, Latossolos e Argissolos (EMBRAPA, 2009). Devido às formações geológicas que deram origem a estas unidades pedológicas e ao grau de intemperismo dos mesmos, estes solos apresentam alta acidez, a qual pode ser corrigida através da calagem. Num segundo momento, o principal fator limitante ao rendimento das culturas tem sido os baixos teores de P disponível nos solos, elemento encontrado em baixos teores e com forte interação com o solo (FAGERIA, 1998; RAIJ, 1991).

Como o Sistema Plantio Direto (SPD) encontra-se plenamente difundido na região dos Campos Gerais, ao se pensar nas estratégias de fertilização não se faz sentido focar nas necessidades apenas da cultura a ser imediatamente instalada, como preconiza os sistemas convencionais, mas se deve focar no sistema como um todo (ANGHINONI, 2007). Neste sentido, estratégias de correção e fertilização do solo que visem melhor distribuir as atividades no campo no momento da semeadura podem ser alternativas importantes. A época de semeadura das culturas de primavera-verão, basicamente soja e milho, coincide com períodos de precipitação pluvial consideráveis, o que disponibiliza espaço de tempo curto para os procedimentos adequados ao processo de semeadura. Deste modo, com a antecipação das fertilizações, aplicando os nutrientes quando da semeadura da cultura de outono-inverno, reduziriam-se as atividades e tráfego de maquinários neste período.

Com vistas ao conhecimento da antecipação da adubação fosfatada, é importante ressaltar que as fontes disponíveis para isto, no Brasil, são diversas. De acordo com Moreira e Malavolta (2001), os fosfatos mais comumente disponíveis no Brasil podem ser: (i) fosfatos solúveis em água, (ii) fosfatos solúveis em ácido cítrico e (iii) fosfatos com baixa solubilidade em água e ácido cítrico. Os superfosfatos são as fontes de P mais empregadas na agricultura, pois apresentam alta solubilidade em água e em ácido cítrico, o que geralmente resulta em melhores rendimentos e eficiência agrônômica (RESENDE et al., 2006). Em outro plano, o termofosfato magnésiano (TFM) tem demonstrado eficiência agrônômica por ser solúvel em ácido cítrico, de maneira que a disponibilização de P para o sistema ocorre paulatinamente, o que favorece a dinâmica deste elemento no solo, pois a presença de silicato em sua fórmula possibilita redução da fixação de P no solo (MOREIRA; MALAVOLTA, 2001). Com relação aos fosfatos naturais de origem sedimentar, estes são insolúveis em água e apresentam baixa solubilidade em ácido cítrico (NASCIMENTO et al., 2002).

De acordo com o que descreve o IPNI (2011), o superfosfato-triplo (SFT) foi um dos primeiros fertilizantes com altos teores de fósforos a ser largamente utilizado no século XX. Ele é obtido através da adição de ácido fosfórico à rocha fosfática de maneira que supre a necessidade de acidez (prótons) para que alguma dissolução em água se inicie. Tecnicamente, o SFT pode ser chamado de fosfato dihidrogenado de cálcio e também fosfato monocálcico $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$, sendo capaz de fornecer em torno de 45% de P_2O_5 e 15% de cálcio unidade de massa⁻¹, além de apresentar solubilidade em água próxima de 90% e pH em solução entre 1 e 3.

O termofosfato magnesiano é obtido através da fusão (1450 °C) de fosfato natural (apatita ou fosforita) com uma rocha magnesiana (serpentina) e resfriamento rápido (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007). Após o resfriamento, o material é moído até se transformar em um pó fino, sendo eficiente em solos ácidos, capaz de corrigir acidez, além de fornecer aproximadamente 17% de P_2O_5 , 16% Mg^{+2} , 28% de CaO, além de silício (RAIJ, 1991).

O fosfato natural reativo (FNR) consiste na própria rocha fosfática (principalmente apatita) obtida em depósitos geológicos no mundo todo, a qual é moída e aplicada no solo. Isto representa uma fonte de fósforo de baixa solubilidade, mas também de baixo custo. Para otimizar a eficiência da aplicação de fosfato natural reativo, alguns fatores devem ser observados, como: aplicação em solos com pH inferiores a 5,5, onde a aplicação de calcário para aumento de pH e redução dos efeitos da toxicidade de alumínio podem ocasionar dissolução mais lenta do FNR; baixos teores de cálcio e altos teores de matéria orgânica tendem a aumentar a velocidade de dissolução do FNR; a dissolução de FNR aumenta com uma maior capacidade de fixação de fósforo do solo (tais como teor de argila); a aplicação no sulco de semeadura ou incorporada aumenta o contato com o solo e melhora a dissolução; necessidade de aplicação anterior à demanda pela cultura, devido ao tempo para biodisponibilização de P (IPNI, 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ASPECTOS GERAIS

O trabalho de campo foi desenvolvido no município de Castro, na Região dos Campos Gerais, entre o primeiro e o segundo planalto do Paraná, com altitude média de 1.020 m. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é temperado propriamente dito (Cfb), com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C e sem estação seca definida (CAVIGLIONE et al., 2000).

Na área de estudo, o solo foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico textura muito argilosa, contendo 570 g kg⁻¹ de argila, 252 g kg⁻¹ de silte e 178 g kg⁻¹ de areia (EMBRAPA, 2009c). A área é cultivada sob Sistema Plantio Direto, sendo que nos cinco anos anteriores a este experimento a rotação de culturas correspondeu a: aveia preta (*Avena strigosa*) (2004), milho (*Zea mays*) (2004/2005), azevém (*Lolium multiflorum*) (2005), soja (*Glycine max*) (2005/2006), trigo (*Triticum aestivum*) (2006), soja (2006/2007), aveia preta (2007), milho (2007-2008), azevém (2008), soja (2008/2009), aveia preta (2009), milho (2009/2010), azevém (2010). Nas safras de outono-inverno dos anos de 2009 e 2010, as forrageiras receberam animais para pastejo, caracterizando sistema de Integração Lavoura Pecuária (ILP). As informações relativas às condições químicas do solo antes da implantação do experimento são apresentadas na Tabela 4. Os dados se referem à amostragem realizada de 0 - 0,10 m.

Tabela 4 – Análise química de rotina do solo

pH ⁽¹⁾	H + Al	Al	Ca	Mg	K	CTC ⁽²⁾	P ⁽³⁾	COT ⁽⁴⁾	V ⁽⁵⁾
----- mmol _c dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	
5,0	80,3	0,2	43,9	29,5	0,4	154,3	6,8	32,6	47,1

Fonte: Laboratório de Nutrição de Plantas (2009)

⁽¹⁾ pH em solução de cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹;

⁽²⁾ CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0;

⁽³⁾ P disponível por solução de Mehlich-1;

⁽⁴⁾ COT: carbono orgânico total;

⁽⁵⁾ V: saturação por bases.

Na primeira semana de abril de 2010, foi realizada a semeadura da aveia preta (safra de outono-inverno), ocasião em que os tratamentos foram aplicados em área total (com exceção da dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para todas as fontes), não havendo, portanto, a incorporação destes. Os tratamentos e os níveis foram:

- 1) Superfosfato-triplo (SFT): 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente;
- 2) Fosfato Natural Reativo (FNR): 60, 120, 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente;
- 3) Termofosfato magnésiano: 60, 120, 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente;

A dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de SFT, FNR e TFM, foi aplicada por ocasião da semeadura da soja, na safra primavera-verão. O delineamento experimental foi de blocos completamente aleatorizados, em esquema fatorial 3 x 3 (três fontes e três doses), com quatro repetições, sendo que a dose aplicada por ocasião da safra de primavera/verão foi empregada como testemunha regional para o teste de comparação por contrastes.

A cultura da soja foi semeada em 13 de novembro de 2010, com espaçamento entre linhas de 0,40 m e densidade de 16 sementes m⁻¹. A cultivar utilizada foi a BMX Apolo RR (protegida sob o nome Don Mario 5.8i - marca registrada Brasmax), a qual é um genótipo de porte médio, ciclo super-precoce com duração aproximada de 125 dias, resistente ao acamamento, exigente em fertilidade do solo, não tolerante a perdas em sua área foliar e recomendada para a região onde este trabalho foi desenvolvido. Previamente à semeadura, a área foi dessecada com herbicida composto de imezetapir + glyphosate. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* e tratadas com o fungicida carbendazin e com o inseticida fipronil. Como adubação de base, realizou-se aplicação de 200 kg ha⁻¹ de KCl, dose definida pela extração de nutrientes da cultura anterior.

Com relação aos tratos culturais, no dia 27 de dezembro de 2010 foi aplicado herbicida glyphosate. Em 11 de janeiro de 2011, fez-se necessária a aplicação do fungicida composto de trifloxistrobina+ciproconazol misturado a um adjuvante à base de óleo mineral e do inseticida teflubenzuron, visando controle preventivo de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrizi*) e de lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatilis*). Na data de 03 de fevereiro, foram aplicados os fungicidas piraclostrobina+epoxiconazol (tratamento preventivo contra ferrugem asiática) misturado com óleo mineral e metconazol (controle de oídio – *Microsphaera diffusa*), além do inseticida para controle da lagarta-da-soja. Os últimos tratos culturais anteriores à colheita foram realizados em 21 de fevereiro, quando foram aplicados novamente os fungicidas piraclostrobina+epoxiconazol misturado com óleo mineral e metconazol, além dos inseticidas metoxifenoazida (controle da lagarta-da-soja) e tiametoxan+lambdacialotrina (controle de percevejos).

A colheita ocorreu na última semana do mês de março de 2011, tendo sido colhidas as plantas contidas em 5 m das seis linhas centrais de cada parcela, o que totalizou 13,2 m². Os grãos foram secos em estufa a 40 °C com circulação forçada de ar, para as determinações

de rendimento e posterior utilização dos grãos para demais determinações. O rendimento de grãos foi expresso corrigindo-se a massa de grãos para 130 g kg^{-1} de conteúdo de água.

4.2 VARIÁVEIS DEPENDENTES

Da massa de grãos colhida para as determinações de rendimento de grãos (kg ha^{-1}), foram realizadas amostragens aleatórias para compor massa de grãos para as determinações de massa de 100 sementes (g), teor de óleo (g kg^{-1}) (lipídios totais), teor de P (g kg^{-1}) e teor de N total no grão (para cálculo de proteína no grão e total). Com estas variáveis determinadas, foi possível estimar rendimento de óleo (kg ha^{-1}), acúmulo de P (kg ha^{-1}), além de teor de proteína (g kg^{-1}) e rendimento de proteína (kg ha^{-1}).

As determinações de teor de óleo (lipídios totais) foram realizadas através do método de Soxhlet, empregando adaptações às recomendações descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Como solvente, ao invés de utilizar o éter de petróleo conforme indica esta metodologia, optou-se por utilizar o hexano, pois apresenta menor volatilidade e menor custo com a mesma eficiência (INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY/IUPAC, 1979). O solvente utilizado em todas as extrações foi adquirido de um mesmo fabricante.

Inicialmente, foi determinado o conteúdo de água dos grãos para assegurar que estas se encontravam com conteúdos não superiores a 120 g de água kg^{-1} de sementes. Os cuidados relacionados ao conteúdo de água dizem respeito à eficiência do solvente utilizado, que requer conteúdo de água reduzido. De acordo com Paraíso (2001), conteúdos de água acima de 120 g kg^{-1} de semente dificultam a atuação do hexano na solubilização do óleo. O óleo não se solubiliza na água, mas o hexano apresenta certo grau, mesmo que reduzido, de solubilidade em água. Em seguida, cerca de 35 g de cada amostra foram moídos em moinho do tipo “Willey”, equipado com malha de $0,85 \text{ mm}$, por 3 minutos. Após a moagem, as amostras foram então acondicionadas em embalagens plásticas até o preparo dos cartuchos que seriam conduzidos à extração propriamente dita. Entre 8 e 10 g de amostra (massa determinada em balança com acurácia $0,001 \text{ g}$) foram acondicionados em cartuchos de papel filtro e então conduzidos ao interior do aparato de Soxhlet. Como aparador do conjunto utilizaram-se balões de fundo chato com boca “esmerilhada” e capacidade para 250 mL , devidamente limpos e secos em estufa conforme recomendado pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Adicionou-se, então, o solvente em volume aproximado de 170 mL . Após este procedimento,

acoplou-se o conjunto extrator + balão de fundo chato ao condensador de bolas, sob chapa de aquecimento regulada com temperatura próxima ao ponto de ebulição do solvente (65-70 °C).

Optando-se por seguir as recomendações do Instituto Adolfo Lutz (2008), o processo de extração foi realizado por 8 h ininterruptamente, tendo sido observadas entre 6 e 8 sifonagens hora⁻¹. Decorrido o tempo de extração, removeu-se o cartucho que continha a amostra e procedeu-se destilação do solvente até que fosse observada ausência de condensamento contínuo. Transferiu-se, então, o balão para estufa a 105 °C para remoção dos resquícios de solvente, tendo sido determinadas a massa de cada balão em balança com acurácia de 0,001 g, após a passagem destes pelo dessecador. O teor de óleo (g kg⁻¹), então, foi determinado através da massa de óleo presente no balão em relação à massa da amostra acondicionada no cartucho.

A determinação do teor de P (g kg⁻¹), amostras moídas de grão foram submetidas à digestão nítrico-perclórica (HNO₃ e HClO₄) e posterior leitura por espectrofotometria de absorção molecular (EAM), de acordo com o sugerido por Malavolta; Vitti e Oliveira (1997).

Para as determinações do teor de nitrogênio total no grão, também foram seguidas as recomendações de Malavolta; Vitti e Oliveira (1997). Amostras moídas de grãos foram submetidas à digestão sulfúrica e a leitura foi feita pelo método de semi-micro-Kjeldahl. Com o teor de N total no grão foi possível estimar o teor de proteína (g kg⁻¹), através do método sugerido por Galvani e Gaertner (2006). Para tanto, multiplicou-se o valor de N total pelo fator 6,25, obtendo-se, então, o referido teor de proteína. Este fator se baseia na relação de que o conteúdo de nitrogênio nas diferentes proteínas é de 16%, o que introduz o fator de correção de 6,25 para soja e outros alimentos (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

As determinações de rendimento de grãos foram realizadas no Laboratório de Sementes. Com relação às determinações de teor de água para o rendimento e determinações analíticas dos nutrientes P e N, estas foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas. Para teor de óleo e checagem do conteúdo de água previamente às extrações de óleo foram realizadas no Laboratório de Bromatologia. Todos os laboratórios citados são situados na Universidade Estadual de Ponta Grossa, Campus de Uvaranas.

Os efeitos das fontes e doses de fósforo foram analisados através de análise de variância, com posterior teste de médias para os efeitos significativos. Para comparação de médias utilizou-se o teste de Tukey. Adicionalmente, realizou-se análise por contrastes visando opor os tratamentos aplicados na safra de outono/inverno (antecipação da fertilização) com aquele aplicado na safra de primavera/verão (controle regional ou testemunha). As análises foram realizadas utilizando os programas Microsoft Excel 2010 e Sisvar 5.3.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 VARIÁVEIS DE CONTROLE

Durante o período de condução do experimento foram observadas condições climáticas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da cultura da soja, no que diz respeito à temperatura e precipitação (Figura 2). Os dados meteorológicos foram fornecidos pela Estação Agrometeorológica do Campo Experimental de Castro (PR), da Fundação ABC – Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário.

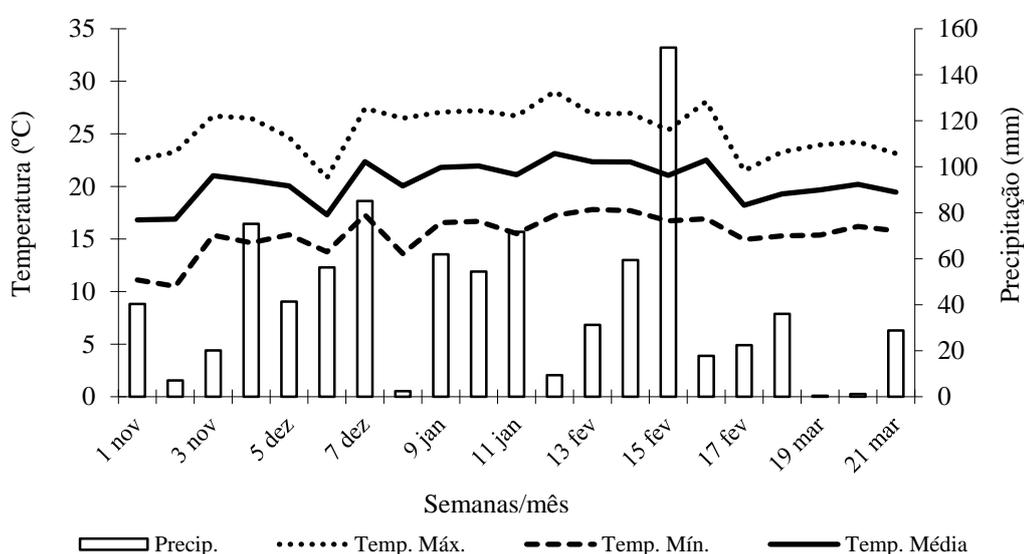


Figura 2 – Precipitação e médias das temperaturas máxima, média e mínima durante o ciclo da cultura da soja

Fonte: Fundação ABC

A média da temperatura mais baixa registrada ocorreu na segunda semana de condução do experimento, sendo esta de 10,5 °C. Com relação à média da temperatura mais alta, esta foi registrada na 12ª semana e foi de 29,0 °C. De acordo com Marcos Filho (2005), para germinação da cultura da soja as temperaturas cardeais são de 8 °C e 40 °C, sendo a ótima de 32 °C. Para a indução floral, EMBRAPA (2011a) relata que as temperaturas devem ser superiores a 13 °C, além de requerimentos quanto ao fotoperíodo. No que diz respeito às demais fases de crescimento e desenvolvimento da cultura, Bergamin; Cancian e Castro (1999) afirmam que para a formação de nódulos e desenvolvimento vegetativa a temperatura ótima está entre 20 e 30 °C. Com relação à transição do estágio vegetativo para o

reprodutivo, a temperatura ótima está em 25 °C, de maneira que temperaturas menores retardam o florescimento e superiores o aceleram. Costa et al. (2005) avaliaram a qualidade física, química e fisiológica de sementes produzidas em diferentes regiões do Brasil e identificaram que o sul do Paraná possui áreas com condições edafoclimáticas adequadas à produção de sementes de soja com elevada qualidade fisiológica, além de teores maiores de proteínas e óleo em relação a sementes providas de outras regiões.

A precipitação total acumulada no período de cultivo da soja foi de 874,2 mm. Conforme EMBRAPA (2011a) a cultura da soja requer entre 450 e 800 mm durante o seu ciclo, dependendo das condições de cultivo e de genótipo. Embora possa ser observado na 8ª semana um provável déficit hídrico (2,4 mm de precipitação), mesmo não se conhecendo a capacidade de retenção de água do solo onde o experimento foi conduzido, mas sabendo que é muito argiloso, pode-se inferir que as chuvas ocorridas na semana anterior tenham garantido suprimento hídrico adequado à cultura, uma vez que o rendimento de grãos não foi comprometido.

A análise do solo demonstrou pH = 5,0 na camada de 0 – 0,10 m, o qual não é limitante ao desenvolvimento da cultura da soja. A presença de alumínio, $0,22 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, também não representa problema potencial, tendo em vista que o teor encontra-se abaixo daqueles prejudiciais ao desenvolvimento vegetal (RAIJ, 1991). O teor de cálcio, de acordo com Pauletti (2004) é considerado alto (maior que $40 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), da mesma maneira que o teor de magnésio (maior que $8,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Com relação ao potássio, seu teor de $0,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ é considerado baixo (menor que $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) por Pauletti (2004) para o cultivo de soja e também de milho na região dos Campos Gerais. O teor de fósforo no solo, o qual compôs os tratamentos deste trabalho, era de $6,8 \text{ mg dm}^{-3}$, o que pode ser considerado como médio (3 a 8 mg dm^{-3}), conforme Pauletti (2004).

5.2 VARIÁVEIS DEPENDENTES

Na Tabela 5 encontram-se sumarizadas as médias gerais obtidas para as variáveis determinadas, com os seus respectivos coeficientes de variação, por ocasião da aplicação dos tratamentos de fontes e doses de fósforo. Complementarmente, resultados da análise por contrastes será demonstrado em seguida, opondo os melhores desempenhos de fontes e doses com o tratamento controle, realizado por ocasião da semeadura de primavera/verão (90 kg ha^{-1} de P_2O_5).

Tabela 5 – Médias gerais e coeficientes de variação de acordo com as variáveis dependentes, em função das fontes e doses de fósforo

Variáveis dependentes	Média geral	CV ⁽¹⁾ (%)
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	5120	10,69
Massa de 100 sementes (g)	16,76	2,98
Teor de óleo (g kg ⁻¹)	159,6	4,6
Rendimento de óleo (kg ha ⁻¹)	817	10,86
Teor de proteína (g kg ⁻¹)	333,67	5,34
Rendimento de proteína (kg ha ⁻¹)	1712	13,9
Teor de P (g kg ⁻¹)	9,97	6,66
Acúmulo de P (kg ha ⁻¹)	51,05	10,29

⁽¹⁾CV: coeficiente de variação.

Em termos gerais, os coeficientes de variação para as determinações realizadas, de acordo com Pimentel-Gomes (2009), podem ser considerados baixos. Quanto às médias alcançadas e seus respectivos comportamentos em função dos tratamentos, serão discutidas em separado, de acordo com cada variável.

A Tabela 6 sumariza os resultados da análise de variância, considerando os efeitos de fontes e doses de fósforo, em esquema fatorial. Foram observados efeitos apenas sobre as variáveis teor de P e acúmulo de P, que seguem destacados na tabela em referência.

Tabela 6 – Efeito das fontes e doses de fósforo sobre as variáveis dependentes de acordo com a análise de variância (p-valor)

Variável	p-valor		
	Fonte	Dose	Fonte x Dose
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	0,4500	0,3668	0,4044
Massa de 100 sementes (g)	0,6463	0,4982	0,4286
Teor de óleo (g kg ⁻¹)	0,5316	0,8319	0,1299
Rendimento de óleo (kg ha ⁻¹)	0,4825	0,4158	0,1600
Teor de proteína (g kg ⁻¹)	0,7977	0,1658	0,2678
Rendimento de proteína (kg ha ⁻¹)	0,5771	0,3093	0,3657
Teor de P (g kg ⁻¹)	0,0032	0,0018	0,4690
Acúmulo de P (kg ha ⁻¹)	0,0081	0,0015	0,7244

De acordo com os tratamentos aplicados, não foi observado efeito significativo tanto para as fontes quanto para as doses de fósforo sobre as variáveis rendimento de grãos (Tabela 7) e massa de 100 sementes (Tabela 8). A média geral de rendimento de grãos foi de 5120 kg ha⁻¹.

Tabela 7 – Rendimento de grãos (kg ha^{-1}) de acordo com as fontes e doses de fósforo

Fontes	Média de rendimento kg ha^{-1}
SFT ⁽¹⁾	5136
FNR ⁽²⁾	4969
TRM ⁽³⁾	5255
Doses	
60 kg ha^{-1} P_2O_5	4972
120 kg ha^{-1} P_2O_5	5292
180 kg ha^{-1} P_2O_5	5096
Média geral	5120

⁽¹⁾SFT: superfosfato-tríplo;

⁽²⁾FNR: fosfato natural reativo;

⁽³⁾TRM: termofosfato magnésiano.

Embora os rendimentos alcançados sejam considerados altos, não se esperava que não houvesse diferença entre as doses aplicadas. É provável que, tendo em vista a disponibilidade de P no solo anterior ao experimento ($6,8 \text{ mg dm}^{-3}$) que de acordo com Pauletti (2004) é considerado médio (3 a 8 mg dm^{-3}) para a produção das principais culturas na Região dos Campos Gerais, provavelmente este teor foi suficiente para aportar o P requerido pela cultura para expressar o seu potencial de rendimento. A avaliação de biodisponibilidade de fósforo tem sido muito discutida devido à dinâmica que este elemento apresenta no solo, podendo haver representações inadequadas dos teores realmente disponíveis à nutrição vegetal. Novais e Smith (1999) consideram que a avaliação da disponibilidade de P através do emprego das soluções de Mehlich-1 e Mehlich-3 é controversa para solos que receberam fosfatos naturais reativos, pois segundo Novais; Smyth e Nunes (2007) estes extratores ácidos apresentam capacidade de dissolver principalmente o fósforo ligado ao cálcio, de maneira que superestimam as concentrações de P biodisponível. No caso da utilização de resina de troca iônica, Büll; Lacerda e Nakagawa (1997) comentam que pode haver superestimação dos valores P, Ca e Mg naqueles solos tratados com termofosfatos, sendo que Soratto e Crusciol (2008) também relataram superestimação nos teores de Ca e Mg em solos que receberam calagem superficial, a qual é prática consolidada no Sistema Plantio Direto (SPD) (CAIRES et al., 2005). Nas análises deste trabalho, o P disponível foi avaliado através da solução de Mehlich-1, sendo que não havia relato anterior de aplicação recente de calcário ou fosfato natural.

De maneira adicional, também não se esperava que o efeito das fontes não fosse significativo sobre os rendimentos, tendo em vista que a solubilidade das mesmas é bastante

distinta, sendo que se esperava rendimento maior para o SFT, seguido do TFM e, por fim, do FNR. Estes resultados evidenciam a baixa resposta da soja à aplicação tanto de fósforo quanto de potássio, conforme relatam Haq e Mallarino (2005), Lantmann et al. (1996) e Oliveira et al. (1992).

A média geral da massa de 100 sementes alcançada neste trabalho, que foi de 16,76 g (Tabela 8), está de acordo com os valores indicados para esta variável pelo detentor do registro da cultivar (Brasmax[®]), o qual relata 16,8 g em condições de cultivo não restritivas ao crescimento e desenvolvimento. Com disponibilidade de fósforo no solo de 3 mg dm⁻³ e 15 mg dm⁻³, Ventimiglia et al. (1999) obtiveram massa de 100 sementes de 13,1 g e 15,2 g, respectivamente. Liu; Orthoefer e Brown (1995) estudaram dez genótipos de soja com massa de 100 sementes entre 7,6 e 30,3 g e demonstraram não haver relação entre esta variável e os teores de óleo e proteína, sendo que os teores de óleo variaram entre 163 e 216 g kg⁻¹ e de proteína entre 395 e 502 g kg⁻¹.

Tabela 8 – Massa de 100 sementes (g) de acordo com as fontes e doses de fósforo

Fontes	Média da massa de 100 sementes G
SFT ⁽¹⁾	16,65
FNR ⁽²⁾	16,77
TRM ⁽³⁾	16,84
Doses	
60 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	16,64
120 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	16,89
180 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	16,74
Média geral	16,76

⁽¹⁾SFT: superfosfato-triplo;

⁽²⁾FNR: fosfato natural reativo;

⁽³⁾TRM: termofosfato magnésiano.

Com relação à variável teor de óleo (g kg⁻¹), não se observou efeito significativo de acordo com as fontes e as doses de fósforo aplicadas (Tabela 9). A média geral dos teores alcançados foi de 159,60 g kg⁻¹. De acordo com o que descrevem Taiz e Zeiger (2009), o P parece não estar diretamente relacionado com a biossíntese de lipídios de reserva, estando presente na composição de enzimas e substratos importantes para esta biossíntese, além de participar de reações de armazenamento de energia e de fazer parte das membranas (fosfolipídios).

Tabela 9 – Teor de óleo (g kg^{-1}) de acordo com as fontes e doses de fósforo

Fontes	Teor de óleo g kg^{-1}
SFT ⁽¹⁾	161,40
FNR ⁽²⁾	159,40
TRM ⁽³⁾	158,00
Doses	
60 kg ha^{-1} P_2O_5	160,59
120 kg ha^{-1} P_2O_5	159,39
180 kg ha^{-1} P_2O_5	158,80
Média geral	159,60

⁽¹⁾SFT: superfosfato-triplo;

⁽²⁾FNR: fosfato natural reativo;

⁽³⁾TRM: termofosfato magnésiano.

Os teores de óleo alcançados no experimento, embora baixos em relação à quantidade buscada pela indústria (em torno de 200 g kg^{-1}), de acordo com descrições de Liu (1999) são aceitáveis devido à grande variação deste teor em relação a cada genótipo, além das condições ambientais de cultivo. Em estudos com diversos genótipos este autor relatou variação no teor de óleo de 120 a 300 g kg^{-1} . Com uma quantidade considerável de genótipos, Wilson (2004) relatou variação ainda maior deste teor, tendo verificado teores entre 83 e 279 g kg^{-1} . Em trabalho objetivando avaliar a resposta da soja em dois ambientes de cultivo no oeste do estado do Paraná, Ávila et al. (2007) obtiveram teores de óleo que variaram de 160,8 a $217,1 \text{ g kg}^{-1}$, entre as seis cultivares estudadas. Os autores ressaltam que houve deficiência hídrica na fase reprodutiva da cultura, o que pode justificar teores menores de óleo e também produtividade aquém da esperada. No trabalho de Albrecht et al. (2008) visando avaliar a influência da antecipação da semeadura nos teores de óleo e proteína e na produtividade de grãos, o déficit hídrico também foi apontado como fator limitante, de modo que os teores de óleo determinados estiveram entre 112,9 e $201,7 \text{ g kg}^{-1}$ no primeiro ano de condução do experimento e entre 212,2 a $324,5 \text{ g kg}^{-1}$ no segundo ano, para as três cultivares avaliadas. Interessante ressaltar também que neste trabalho não houve diferença significativa nos teores de óleo nas cinco épocas de semeadura avaliadas, sugerindo que o estresse hídrico foi fator limitante anterior às condições ambientais de cultivo. Com o objetivo de avaliar o comportamento da qualidade de sementes produzidas em diversas regiões do Brasil, Costa et al. (2005) determinou, além de outros fatores, o teor de óleo de 364 amostras de diferentes cultivares nos estados do Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Os maiores índices de óleo foram determinados nas amostras vindas de MG, MS e MT e do sul

do PR, embora as variações tenham sido pequenas (200 a 211 g kg⁻¹). De acordo com os autores, esta informação indica condições de cultivo mais interessantes para rendimento de óleo.

No trabalho de Haq e Mallarino (2005), a fertilização com P não teve efeito sobre o conteúdo de óleo, mas a cultura da soja apresentou resposta em rendimento de grãos, o que segundo os autores justifica este tipo de fertilização tendo em vista que há incremento em rendimento de óleo e também de proteína. Jones e Lutz (1971) também obtiveram resultados semelhantes, onde o aumento das doses de P e K reduziram os teores de óleo e proteína, mas houve incremento em rendimento de grãos.

Metodologicamente, as extrações relativamente demandam tempo e, de certo modo, inviabilizam que a indústria, por exemplo, seja capaz de separar no momento da recepção os genótipos de acordo com o teor de óleo que apresentam. As extrações com solvente pelo método de Soxhlet tem recomendação de tempos de extração variando em 4 e 8 h, de acordo com a composição química do amostra que se está trabalhando (BRUM; ARRUDA; REGITANO-D'ARCE, 2009; INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Determinações utilizando técnicas de espectroscopia na região do infravermelho podem demandar minutos para obtenção dos teores, enquanto técnicas de ressonância magnética nuclear podem demandar segundos (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002). No entanto, o que diferencia aquela técnica destas é o custo relativamente elevado para obtenção da instrumentação, além de necessidade de treinamento específico para o preparo de amostras, obtenção dos dados e interpretação dos resultados.

Além do fator tempo, há de se considerar também o consumo de solvente para tal, que tanto por questões de custo, quanto de saúde e ambientais, torna-se problemático (LUQUE DE CASTRO; GARCÍA-AYUSO, 1998). Neste sentido, Matthäus e Brühl (2001) sugerem que métodos como ressonância magnética nuclear e espectroscopia no infravermelho próximo seriam alternativas mais rápidas e não destrutivas nas determinações de conteúdo de óleo em oleaginosas, no entanto se tratam de métodos que, num primeiro momento, dependem de uma intensiva calibração de curvas que utilizam as extrações com solvente como base.

Ao discutir a respeito da acurácia das extrações com solvente realizadas, de acordo com Pimentel-Gomes (2009) o coeficiente de variação de 4,6% pode ser considerado baixo. No entanto, Costa et al. (2005) detectaram efeito dos locais de cultivo sobre os teores de óleo com variações no teor entre 198 e 211 g kg⁻¹, tendo dividido estes estatisticamente em 4 estratos pelo teste de comparação múltipla de médias, com um CV de 5,2%, o que segundo

Pimentel-Gomes (2009) pode ser considerado baixo. Os testes de metodologias sugeridos por Brum; Arruda e Regitano-D'Arce (2009) e a revisão discutida por Luque de Castro e García-Ayuso (1998), relatam a metodologia de Soxhlet como simples e que possibilita repetibilidade de resultados, o que é algo bastante importante a ser assinalado ao se tratar de método científico de análise.

Para a variável rendimento de óleo (kg ha^{-1}) (Tabela 10), também não foi observado influência significativa dos tratamentos, o que poderia ser esperado ao observar a não influência dos tratamentos nas variáveis rendimento de grãos e teor de óleo.

Tabela 10 – Rendimento de óleo (kg ha^{-1}) de acordo com as fontes e doses de fósforo

Fontes	Rendimento de óleo kg ha^{-1}
SFT ⁽¹⁾	828
FNR ⁽²⁾	791
TRM ⁽³⁾	831
Doses	
60 $\text{kg ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$	797
120 $\text{kg ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$	844
180 $\text{kg ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$	809
Média geral	817

⁽¹⁾SFT: superfosfato-triplo;

⁽²⁾FNR: fosfato natural reativo;

⁽³⁾TRM: termofosfato magnesiano.

Com média geral de 817 kg ha^{-1} , este valor supera os rendimentos de óleo relatados como médios para os cultivos de soja, fato este explicado pelo alto rendimento de grãos alcançado (BIODIESELBR, 2011; EMBRAPA, 2011c). Neste contexto, ainda com os rendimentos alcançados, a utilização da soja para fins bioenergéticos apenas se justifica pelo fato da sua cadeia produtiva ser extremamente organizada e tecnificada, tanto na sua produção quanto na sua comercialização e industrialização. Rendimentos muito superiores em óleo podem ser alcançados com palmáceas, como o dendê e o coco, além de alternativas como o pinhão-manso, a mamona e o abacate (ARRUDA et al., 2004; SALGADO et al., 2008; TANGO; CARVALHO; SOARES, 2004; TURATTI, 2000; YAMAOKA, 2008).

Ainda no contexto sobre o emprego de óleo vegetal de soja como biocombustível, análises complementares de qualidade visando identificar o perfil de ácidos graxos presentes seria uma importante aliada na determinação da qualidade do combustível que se estaria produzindo. Petcu; Arsintescu e Stanciu (2001) avaliaram a qualidade de óleo de girassol,

quando a cultura foi submetida a estresse hídrico durante o seu ciclo, e relataram que as variações maiores ocorreram nos ácidos graxos insaturados, tendo encontrado redução de ácido oléico (18:1) e aumento da quantidade de linoléico (18:2). Para Baldini et al., (2000), Mckeon e Stumpf (1982) e Stymme e Appelqvist (1980) citados por Petcu; Arsintescu e Stanciu (2001), as condições de estresse hídrico estabelecidas até oito dias após o florescimento, período no qual há um crescimento da biossíntese de óleo, promovem ativação das enzimas Δ^9 dessaturase (responsável pela conversão de ácido esteárico (18:0) em oléico(18:1)), e Δ^{12} dessaturase, (responsável pela conversão de ácido oléico (18:1) em linoléico (18:2)). Tendo em vista que o ácido graxo predominante no óleo de girassol, por exemplo, é o linoléico, seguido do ácido oléico, de acordo com Ryan; Dodge e Callahan (1984) pode-se dizer que o óleo de girassol utilizado como combustível é propenso a formação de depósitos, pela sua alta relação de ácidos graxos insaturados, o que é prejudicial para o desempenho dos motores.

Trabalhos citados como os de Jones e Lutz (1971) e Haq e Mallarino (2005) discutem a ausência de efeitos consistentes das fertilizações com P e K sobre a cultura da soja no tocante aos teores de óleo e de proteína, porém acrescentam que no rendimento total de cada uma destas variáveis as fertilizações se justificariam. No entanto, este fenômeno não foi observado neste trabalho, muito provavelmente pelo já discutido alto teor de P disponível no solo.

Não foi observado efeito significativo das fontes e doses de fósforo sobre o teor de proteína (g kg^{-1}) (Tabela 11).

Tabela 11 – Teor de proteína (g kg^{-1}) de acordo com as fontes e doses de fósforo

Fontes	Teor de proteína g kg^{-1}
SFT ⁽¹⁾	330,85
FNR ⁽²⁾	335,33
TRM ⁽³⁾	334,84
Doses	
60 kg ha^{-1} P_2O_5	335,29
120 kg ha^{-1} P_2O_5	339,89
180 kg ha^{-1} P_2O_5	325,84
Média geral	333,67

⁽¹⁾SFT: superfosfato-tríplo;

⁽²⁾FNR: fosfato natural reativo;

⁽³⁾TRM: termofosfato magnésiano.

Tendo em vista as fontes de fósforo, esperava-se que, pelo menos no curto prazo, apesar de o SFT disponibilizar fósforo com maior velocidade, este acidificasse o meio de maneira que a fixação biológica de nitrogênio fosse afetada, o que poderia levar a aporte menor deste elemento e conseqüente efeito sobre compostos que o contém, como as proteínas. Com a justificativa de melhoria do ambiente de crescimento radicular, com conseqüente aumento da fixação biológica de nitrogênio, Mascarenhas et al. (1996) obtiveram aumento dos teores de proteína em resposta à dose de calcário, tendo alcançado, porém, teores entre 340 e 400 g kg⁻¹ considerados entre baixos e médios para cultivares comerciais de soja.

Ao comparar os teores de genótipos brasileiros com genótipos americanos, de acordo com informações Hiromoto e Vello (1986), pode ser considerado aceitável, pois os germoplasmas brasileiros foram desenvolvidos a partir de linhagens americanas, de maneira que 11 ancestrais coletivamente respondem por 89% da base genética dos germoplasmas brasileiros. De acordo com dados de Liu (1999) e Wilson (2004) para genótipos americanos, os teores de proteína no grão determinados neste encontram-se abaixo do esperado. Com relação a genótipos brasileiros, Bonato et al. (2000) relataram comportamento semelhante aos genótipos americanos quanto ao teor de proteína, tendo determinado teores que variaram de 370,2 a 422,8 g kg⁻¹. Os teores de proteína determinados por Ávila et al. (2007) são muito semelhantes aos determinados neste trabalho, mas há de ressaltar que o objetivo desse era comparar dois locais distintos de cultivo, tendo havido estresse hídrico em períodos críticos de desenvolvimento da cultura, o que pode justificar os baixos teores de proteína (entre 299,6 e 348,5 g kg⁻¹). Neste trabalho, no entanto, não se verificou estresse hídrico, fator demonstrado, inclusive, através do alto rendimento de grãos.

Para o rendimento de proteína (kg ha⁻¹), também não foram observados efeitos significativos das fontes e doses de fósforo aplicadas. A média geral foi de 1712 kg ha⁻¹, enquanto as médias dos tratamentos podem ser observadas na Tabela 12. Ao comparar o rendimento de proteína alcançado com os relatados pela literatura, nas mais diversas condições de cultivo, pode-se afirmar que são teores bastante elevados. Bonato et al. (2000) estudando os teores de óleo e proteína em genótipos de soja desenvolvidos a partir de 1990, em três locais do Rio Grande do Sul, determinaram rendimentos de proteína que variaram de 1311 a 1425 kg ha⁻¹.

No trabalho de Mascarenhas et al. (1996) a média de rendimento de proteína para quatro genótipos, conduzidos por três anos, em resposta a doses de calcário foi de 533 kg ha⁻¹. Para 43 linhagens de soja, com teores de proteína que variavam de 413 a 468 g kg⁻¹, em três anos de experimentação Wilcox e Shibles (2001) obtiveram rendimento médio de proteína de

1037 kg ha⁻¹. Isto pode ser explicado, assim como para o rendimento de óleo, pelo alto rendimento de grãos.

Tabela 12 – Rendimento de proteína (kg ha⁻¹) de acordo com as fontes e doses de fósforo

Fontes	Rendimento de proteína kg ha ⁻¹
SFT ⁽¹⁾	1703
FNR ⁽²⁾	1666
TRM ⁽³⁾	1768
Doses	
60 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	1676
120 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	1800
180 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	1661
Média geral	1712

⁽¹⁾SFT: superfosfato-triplo;

⁽²⁾FNR: fosfato natural reativo;

⁽³⁾TRM: termofosfato magnesiano.

No que diz respeito ao teor de P (g kg⁻¹), houve efeito significativo de fontes (p < 0,001) e doses (p < 0,01). Na Tabela 13 podem ser observados os efeitos das fontes e doses de fósforo.

Tabela 13 – Teor de P (g kg⁻¹) de acordo com as fontes de fósforo

Fontes	Teor de P g kg ⁻¹
SFT ⁽¹⁾	10,46 b ⁽⁴⁾
FNR ⁽²⁾	9,42 a
TRM ⁽³⁾	10,04 a b
Doses	
60 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	9,38 a
120 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	10,47 b
180 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	10,07 b
Média geral	9,97

⁽¹⁾SFT: superfosfato-triplo;

⁽²⁾FNR: fosfato natural reativo;

⁽³⁾TRM: termofosfato magnesiano;

⁽⁴⁾Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

De acordo com Marcos Filho (2005), o composto mais importante de fósforo em sementes é o ácido fítico, que segundo Raboy e Dickinson (1993) podem representar de 65 a

80% do P total em sementes maduras de soja, enquanto Paula (2007) relata em condições brasileiras teores entre 500 e 700 g kg⁻¹.

O acúmulo de ácido fítico se dá logo após a embriogênese e apresenta comportamento linear ao longo do desenvolvimento da semente (RABOY; DICKINSON, 1987). As variações nos valores de fitato podem ser influenciadas, além do genótipo, pelas variações nas condições ambientais, pela dose aplicada de fertilizantes, pelo armazenamento e pelo método de determinação (SOUZA, 2003). O aporte externo de fósforo, de acordo com RABOY; DICKINSON (1993) parece ter efeito sobre os teores de ácido fítico em grãos de soja, tendo registrado aumento de até quatro vezes no teor deste ácido quando a disponibilidade de P na solução de adubação aumentou de 2 para 50 mg L⁻¹.

Como implicação da presença de ácido fítico, pode-se comentar que a soja é a fonte protéica mais empregada para o arraçamento animal e tendo em vista que os animais monogástricos não dispõem de enzimas capazes de quebrar esta estrutura e propiciar a absorção de P, isto faz que o dejetos destes animais apresente altos teores deste elemento, o que tem ocasionado implicações ambientais principalmente aos cursos de água. Além disso, questões antinutricionais são relatadas também, pelo fato deste composto formar quelatos com nutrientes minerais da dieta, como Cu, Zn, Mn, Fe e Ca (ERTL; YOUNG; RABOY, 1998).

Ao aceitar o efeito das fontes, pode-se afirmar que o FNR obteve desempenho inferior ao SFT quanto ao teor de P acumulado nos grãos, fato este que pode ser explicado pela alta solubilidade do SFT tanto em água quanto em meio ácido. No entanto, não era de se esperar que o efeito de SFT fosse igual ao do TFM, pois este é solúvel em meio ácido, o que faz com que o seu aporte de P ao sistema seja gradativo (MOREIRA; MALAVOLTA, 2001; NASCIMENTO et al., 2002; RESENDE et al., 2006). Como fatores primordiais de efeito do SFT e do TFM podem ser citadas a solubilidade destes em relação ao FNR. Num segundo momento, é provável que o desempenho inferior observado para TFM e FNR seja devido ao modo de aplicação utilizado, pois a ausência de incorporação pode ter prejudicado a solubilização destes, ocasionado pelo contato reduzido com as partículas do solo (CORRÊA et al., 2008).

Porém, ao se considerar o manejo antecipado da adubação fosfatada, pode-se inferir que a longo prazo as adubações com FNR e TFM tendem a ter melhor desempenho que o SFT (RESENDE et al., 2006). Ao considerar o teor de P no grão como quantidade de P exportado, pode-se afirmar que os teores são relativamente altos. Resultados discutidos por Yamada (2011) apresentam teores de P variando de 4,3 a 6,4 kg Mg⁻¹ de grãos produzidos.

Com relação às doses foi observado efeito superior das doses a partir de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em relação a menor dose. Neste sentido, isto muito provavelmente pode ser explicado pelos altos teores de P já presentes no solo, bem como pelo curto prazo de tempo decorrido da aplicação da fertilização, fazendo com que os efeitos de doses não sejam tão aparentes em função da solubilidade das fontes utilizadas.

Com relação ao acúmulo de P (kg ha⁻¹), ou seja, ao acúmulo de fósforo nos grãos por unidade de área, foi observado efeito significativo das fontes ($p < 0,001$) e das doses ($p < 0,01$) sobre esta variável. Os efeitos podem ser observados na Tabela 14. Assim como foi discutido para o teor de P, os valores reportados para acúmulo de P por unidade de área são altos, em virtude tanto dos altos teores nos grãos quanto pelo alto rendimento de grãos alcançado.

Tabela 14 – Acúmulo de P (kg ha⁻¹) de acordo com as fontes de fósforo

Fontes	Acúmulo de P kg ha ⁻¹
SFT ⁽¹⁾	53,67 b ⁽⁴⁾
FNR ⁽²⁾	46,83 a
TRM ⁽³⁾	52,67 b
Doses	
60 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	46,44 a
120 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	55,32 b
180 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	51,40 a b
Média geral	51,05

⁽¹⁾SFT: superfosfato-triplo;

⁽²⁾FNR: fosfato natural reativo;

⁽³⁾TRM: termofosfato magnesiano;

⁽⁴⁾Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

De modo semelhante ao que foi discutido para a variável teor de P, o efeito superior do SFT é justificável devido a sua maior solubilidade em relação as demais fontes. Todavia, o efeito do SFT ser semelhante ao efeito do TRM é pouco compreendido, sendo possível que o modo de aplicação, sem incorporação ao solo, tenha interferido na reação de solubilização das fontes, conforme descreveram Corrêa et al. (2008).

O efeito das doses sobre o acúmulo de P assemelhou-se ao efeito observado para o teor de P, ou seja, as doses acima de 120 kg ha⁻¹ demonstraram efeito superior, em relação à

dose de 60 kg ha⁻¹. Estudos adicionais, como repetição no tempo, seriam adequados para elucidar melhor os comportamentos verificados neste trabalho.

Num segundo momento, a análise por contrastes visando opor os tratamentos aplicados por ocasião da safra de outono/inverno (antecipação da fertilização) com os tratamentos aplicados na safra de primavera/verão (manejo comum na região, tratamento controle) demonstrou haver resposta diferencial apenas para o teor de proteína para a fonte SFT e para acúmulo de P para a fonte TRM, conforme demonstrado na Tabela 15.

Tabela 15 – Comparação entre a aplicação das fontes de fósforo no período da safra outono/inverno x aplicação no período da safra primavera/verão⁽¹⁾, através de contrastes

Variável	p-valor		
	SFT ⁽²⁾ Contraste 1	FNR ⁽³⁾ Contraste 2	TRM ⁽⁴⁾ Contraste 3
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	0,6681	0,8293	0,1394
Massa de 100 sementes (g)	0,4711	0,9274	0,1966
Teor de óleo (g kg ⁻¹)	0,2769	0,9105	0,4695
Rendimento de óleo (kg ha ⁻¹)	0,4326	0,8401	0,2715
Teor de proteína (g kg ⁻¹)	0,0480	0,8320	0,5417
Rendimento de proteína (kg ha ⁻¹)	0,2651	0,8439	0,3284
Teor de P (g kg ⁻¹)	0,9152	0,3183	0,1523
Acúmulo de P (kg ha ⁻¹)	0,7711	0,4925	0,0310

⁽¹⁾A aplicação na safra primavera/verão representa o controle regional (testemunha) para o referido tratamento;

⁽²⁾SFT: superfosfato-tríplo; Contraste 1: aplicação de SFT na safra de outono/inverno x aplicação de SFT na safra primavera/verão;

⁽³⁾FNR: fosfato natural reativo; Contraste 2: aplicação de FNR na safra de outono/inverno x aplicação de FNR na safra primavera/verão;

⁽⁴⁾TRM: termofosfato magnesiano; Contraste 3: aplicação de TRM na safra de outono/inverno x aplicação de TRM na safra primavera/verão.

Complementar à interpretação da tabela acima se têm as informações abordadas pela Tabela 16, a qual apresenta as médias para as variáveis que apresentaram significância pela comparação por contrastes.

Face ao exposto, a fertilização com SFT realizada por ocasião da safra primavera/verão promove incremento no teor de proteína em relação à aplicação realizada antecipadamente, ou seja, na safra de outono/inverno. Para o acúmulo de fósforo, porém, quando a fertilização com TRM é realizada antecipadamente (outono/inverno) ocorre o favorecimento da quantidade de fósforo fixada nos grãos por unidade de área.

Tabela 16 – Médias das variáveis teor de proteína (g kg^{-1}) e acúmulo de P (kg ha^{-1}) de acordo com as fontes de fósforo SFT e TRM, respectivamente, analisadas por contrastes

Variável	Média	p-valor
Teor de proteína (g kg^{-1})	SFT ⁽¹⁾	
outono/inverno	316,14	0,048
primavera/verão	330,85	
Acúmulo de P (kg ha^{-1})	TRM ⁽²⁾	
outono/inverno	52,67	0,031
primavera/verão	44,62	

⁽¹⁾SFT: superfosfato-triplo;

⁽²⁾TRM: termofosfato magnésiano.

Ao considerar que a extração de óleo de soja é atividade secundária da indústria que objetiva obter farelo protéico para a alimentação animal, os teores de fósforo acumulados no grão podem representar problemas quanto a questões antinutricionais e mesmo de acúmulo excessivo de P no dejetos, o que deve ser melhor estudado e discutido quanto ao manejo da adubação fosfatada (ERTL; YOUNG; RABOY, 1998).

6 CONCLUSÕES

As fontes e doses de fósforo, aplicadas antecipadamente, não causaram efeitos sobre o rendimento de grãos, massa de 100 sementes, teor de óleo, rendimento de óleo, teor de proteína e rendimento de proteína.

Nas variáveis teor de P e acúmulo de P, houve efeito significativo tanto das fontes quanto das doses de fósforo. Para teor de P, o superfosfato-triplo foi superior ao fosfato natural reativo, sendo que as doses acima de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foram superiores a menor dose. O acúmulo de P foi superior nas fontes superfosfato-triplo e termofosfato magnésiano, sendo a dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ superior a menor dose.

O contraste entre a fertilização realizada em outono/inverno e primavera/verão mostrou efeito sobre o teor de proteína, onde a fertilização por ocasião da safra de primavera/verão apresentou efeito superior, e sobre o acúmulo de P, onde a fertilização no outono/inverno favoreceu este acúmulo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS/ANP. **Biocombustíveis**. Disponível em: <www.anp.gov.br>. Acesso em: 20 jul. 2011.

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**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 865-873, 2008.

ALLEN, C. A. W. et al. Predicting the viscosity of biodiesel fuels from their fatty acid ester composition. **Fuel**, v. 78, n. 11, p. 1319-1326, 1999.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em Sistema Plantio Direto. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 15. p. 873-928.

ARRUDA, F. P. et al. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curca* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

ÁVILA, M. R. et al. Componentes do rendimento, teores de isoflavonas, proteínas, óleo e qualidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 111-127, 2007.

BANAS, A. et al. Lipids in grain tissues of oat (*Avena sativa*): differences in content, time of deposition, and fatty acid composition. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 58, n. 10, p. 2463-2470, 2007.

BERGAMIN, M.; CANCIAN, M. A. E.; CASTRO, P. R. C. Soja. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (coord.). **Ecofisiologia dos cultivos anuais: trigo, milho, soja, arroz e mandioca**. São Paulo: Nobel, 1999. 128 p. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2391-2398, 2000.

BIODIESELBR. **Matéria-prima para biodiesel**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/plantas/oleaginosas.htm>>. Acesso em: 19 jul. 2011.

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos situação atual e perspectivas. In: CÂMARA, G. M. **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000. cap. 1. p. 1-17.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

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

BRUM, A. A. S.; ARRUDA, L. F.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 849-854, 2009.

BÜLL, L. T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfato: alterações em propriedades químicas em um Latossolo vermelho-escuro e eficiência agrônômica. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n.1, p. 169-79, 1997.

CAIRES, E.F. et al. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 3, p. 791-798, 2005.

CARLSON, J. B.; LERSTEN, N. R. Reproductive morphology. In: BOERMA, H. R.; SPECHT, J. E. (Eds). **Soybeans: improvement, production, and uses**. 3rd. Madison (WI): American Society of Agronomy (ASA), Crop Science Society of America (CSSA), Soil Science Society of America (SSSA), 2004. cap. 3. p. 59 – 95.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; PERES, L. E. P. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. Piracicaba: Agrônômica Ceres, 2005. 650 p.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO/CONAB. **Séries históricas**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

CORRÊA, J. C. et al. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia-preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 9, p. 1583-1590, 2008.

COSTA, N. P. et al. Perfil dos aspectos físicos, fisiológicos e químicos de sementes de soja produzidas em regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 1-6, 2005.

DALL'AGNOL, A. **Por que fazemos biodiesel de soja?** Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/colunistas/convidado/porque-fazemos-biodiesel-de-soja.htm>>. Acesso em: 22 dez. 2011.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 3. p. 91-132.

DYER, J. M. et al. High-value oils from plants. **The Plant Journal**, Oxford, v. 54, n. 4, p. 640-655, 2008.

DURRETT, T. P.; BENNING, C.; OHLROGGE, J. Plant triacylglycerols as feedstocks for the production of biofuels. **The Plant Journal**, Oxford, v. 54, n. 4, p. 593-607, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo). **Tecnologia de produção de soja – Região Central do Brasil 2004**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 03 nov. 2011a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo). **Usos**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=25&cod_pai=29>. Acesso em: 13 dez. 2011b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. **Sistemas de produção**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 20 jun. 2011c.

ERTL, D. S.; YOUNG, K. A.; RABOY, V. Plant genetic approaches to phosphorus management in agricultural production. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 27, n. 2, p. 299-304, 1998.

FAÇANHA, A. R.; CANELLAS, L. P.; DOBBSS, L. B. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. cap. 2. p. 33-50.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FOLCH, J.; LESS, M.; SLOANE STANLEY, G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, Rockville, v. 226, n. 1, p. 497-509, 1957.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/FAO. **ProdStat: Crops**. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em: 20 jun. 2010.

GALVANI, F.; GAERTNER, E. **Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. 9 p. (Circular Técnica 63).

GANDHI, A. P. et al. Studies on alternative solvents for the extraction of oil-l soybean. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 38, n. 3, p. 369-375, 2003.

GAO, J. et al. Agronomic management system and precipitation effects on soybean oil and fatty acid profiles. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 3, p. 1049-1057, 2009.

GIBSON, L. R.; MULLEN, R. E. Soybean seed composition under high day and night growth temperatures. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Urbana, v. 73, n. 6, p. 733-737, 1996.

HAQ, M. U.; MALLARINO, A. P. Response of soybean grain oil and protein concentrations to foliar and soil fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 3, p. 910-918, 2005.

HILL, J. E.; BREIDENBACH, R. W. Proteins of soybeans seeds: II. Accumulation of the major protein components during seed development and maturation. **Plant Physiology**, Rockville, v. 53, n. 5, p. 747-751, 1974.

HILLS, M. J. Control of storage-product synthesis in seeds. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 7, n. 3, p. 302-308, 2004.

HIROMOTO, D. M.; VELLO, N. A. The genetic base of Brazilian soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 9, n. 2, p. 295-306, 1986.

HURBURGH, JR., C. R. et al. Protein and oil patterns in U.S. and world soybean market. **Journal of the American Oil and Chemists' Society**, Urbana, v. 67, p. 966-973, 1990.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. p. 1020. Versão eletrônica.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE/IPNI. **Como a planta de soja se desenvolve**. Disponível em: <<http://www.potafos.org/>>. Acesso em: 07 set. 2010.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE/IPNI. **Nutrient Source Specifics**. Disponível em: <www.ipni.net/specifics>. Acesso em: 28 dez. 2011.

JONES, G. D.; LUTZ, J. A. Yield of wheat and soybeans and oil and protein content of soybean as affected by fertility treatments and deep placement of limestone. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, n. 6, p. 931-934, 1971.

KINNEY, A. J. Development of genetically engineered soybean oils for food application. **Journal of Food Lipids**, v. 3, p. 273-292, 1996.

KNOTHE, G. et al. **Manual de biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 340 p.

LANTMANN, A. F. et al. **Adubação fosfatada e potássica para a sucessão soja-trigo em Latossolo Roxo distrófico sob semeadura direta**. Londrina: Embrapa Soja, 1996. 44 p. (Circular Técnica 15).

LEHNINGER, A. L.; NIELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica**. 2. ed. São Paulo: SARVIER, 1995. 839 p.

LIU, K. **Soybeans: chemistry, technology, and utilization**. New York: Chapman & Hall, 1999. 532 p.

LIU, K.; ORTHOEFER, F.; BROWN, E. A. Association of seed size with genotypic variation in the chemical constituents of soybeans. **Journal of the American Oil Chemists's Society**, Urbana, v. 72, n. 2, p. 189-192, 1995.

LUSAS, E. W. Soybean processing and utilization. In: BOERMA, H. R.; SPECHT, J. E. (Eds). **Soybeans: Improvement, Production, and Uses**. 3rd ed. Madison (WI): American Society of Agronomy (ASA), Crop Science Society of America (CSSA), Soil Science Society of America (SSSA), 2004. cap. 20. p. 949-1036.

LUQUE DE CASTRO, M. D.; GARCÍA-AYUSO, L. E. Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 369, n. 1-2, p. 1-10, 1998.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 254 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MALLARINO, A. P. et al. Timing of broadcast phosphorus fertilization for no-till corn and soybean. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 6, p. 2143-2150, 2009.

MANDARINO, J. M. G.; ROESSING, A. C. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 40 p. (Documentos/Embrapa Soja, n. 171).

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Efeito da calagem sobre a produtividade de grãos, óleo e proteína em cultivares precoces de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 164-171, 1996.

MATTHÄUS, B.; BRÜHL, L. Comparison of different methods for the determination of the oil content in oilseeds. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Urbana, v. 78, n. 1, 2001.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR/MDIC. **Balança comercial brasileira**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=5&menu=3355>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fontes e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1519-1527, 2001.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 1999. 150 p.

NASCIMENTO, J. L. et al. Níveis de calagem e fontes de fósforo na produção do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 32, n. 1, p. 7-11, 2002.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F. et al. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 8. p. 471-550.

OLIVEIRA, L. A.; SMYTH, T. J.; BONETTI, R. Efeito de adubações anteriores na nodulação e rendimento da soja e do feijão-caupi num Latossolo Amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 195-201, 1992.

PARAÍSO, P. R. **Modelagem e análise do processo de obtenção do óleo de soja**. 2001, 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

PAULA, S. A. **Composição bioquímica e fatores antinutricionais de genótipos de soja**. 2007, 74 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

PAULETTI, V. **Nutrientes**: teores e interpretações. Castro: Fundação ABC, 2004. 86 p.

PETCU, E.; ARSINTESCU, A.; STANCIU, D. The effect of drought stress on fatty acid composition in some Romanian sunflower hybrids. **Romanian Agricultural Research**, n. 15, p. 39-43, 2001.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, 2009. 451.

PINHO, R. S.; OLIVEIRA, A. F. M.; SILVA, S. I. Potential oilseed crops from the semiarid region of northeastern Brazil. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 100, n. 23, p. 6114-6117, 2009.

PLAXTON, W. C.; PODESTÁ, F. E. The functional organization and control of plant respiration. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, n. 2, p. 159-198, 2006.

PRESTES, R. A. et al. A rapid and automated low resolution NMR method to analyze oil quality in intact oilseeds. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 596, p. 325-329, 2007.

RABOY, V.; DICKINSON, D. B. Phytic acid levels in seeds of *Glycine max* and *G. soja* as influenced by phosphorus status. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 6, p. 1300-1305, 1993.

RABOY, V. DICKINSON, D. B. Timing and rate of phytic acid accumulation in developing soybean seed. **Plant Physiology**, Rockville, v. 85, p. 841-844, 1987.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

RESENDE, A. V. et al. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solos da região do Cerrado. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 458-466, 2006.

RUUSKA, S. A. et al. Contrapuntal networks of gene expression during Arabidopsis seed filling. **The Plant Cell**, Waterbury, v. 14, p. 1191-1206, 2002.

RYAN, T. W.; DODGE, L. G.; CALLAHAN, T. J. The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Urbana, v. 61, n. 10, p. 1610-1619, 1984.

SALGADO, J. M. et al. O óleo de abacate (*Persea americana* Mill) como matéria-prima para a indústria alimentícia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, (supl.), p. 20-26, 2008.

SALAS, J. J.; OHLROGGE, J. B. Characterization of substrate specificity of plant FatA and FatB acyl-ACP thioesterases. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, Amsterdam, v. 403, n. 1, p. 25-34, 2002.

SECRETARIA DO ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO/SEAB. DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL/DERAL. **Estimativa de safras**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de análise instrumental**. Porto Alegre: Bookman, 2002. 836 p.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 715-722, 2008.

SOUZA, C. M. M. C. A. **Mecanismos fisiológicos e bioquímicos de regulação da biossíntese de ácido fítico em grãos de dois genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2003, 142 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TANGO, J. S.; CARVALHO, C. R. L.; SOARES, N. B. Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 17-23, 2004.

TURATTI, J. M. Óleos vegetais como fonte de alimentos funcionais. **Óleos & Grãos**, v. 56, n. 5, p. 20-27, 2000.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE/USDA. Foreign Agricultural Service. **Table 11: Soybean area, yield, and production**. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/wap/current/>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

VAZ, A. P. A.; SANTOS, H. P.; ZAIDAN, L. B. P. Floração. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. cap. 18. p. 340-357.

VENTIMIGLIA, L. A. et al. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 195-199, 1999.

WILCOX, J. R.; GUODONG, Z. Relationships between seed yield and seed protein in determinate and indeterminate soybean populations. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 2, p. 361-364, 1997.

WILCOX, J. R.; SHIBLES, R. M. Interrelationships among seed quality attributes in soybean. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 1, p. 11-14, 2001.

WILSON, R. F. Seed Composition. In: BOERMA, H. R.; SPECHT, J. E. (Eds). **Soybeans: Improvement, Production, and Uses**. 3rd ed. Madison (WI): American Society of Agronomy (ASA), Crop Science Society of America (CSSA), Soil Science Society of America (SSSA), 2004. cap. 13. p. 621-677.

YAMADA, T. **Adubação balanceada da soja.** Disponível em: <[http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/article=0DF5EFE403256A9900640C96EA2E3B17](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/article=0DF5EFE403256A9900640C96EA2E3B17)>. Acesso em: 26 dez. 2011.

YAMAOKA, R. S. Ação regionalizada na produção de oleaginosas: avanços da pesquisa e perspectivas futuras. In: SEMINÁRIO AÇÕES DO IAPAR NO PROGRAMA PARANAENSE DE BIOENERGIA/SEAB, 2008, Londrina. **Anais...** Disponível em: <<http://www.iapar.br/arquivos/File/biodiesel/seminario270508/regionalizacao.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2011.

YILMAZ, N.; SARI, H.; DEMIRBAS, A. Chemical analysis and fuel properties of oils from oilseeds by supercritical fluid extraction. **Energy Sources**, v. 24, n. 4, p. 375-381, 2002.

ZEEVAART, J. A. D. Physiology of Flowering. **Science**, Washington, v. 137, n. 3532, p. 723-731, 1962.

ZHELJAZKOV, V. D. et al. Nitrogen applications modify seed and oil yields and fatty acid composition of winter mustard. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam. v. 36, n. 1, p. 28-32, 2012.