

Foto: Vladimir Henrique Moreira Silva



Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria

Antonio Eduardo Pípolo ¹

Mariangela Hungria ¹

Júlio César Franchini ¹

Alvadi Antonio Balbinot Junior ¹

Henrique Debiasi ¹

José Marcos Gontijo Mandarino ²

1. Introdução

A composição dos grãos de soja apresenta em média 40,3% de proteína, 21,0% de óleo, 33,9% de carboidrato e 4,9% de cinzas na base seca (PERKINS, 1995). Os teores de proteína e óleo determinam o valor comercial da soja, sendo que, mais recentemente, a grande demanda pelo farelo de soja tem dirigido o mercado, devido seu alto teor de proteína em comparação com outras fontes de proteína vegetal e pela composição de aminoácidos essenciais, que atende em grande parte aos requerimentos nutricionais para alimentação de suínos e aves (WILSON, 2004). Essas características de composição química do grão, aliadas ao bom potencial produtivo e rusticidade, fazem da soja a cultura anual com maior produção de proteína no mundo, com baixo custo de produção e em curto espaço de tempo.

A principal utilização da soja, tanto no Brasil como no resto do mundo, é como matéria-prima para a indústria de esmagamento, que produz óleo e farelo. O farelo, rico em proteína é utilizado principalmente na indústria de rações para aves, suínos e bovinos, sen-

do esse o principal emprego econômico da soja. Por sua vez, o óleo é utilizado como matéria-prima pela indústria para produção de óleo refinado, gorduras hidrogenadas, margarinas, maionese dentre outros produtos (MANDARINO; ROESSING, 2001). Também tem sido utilizado em produtos industriais como tintas, lubrificantes, solventes, plásticos e resinas (ERHAN, 2005). Mais recentemente, tem sido a principal matéria-prima para produção de biodiesel no Brasil (ANP, 2015) e nos EUA (BIODIESEL, 2015).

A expansão da área e o aumento da produtividade da soja no Brasil ocorreram devido a diversos fatores dos quais podemos citar a forte demanda internacional, a ocorrência de extensas áreas aptas para o cultivo, clima adequado, baixo custo de produção e rusticidade da cultura. Por outro lado, houve o suporte tecnológico da pesquisa agrícola através do melhoramento genético, do melhor entendimento sobre a fisiologia da planta e da melhoria das práticas agrônomicas. Apesar dos avanços conseguidos, os teores de óleo e de proteína dos grãos permanecem estagnados, pois não foram explorados suficientemente pela pesquisa em todo o mundo de forma a alterar os padrões comerciais.

¹ Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR

² Farmacêutico-bioquímico, M.Sc., Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR

A variação do teor de proteína e óleo é determinada principalmente por fatores genéticos, mas com forte influência ambiental, principalmente no período de enchimento de grãos. As empresas de melhoramento de plantas têm trabalhado para a melhoria dessas características, mas pouco tem sido feito a nível comercial. Isso se deve, em primeiro lugar, à maior ênfase dada ao aumento da produtividade e da resistência às doenças, do que à composição química dos grãos. Em segundo lugar, devido à existência de correlação negativa entre concentração de proteína e produtividade e entre concentração de proteína e concentração de óleo, requerendo mais tempo e esforço em melhoramento genético. Em terceiro lugar, devido à ausência de incentivo econômico, até o momento, para a utilização de genótipos com alto teor proteico, visto que, o produtor recebe pela quantidade produzida, e não pelos teores de proteína e óleo. Como exemplo, foram lançadas nos Estados Unidos na década de 60 duas cultivares de soja com alto teor de proteína, Provar e Protana. Essas cultivares tinham 3,5% a mais na concentração de proteína do que a Amsoy e a Corsoy e 8% a menos em produtividade. Amsoy e Corsoy, devido ao potencial produtivo, tornaram-se líderes de mercado no Grupo de Maturidade II. A menor produtividade de Provar e Protana não foi compensada pelo mercado, apesar do seu alto teor de proteína, e nunca ocuparam área de plantio significativa (WILCOX, 1989).

A influência ambiental nos teores de proteína e óleo dos grãos de soja não tem sido estudada suficientemente no Brasil. Como a cultura da soja é semeada em todo o território brasileiro, é esperado que ocorram variações expressivas nesses teores à medida que varie as práticas culturais, as características e o manejo do solo, a altitude e as condições de clima, sobretudo chuvas e radiação solar.

Apesar da literatura internacional sugerir a existência de um padrão geográfico para a variação dos teores de óleo e proteína da soja, em que a temperatura do ar no período de enchimento de grãos teria um papel importante, diferentes trabalhos mostram que grande parte das diferenças observadas a campo, podem ser explicadas pela variação na disponibilidade de nitrogênio (N) à planta, já que esse elemento é chave na síntese proteica, afetando todo o metabolismo vegetal.

2. Concentração de óleo e proteína

A concentração de proteína em grãos de soja varia de 31,7 a 57,9% e a concentração de óleo varia de 8,0 a 25,4%, média de 44,3 e 17,9% (base seca) respectivamente, nos 16.472 acessos do Banco de Germoplasma da Embrapa Soja. Aparentemente existe adequada variabilidade para o desenvolvimento de cultivares com altos teores de proteína e óleo, mas somente uma pequena quantidade desses acessos apresenta teores de proteína e óleo acima da média de ambos. No caso da proteína, existe possibilidade de aumento nas concentrações comumente encontradas nas cultivares, em torno de 40,0% de proteína na base seca, e os teores máximos dos acessos. No caso do óleo, pouco espaço existe devido aos teores médios estarem mais próximos dos teores observados em cultivares comerciais.

Resultados de pesquisas têm evidenciado a existência de correlação fenotípica e genotípica altamente negativa entre proteína e óleo (HARTWIG; HINSON, 1972; BURTON, 1987; WILCOX; CAVINS, 1995; WILCOX, 1998; COBER; VOLDENG, 2000). A herança dos teores de proteína e óleo é governada por poucos genes, prevalecendo o efeito aditivo em vez de efeitos genéticos dominantes (THORNE; FEHR, 1970; ISHIGE, 1984). Além disso, a correlação genética entre produtividade e proteína é frequentemente baixa e negativa (HARTWIG; HINSON, 1972; BRIM; BURTON, 1979; BURTON, 1987; HELMS; ORF, 1998), porém a produtividade é positivamente correlacionada com o teor de óleo (BURTON, 1987; WILCOX; GOUDONG, 1997).

O grande desafio é, portanto, aumentar a produtividade e o teor de proteína e, pelo menos, manter o teor de óleo. Como proteína e óleo são características quantitativas controladas por mais de um gene, apresentando efeitos maiores ou menores, marcadores moleculares podem ser úteis para identificar QTLs (quantitative trait locus) que controlem essas características. Esses marcadores, quando confirmados, poderão ser extremamente úteis em seleção assistida. Chung et al. (2013) examinaram as correlações negativas entre teor de proteína e óleo e teor de proteína e produtividade por meio de QTL e encontraram as mesmas relações encontradas na literatura, ou seja: o aumento no teor de proteína resultou na diminuição no teor de óleo e na produ-

vidade. Wang et al. (2015) identificaram QTLs para maior teor de óleo, mas que consistentemente exibiram efeito negativo no teor de proteína dos grãos de soja. Portanto, a busca por QTLs independentes para teor de proteína e óleo nos grãos de soja é de grande interesse.

3. Acúmulo de óleo e proteína nos grãos

O grão em desenvolvimento pode sintetizar material de armazenamento (óleo, proteína, carboidrato) por meio de um conjunto relativamente simples de compostos químicos. Essa conclusão é suportada pelo desenvolvimento de sementes de soja normais *in vitro* a partir de meio de cultura contendo sacarose como fonte de carbono (C) e glutamina como fonte de N (THOMPSON et al., 1977).

No grão em desenvolvimento ocorre uma fase de intensa divisão celular nas duas primeiras semanas após a polinização. Esse processo vai diminuindo gradativamente até o número máximo de células do embrião ser atingido. Os aumentos subsequentes no tamanho das células são devidos principalmente ao acúmulo de óleo e proteína nos cotilédones que tem a função de armazenamento de reservas (BILS; HOWELL, 1963; EGLI, 1994).

Baseado na sua função biológica nas plantas, as proteínas são classificadas em dois tipos: metabólicas e de armazenamento. As proteínas metabólicas incluem as proteínas estruturais e enzimáticas que são envolvidas nas atividades normais da célula, incluindo a síntese de proteínas de armazenamento e óleo durante o desenvolvimento do grão. As proteínas de armazenamento respondem pela maior parcela, durante a germinação, elas funcionam como fonte de N e esqueleto de C para as plântulas em desenvolvimento.

A concentração de proteína no grão é constante durante a maior parte do desenvolvimento, entretanto, a síntese de proteína de reserva varia com o estágio de desenvolvimento (YAZDI-SAMADI et al., 1977; WILSON, 1987). A concentração de óleo aumenta desde o início do desenvolvimento do grão e alcança o máximo antes da maturação fisiológica, quando o grão atinge sua maior massa seca (YAZDI-SAMADI et al., 1977). A concentração de amido alcança o máximo na metade do enchimento de grãos, depois declina a teores muito baixos, pois

são utilizados na síntese de outros componentes e muito poucos estão presentes na maturidade (BILS; HOWELL, 1963; YAZDI-SAMADI et al., 1977). O óleo é armazenado em corpos lipídicos como triacilglicerol e serve como fonte primária de C (OHLROGGE; BROWSE, 1995). As proteínas de armazenamento são depositadas em corpos protéicos e são sintetizadas nos ribossomos ligados ao retículo endoplasmático rugoso (SMITH, 1984).

4. Demanda por nitrogênio

Para alcançar altas produtividades, a soja deve ter altas taxas fotossintéticas. A taxa fotossintética é determinada pela quantidade do aparato fotossintético por unidade de área foliar (SHIBLES et al., 1987). Mais de 50% do N da folha está presente na enzima ribulose 1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (rubisco), existindo uma forte relação entre N por unidade de área foliar e fotossíntese (SINCLAIR, 2004). Dessa forma, a planta de soja deve possuir uma parte aérea com grande capacidade de interceptação da radiação solar e suficiente armazenamento de N nas folhas para manter o aparato fotossintético em condições de converter radiação solar em biomassa e, finalmente, em produção de grãos.

O N-mineral e a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) representam as principais fontes de aquisição de N pela soja. No início do desenvolvimento, quando a FBN está se estabelecendo, a planta utiliza o N do solo, proveniente de culturas anteriores, da mineralização da matéria orgânica do solo e de fertilizantes aplicados na semeadura, além do N presente na semente (de 3 a 5 kg ha⁻¹). A utilização do N mineral para o desenvolvimento da planta tem seu pico da absorção durante o florescimento (R2) (FEHR; CAVINESS, 1977) para diminuir rapidamente em seguida (STREETER, 1972). A presença de nitrato livre no solo interfere no processo de infecção do *Bradyrhizobium*, atrasa e suprime a formação de nódulos e causa um feedback inibitório à atividade dos nódulos (HUNGRIA et al., 2005; STREETER, 1988; SINCLAIR, 2004).

As taxas máximas de FBN ocorrem entre os estádios R3 e R5 e depois diminuem até o final da fase de enchimento de grãos (ZAPATA et al., 1987, LEFFEL et al., 1992; MASTRODOMENICO; PURCELL, 2012). Salvagiotti et al. (2008), em revisão de 108 estudos de campo sobre FBN e fertiliza-

ção com nitrogênio em soja publicados em revistas científicas de 1966 a 2006, concluíram que, em média, 50 a 60% da demanda de N é suprida pela FBN. Esses valores podem variar de 25 a 50% em solos ricos em N mineral a 80 a 94% em solos pobres em N mineral (HARPER, 1987; HUNGRIA et al., 2005). No caso do Brasil, taxas elevadas da contribuição da FBN têm sido relatadas, podendo chegar a 300 kg ha⁻¹ de N, representando mais de 90% do N total requerido pelas plantas (HUNGRIA et al., 2005, 2006). Alves et al. (2003) relataram que, em solos bem manejados, de 70 a 85% da demanda de N pela cultura da soja é suprida pela FBN.

Devido à alta concentração de proteína no grão, a soja apresenta uma grande demanda por N. Uma lavoura com produtividade de 3500 kg ha⁻¹ e com teor de proteína de 40% requer, aproximadamente, 224 kg ha⁻¹ de N somente para satisfazer a necessidade de formação do grão. Devido a esta demanda, grande parte do N é remobilizado das folhas, vagens, ramos e outras partes da planta. A remobilização de N dos órgãos vegetativos começa em torno de 7 a 10 dias depois de R5, concomitantemente com o acúmulo de N no grão até R7 (maturação fisiológica). A folha de soja contém cerca de 6% de N e no momento da abscisão ainda contém 1,3 a 2,0% de N (HANWAY; WEBER, 1971; LOBERG et al., 1984; SHIBLES, 1998). Paralelo ao declínio de N das folhas, existe o declínio da capacidade fotossintética. Isso ocorre porque a maior parte do nitrogênio das folhas compõe as moléculas das proteínas fisiologicamente ativas, especialmente a rubisco. Sinclair e Wit (1976) levantaram a hipótese da soja ser autodestrutiva, ou seja, a demanda de N pelo grão excederia a capacidade da planta em suprir N, como consequência, ocorreria a remobilização de N dos tecidos vegetais, principalmente das folhas, levando a perda da capacidade fotossintética, senescência, abreviação do período de enchimento de grãos e limitação do potencial produtivo. Esses fatores explicam, pelo menos em parte, a relação inversa entre teor de proteína e rendimento de grãos. Interessante relatar é que a aplicação de 672 kg de N-mineral ha⁻¹ não alterou o padrão da planta em remobilizar nitrogênio de outras partes da planta para atender a necessidade do grão e que, plantas não noduladas e com aplicação de 224 Kg de N ha⁻¹ apresentaram grãos com menor teor de N do que plantas noduladas sem aplicação de N, indicando que o N da fixação vai preferencialmente para o

grão (HANWAY; WEBER, 1971; WAREMBOURG; FERNANDES, 1985; ISRAEL et al. 1985; ZAPATA et al., 1987). A FBN durante o período reprodutivo, que se estenda até R6 + 10 dias, contribuiu para uma maior concentração de proteína no grão (LEFELL et al., 1992; FABRE; PLANCHON, 2000). A identificação de vários QTLs associados simultaneamente com a FBN e com o teor de proteína nos grãos (CREGAN et al., 1999; SANTOS et al., 2013; TORRES et al., 2015) podem auxiliar a entender a maior facilidade de translocação do N da FBN para os grãos, além de proporcionar grande potencial no uso em programas de melhoramento visando o incremento tanto da FBN como do teor de proteína nos grãos.

Para se maximizar tanto a produtividade quanto os teores de proteína no grão é necessário maximizar a aquisição de N pelos dois mecanismos, N-mineral e FBN. De um modo geral, as respostas à aplicação de N fertilizante nos diferentes estádios de desenvolvimento da soja são inconsistentes e quase sempre antieconômicas (BARKER; SAWYER, 2005; GAN et al., 2003; HUNGRIA et al., 2006, 2007). Portanto, atenção especial deve ser dada às tecnologias que propiciam a máxima eficiência do processo de FBN tais como: uso de inoculante de alta qualidade, correção da acidez do solo, utilização do Sistema de Plantio Direto (SPD) com cobertura do solo visando reduzir picos de temperatura do solo e manutenção da sua umidade, suprimento de cobalto (Co) e molidênio (Mo) e demais nutrientes, entre outros fatores que favoreçam a FBN.

5. Influência do ambiente nos teores de óleo e proteína

5.1. Efeito do suprimento de nitrogênio

A composição química do grão de soja não é simplesmente uma função do suprimento de nutrientes, mas é determinada geneticamente e influenciada pelas condições ambientais durante o cultivo (BURTON et al., 1995; WESTGATE et al., 1995). Em condições normais de cultivo, o C da fotossíntese e o N estão interligados, e a demanda de C pelo grão depende da disponibilidade de N (NELSON et al., 1984; VESSEY et al., 1990). A alteração no balanço do suprimento de C e N afeta a composição química do grão e pode ser o mecanismo que explica as variações nas concentrações de proteína e óleo devido a fatores ambientais (HAYATI et al., 1996).

Hayati et al. (1995) mostraram que o aumento da fotossíntese quando o N estava disponível para a planta, aumentou o acúmulo de N em proporção direta com a massa seca, resultando em constante concentração de N no grão. Quando o N não estava disponível para a planta, o aumento da massa seca causou decréscimo na concentração de N no grão.

Devido à dificuldade de controlar o aporte de C e N para o grão em desenvolvimento por parte da planta, Saravitz & Raper (1995), em trabalho clássico, avaliaram o suprimento de C e N em experimento *in vitro*. A quantidade de matéria seca e o teor de proteína aumentaram quando a concentração de sacarose foi aumentada de 1,5 para 150 mM. Entretanto, o maior acúmulo de matéria seca do que o de proteínas resultou em menor teor de proteína a 150 mM do que a 1,5 mM de sacarose. Tanto o conteúdo como a concentração de proteína aumentaram com o aumento do suprimento de glutamina, fonte de N. Em combinação com 150 mM de sacarose, o óleo aumentou quando a concentração de glutamina aumentou de 0,6 para 6,0 mM, decrescendo quando a glutamina foi aumentada de 6,0 para 120 mM, evidenciando a relação inversa entre os teores de óleo e proteína. A diminuição da concentração de sacarose resultou em menor acúmulo de matéria seca e óleo.

Hayati et al. (1996) reportaram a mesma relação inversa entre os teores de óleo e proteína quando C foi constante e o N variou. Pípolo et al. (2004b) em estudo *in vitro* verificaram se a concentração de óleo e proteína no grão seria afetada pelo suprimento de N. A concentração de proteína aumentou de 294 mg g⁻¹ com 20 mM de glutamina para 445 mg g⁻¹ com 80 mM de glutamina. As concentrações de óleo e proteína foram inversamente correlacionadas, indicando que as sínteses de óleo e proteína estão interrelacionadas, sendo a síntese de proteína favorecida quando o N se tornou mais abundante. Como o fornecimento de N por parte da planta é fortemente influenciado por fatores ambientais, o suprimento para o grão é variável em condições de campo. A sensibilidade da concentração de proteína e óleo a um suprimento variável de N para o grão ajuda a explicar a variabilidade da concentração de proteína comumente encontrada em condições de campo.

A influência ambiental e do suprimento de N nas concentrações de óleo e proteína da soja foram

comparadas em dois sistemas de cultivo (rotação e sucessão) e em sete sistemas de preparo do solo, em experimento de manejo do solo conduzido pela Embrapa Soja nas safras 99/00, 00/01 e 02/03, após 12, 13 e 15 anos de sua instalação. Na Tabela 1, é apresentada a análise conjunta para os teores de óleo e proteína da soja nos vários sistemas de preparo do solo. Não houve diferença estatística significativa entre os sistemas de rotação e sucessão de culturas, para os teores de óleo e proteína, e para os teores de óleo dentro de cada sistema de preparo. No caso da concentração de proteína, o tratamento Plantio Direto (três anos) foi significativamente diferente dos tratamentos com revolvimento do solo (Arado de discos, Arado de aiveca, Grade pesada e Plantio alternado). Os tratamentos Arado de discos, Arado de aiveca e Preparo alternado apresentaram porcentagem de proteína mais baixa e foram significativamente diferentes dos tratamentos Plantio Direto (três anos), Plantio Direto e Cruzador.

Os sistemas de preparo do solo mais conservacionistas, além do incremento da concentração de proteína (Tabela 1), também proporcionaram aumento de produtividade (Tabela 2). Verifica-se que a demanda de N nos tratamentos conservacionistas foi de cerca de 55 kg ha⁻¹ maior comparativamente aos sistemas com revolvimento intenso de solo, devido à maior produção de proteína. Sistemas de cultivo com melhor conservação do solo proporcionam maior oferta de N resultante da mineralização da matéria orgânica acumulada nos diversos anos de cultivo. Analisando os resultados do mesmo estudo, Babujia et al. (2010) encontraram que o tratamento plantio direto resultou em um acúmulo de 1,4 t ha⁻¹ a mais de N na matéria orgânica do solo (camada de 0-60 cm) comparativamente ao preparo convencional com arado de discos. Considerando o N contido na biomassa microbiana como indicador de N mineral proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo, o tratamento Direto resultou numa disponibilidade de aproximadamente 48 kg ha⁻¹ de N em relação ao preparo convencional com arado de discos (FRANCHINI et al., 2007).

Em condições tropicais, entre os fatores que mais limitam o processo de FBN, estão as altas temperaturas, a seca e a acidez do solo (HUNGRIA; VARGAS, 2000; PURCELL et al., 2004). Nos sistemas mais conservacionistas ocorrem menores oscilações de temperatura e de umidade, favorecendo o processo de FBN.

Tabela 1. Valores médios dos teores de óleo e proteína nos grãos de soja, em base seca, em sete sistemas de preparo do solo e dois sistemas de rotação de culturas, em Londrina-PR. Análises realizadas pelo Laboratório de Análises Físico-químicas da Embrapa Soja. Análise conjunta das safras 99/00, 00/01 e 02/03. Embrapa Soja, novembro/2003.

Sistema de Preparo	% de Óleo			% de Proteína		
	Rot. Trigo	Suc. ⁴ Trigo	Média	Rot. Trigo	Suc. Trigo	Média
Direto	23,55ns	23,47ns	23,51ns	37,86ab	38,73a	38,29ab
Direto (três anos)¹	23,77	23,89	23,83	38,46a	38,94a	38,70a
Cruzador	23,76	23,67	23,71	37,63abc	38,29ab	37,97ab
Arado de discos	24,32	24,05	24,18	35,83cd	37,21abc	36,52c
Arado de aivecas²	24,01	24,12	24,06	35,57d	36,45bc	36,01c
Grade pesada	24,07	24,21	24,14	37,25abcd	36,69bc	36,97bc
P. alternado³	24,33	23,91	24,12	36,43bcd	35,95c	36,19c
Média	23,97ns	23,90ns		37,00a	37,47a	

CV% : ÓLEO = 3,90; PROTEÍNA = 3,30, ns = não significativo a 5% pelo teste de Tukey

¹ P.Direto (3 anos) - Plantio direto com a utilização, a cada três anos, do escarificador tipo cruzador. O preparo do solo é feito antecedendo a cultura de inverno (trigo, aveia ou tremoço, dependendo do sistema de culturas). A escarificação foi realizada antes da semeadura das culturas de inverno em 1998 e 2001.

² A partir da safra 01/02, o sistema de preparo com arado de aivecas no verão e grade pesada no inverno foi substituído pelo sistema plantio direto.

³ Preparo alternado. A cada ano utiliza-se um sistema de preparo antes da semeadura da soja (direto, arado de discos, arado de aivecas, escarificador e grade pesada). Os sistemas de preparo utilizados em 99/00, 00/01 e 02/03 foram arado de discos, arado de aivecas e arado de discos, respectivamente. Antes da cultura de inverno, o solo é sempre preparado com grade pesada.

⁴ Suc.: Sucessão - trigo/soja

Rot.: Rotação - tremoço/milho - aveia/soja - trigo/soja - trigo/soja Na rotação de culturas, a sequência anual de culturas foi trigo/soja (99/00 e 00/01), tremoço/milho (01/02) e aveia/soja (02/03).

Tabela 2. Demanda aproximada de N pela semente em sete sistemas de preparo do solo, safras 99/00, 00/01 e 02/03. Embrapa Soja, julho de 2003.

Sistema de Preparo	Safr 1999/2000				Safr 2000/2001				Safr 2002/2003			
	Prod. kg/ha ⁻¹	%Proteína BS ¹	Prod. Proteína ²	N ³ kg	Prod. kg/ha ⁻¹	%Proteína BS	Prod. Proteína	N kg	Prod. kg/ha ⁻¹	%Proteína BS	Prod. Proteína	N kg
Direto	3292	37,50	1234	197	3507	39,09	1370	219	3624	38,17	1383	221
Direto (3 anos)	3577	37,79	1351	216	3579	39,62	1417	226	3416	38,50	1315	210
Cruzador	3254	36,81	1197	191	3595	39,11	1406	224	3824	37,97	1452	232
Arado de discos	1643	36,00	591	94	2977	37,04	1102	176	2770	37,48	1038	166
Arado de aiveca	1095	35,84	392	62	2590	36,17	936	149	2415	37,96	917	147
Grade pesada	1732	36,07	624	99	3361	37,86	1272	203	3239	37,15	1203	193
Plantio Alternado	1602	35,53	569	91	3053	36,85	1125	180	2825	37,78	1067	171

¹ Base seca

² kg de proteína hectare⁻¹

³ Produtividade de proteína/6,25

Em outro experimento de longa duração - 33 anos - também conduzido na Embrapa Soja, foi verificado o efeito significativo do manejo do solo sobre as concentrações de proteína e óleo nos grãos de soja (Figura 1). O Plantio Direto proporcionou maior concentração de proteína e menor de óleo, comparativamente aos manejos com mobilização do solo. Possivelmente, o principal fator envolvido nessa resposta diferenciada seja a maior disponibilidade de N à soja cultivada neste sistema, em razão de condições mais adequadas à FBN, sobretudo menor amplitude térmica e maior conservação de água no solo. Nesse mesmo experimento observou-se que o Plantio Direto redundou em produtividade de grãos

de soja superior aos tratamentos como mobilização do solo (Aração + gradagem; grade pesada; e escarificação + gradagem) (Figura 2).

A maior produtividade de grãos, aliada à maior concentração de proteína no Plantio Direto (Figura 1), resulta em maior produtividade de proteína por área. A quantidade de proteína produzida no tratamento com grade pesada foi apenas metade da observada com uso do Plantio Direto. Apesar da concentração de óleo no Plantio Direto ser inferior a dos tratamentos com mobilização do solo (Figura 1), a produtividade de óleo por área foi maior no tratamento conservacionista, em razão da maior quantidade de

grãos produzida (Figura 2). Por exemplo, no Plantio Direto, a quantidade de óleo produzida foi praticamente o dobro da obtida com uso de grade pesada. Em pesquisa desenvolvida nos EUA, Wisconsin, também concluiu-se que a concentração de proteína nos grãos de soja tende a diminuir com o cultivo sucessivo de solo em preparo convencional, provavelmente em função da redução do N mineral no solo e de condições menos adequadas para a FBN (TEMPERLY; BORGES, 2006).

Cabe salientar que a adoção do sistema de Plantio Direto vem crescendo no Brasil, e os benefícios como maior retenção de água, menores oscilações de temperatura do solo e maior teor de matéria orgânica, contribuem com o aumento da concentração de proteína no grão de soja. Esses resultados revelam como o sistema de produção deve ser manejado para que a FBN possa atender o potencial produtivo da soja, com aplicação mínima de N-mineral, visando um sistema de produção econômico e sustentável.

5.2. Efeito da temperatura

Apesar da existência de dados a respeito da influência ambiental na composição dos grãos de soja,

o efeito da temperatura não tem sido totalmente entendido, redundando em grande dificuldade para explicar as variações das concentrações de óleo e proteína em lavouras comerciais. Em muitos experimentos as mudanças na concentração de óleo e proteína têm sido interpretadas como resultado direto da temperatura, sem considerar o efeito da temperatura sobre a acumulação de matéria seca.

A análise de dados obtidos em câmara de crescimento, casa de vegetação e campo geralmente mostram a concentração de óleo e proteína curvilineamente e inversamente relacionada com a temperatura do ar durante o período de enchimento de grãos (GIBSON; MULLEN, 1996; PIPER; BOOTE, 1999). Em alguns estudos foi relatado que a máxima concentração de óleo ocorreu entre 25 e 28 °C, decrescendo quando a temperatura aumentou (DORNBOS; MULLEN, 1992; GIBSON; MULLEN, 1996; PIPER; BOOTE, 1999). Em estudos conduzidos em casa de vegetação e câmaras de crescimento, a concentração de proteína foi constante ou decresceu levemente quando a temperatura aumentou de 15 para 25-28 °C (WOLF et al., 1982, GIBSON; MULLEN, 1996). Em temperaturas superiores a 28 °C a concentração de proteína aumentou

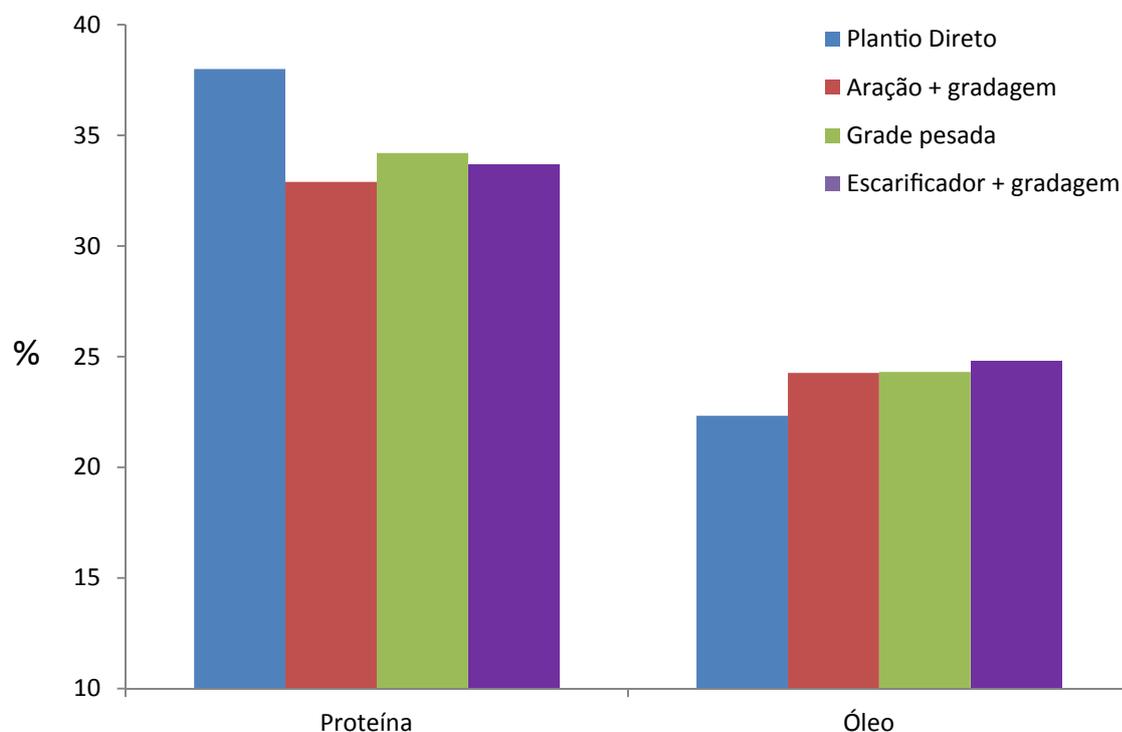


Figura 1. Concentração de proteína e óleo em grãos de soja após 33 anos de diferentes manejos do solo. Médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5%. Coeficiente de variação para concentração de proteína = 2,1 % e para concentração de óleo = 2,8 %. Londrina, PR, safra 2013/14.

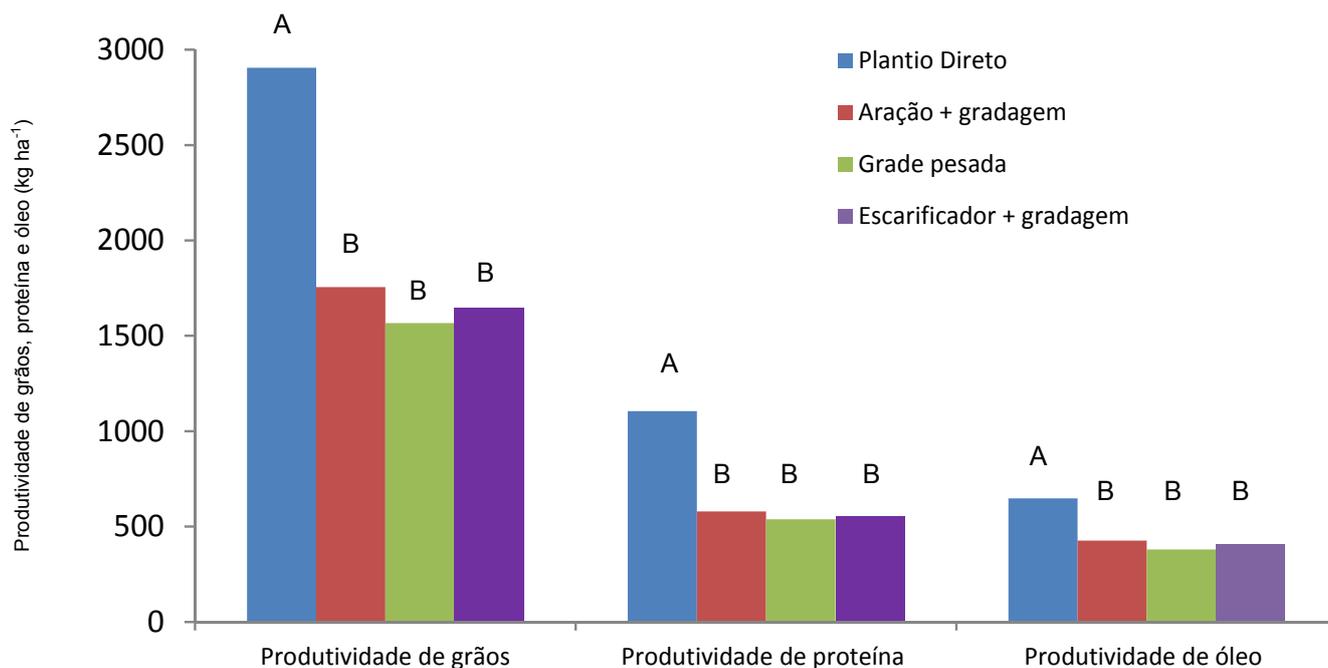


Figura 2. Produtividade de grãos, proteína e óleo após 33 anos de diferentes manejos do solo. Médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5%. Coeficiente de variação para produtividade de grãos = 10,0%; produtividade de proteína = 11,0 %; e produtividade de óleo = 9,9 %. Londrina, PR, safra 2013/14.

linearmente com a temperatura (WOLF et al., 1982; DORNBOS; MULLEN, 1992; GIBSON; MULLEN, 1996). Piper e Boote (1999) encontraram em dados de campo que a concentração de proteína decresceu quando a temperatura aumentou de 14 para 20 °C e aumentou quando a temperatura aumentou para valores superiores a 25 °C.

Em experimentos *in vivo* e, particularmente, em experimentos a campo, é praticamente impossível avaliar todos os fatores ambientais que poderiam influenciar a concentração de óleo e proteína da soja (temperatura, suprimento de água, fertilidade do solo, FBN, fotoperíodo, entre outros).

O efeito da temperatura sobre a concentração de óleo e proteína em sementes de soja, cultivar Williams 82, cultivadas *in vitro* a 17, 21, 25, 29 e 33 °C foi investigado por Pípulo et al. (2004a). A Taxa de Acúmulo de Matéria Seca (TAMS) teve pequenas variações entre 21 e 29 °C, foi máxima ao redor de 25 °C e depois decresceu a temperaturas abaixo de 21 °C e acima de 29 °C. As concentrações de óleo e proteína e a TAMS da semente não apresentaram diferença significativa ($P > 0,05$) quando a temperatura variou de 21 a 29 °C, faixa de temperatura encontrada em condições de campo durante o período de enchimento de grãos nas áreas onde se cultiva soja no Brasil. Entretanto, considerando

todas as temperaturas, a regressão quadrática para concentração de óleo apresentou ponto de mínimo a 24,1 °C e a regressão quadrática para concentração de proteína apresentou ponto de mínimo a 24,3 °C. Existiu, portanto, uma relação inversa entre TAMS e as concentrações de óleo e proteína. Como as concentrações de óleo e proteína foram mais baixas quando a TAMS alcançou os valores mais altos, o efeito de diluição explica as variações em concentração, pois não houve diferença significativa nos conteúdos de óleo e proteína da semente (Tabela 3).

Visando avaliar a variação da concentração de óleo e proteína devido a antecipação da época de semeadura, Albrecht et al. (2008) verificaram, no Oeste do Paraná, que a antecipação da semeadura de 15 novembro para 15 de setembro pode provocar redução na concentração de proteína nos grãos. A antecipação da época de semeadura imprime mudanças nas condições climáticas durante os períodos de desenvolvimento da cultura, inclusive durante o período de enchimento de grãos. Como os teores de óleo e proteína são determinados por fatores genéticos com forte influência ambiental, os efeitos dessa mudança de época de semeadura sobre a composição dos grãos, deve ser melhor estudado visando identificar o efeito predominante nesta época de plantio.

Tabela 3. Acúmulo de matéria seca e conteúdo de óleo e proteína em sementes de soja cultivadas *in vitro* em resposta a temperatura.

Temperatura °C	Matéria seca ¹ (mg semente ⁻¹)	Conteúdo de óleo ² (mg semente ⁻¹)	Conteúdo de proteína ² (mg semente ⁻¹)
Experimento 4			
17	106,1	13,4	36,4
25	109,9	12,5	35,5
33	81,1	11,6	31,0
P	*	ns	ns
SD	20,7	2,91	6,89
Experimento 5			
17	123,3	18,8	44,6
25	125,8	16,9	43,8
33	107,5	16,8	38,1
P	ns	ns	ns
SD	16,3	2,89	6,77

¹ Média de peso seco por semente no final do experimento. Cada valor é média de cinco a seis repetições

² Conteúdo de óleo e proteína em base seca

ns = não significativo, * (P < 0,05), SD = desvio padrão

Fonte: Pipolo et al. (2004a)

A composição média de ácidos graxos predominantes nos óleos comerciais de soja é de: 10% de ácido palmítico (C16:0); 4% de ácido esteárico (C18:0); 22% de ácido oleico [C18:1(Δ⁹)]; 54% de ácido linoléico [C18:2 (Δ^{9, 12})]; e 10% de ácido linolênico [C18:3 (Δ^{9, 12, 15})] (WILSON, 2004). Assim como existem relatos na literatura sobre a influência da temperatura nas concentrações de óleo e proteína, também existem informações sobre a influência da temperatura no perfil de ácidos graxos do grão de soja. Em condições controladas, a temperatura tem pouco efeito na concentração dos ácidos graxos saturados (palmítico e esteárico). Por outro lado, a concentração de oleico aumenta com o aumento da temperatura, ocorrendo o contrário com os ácidos graxos poli-insaturados linoléico e linolênico, que aumentam quando a temperatura declina (BURTON et al., 1989; WOLF et al., 1982).

6. Qualidade da soja exigida pela indústria esmagadora

O farelo e o óleo de soja comercializados, tanto no mercado externo como no interno, devem atender às especificações contratuais, como as descritas pela Associação Nacional dos Exportadores de Cereais - ANEC (www.anec.com.br), para exportação e a do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA - Portaria 795, para o mercado interno. Para atender a estas especificações, todos os anos a indústria de óleo e farelo enfrenta problemas devido à imprevisibilidade da qualidade da matéria prima a ser recebida, e, principalmente, com relação aos teores de proteína e óleo nos grãos ofertados

em cada safra. A fórmula abaixo tem sido utilizada pela indústria para estimar a Proteína Esperada no Farelo (PEF) e nos dá uma boa referência da qualidade da soja exigida pela indústria esmagadora, visando o atendimento das especificações comerciais.

$$PEF = (0.01 * \text{prot}14\% - (0.000485 * \text{oleo}14\% * 0.01)) / (0.9829 - 1.10968 * \text{oleo}14\% * 0.01) * 100$$

onde:

- PEF: proteína esperada no farelo;
- prot14%: teor de proteína (%) na soja com teor de umidade de 14%
- oleo14%: teor de óleo (%) na soja com teor de umidade de 14%

Considere o processamento de um lote de soja com teor de umidade de 14% e teor de óleo e proteína de 18,22% e 35,95% respectivamente (Tabela 4, Amostra 1), em uma planta de óleo com rendimento de extração de 97%, produzindo óleo degomado tipo 1 (MAPA-Portaria 795) e farelo para exportação (ANEC-71). Substituindo na fórmula os teores de óleo e proteína, obtém-se PEF = 46,03%. Pela portaria ANEC-71, o farelo deve conter no mínimo 46% de proteína, portanto a qualidade da soja apresentada na Amostra 1 seria adequada para a fabricação do farelo, conforme as especificações. No caso da Amostra 2, a indústria não conseguiria fabricar o farelo conforme as especificações, podendo sofrer deságio na comercialização. Nesse caso, uma alternativa seria retirar o tegumento do grão de soja no processo industrial, visando aumentar o teor de proteína, pois o tegumento representa aproximadamente 7,3% do peso e apresenta teor de proteína ao redor de 8,8% e teor de óleo ao redor de 1%,

em base seca (Tabela 5). A Amostra 3 foi aprovada devido a tolerância de 0,5% nos teores de proteína devido a erros de análise e amostragem. No caso da Amostra 6, a indústria poderia fabricar o farelo HI PRO com 48% de proteína, que recebe ágio sobre o farelo base com 46% de proteína, que é o farelo normal. Finalmente são apresentados os dados convertidos para base seca.

Recentemente o setor industrial tem manifestado preocupação devido à dificuldade de produzir farelo com 46% de proteína, recorrendo em algumas situações à retirada do tegumento dos grãos. O baixo teor de proteína existente nos grãos colhidos atualmente pode estar relacionado com a maior preocupação dos programas de melhoramento com a produtividade do que com o teor de proteína, características que apresentam correlação negativa, aspecto já discutido anteriormente. Wilson et al. (2014) conduziram estudo a campo com cultivares de soja lançadas nos EUA de 1923 a 2008, Grupos de Maturidade II e III, visando estudar entre outras coisas, a interação entre ano de lançamento e produtividade de grãos e teores de óleo e proteína. No Grupo de Maturidade II, o ganho de rendimento foi de 17,2 Kg ha⁻¹ ano⁻¹ e no teor de proteína houve uma redução total de 9,6 g kg⁻¹. No Grupo de Maturidade III o ganho de rendimento foi de 22,8 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e no teor de proteína houve uma redução total de 21,0 g kg⁻¹. A concentração de óleo aumentou linearmente tanto no Grupo de Maturidade II quanto no Grupo III com taxas anuais de 0,13 e 0,12 g kg⁻¹, respectivamente. Rowntree et al. (2013), trabalhando com a mesma base de dados, mas avaliando duas épocas de plantio, 1º de maio (plantio antecipado) e 1º de junho, obtiveram resultados semelhantes. No GM II o ganho de produtividade foi de 18,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e o teor de proteína diminuiu 0,191 g kg⁻¹ ano⁻¹. No GM III o ganho de produtividade foi da ordem de 19,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹

e o teor de proteína diminuiu 0,242 g kg⁻¹ ano⁻¹. O teor de óleo aumentou 0,142 g kg⁻¹ ano⁻¹ e 0,127 g kg⁻¹ ano⁻¹ nos GM II e III respectivamente. Os autores sugerem que a tendência de aumento no teor de óleo e decréscimo no teor de proteína é resultado da seleção feita para produtividade de grãos.

Também cabe salientar que a concentração de proteína no grão tem importância comercial. Contudo, também é importante a produtividade de proteína, ou seja, quantos quilos de proteína são produzidos por hectare. Uma produtividade de 3000 kg ha⁻¹ de soja com 40% de proteína resultará em 1200 Kg de proteína ha⁻¹ em aproximadamente 120 dias de ciclo da soja. Uma produtividade de 3.500 kg ha⁻¹ de soja com concentração de proteína de 38% resultará em 1.330 kg de proteína/ha nos mesmos 120 dias, ou seja, 130 kg de proteína a mais por hectare. Por outro lado, o aumento no teor de proteína deve ser associado com estudos de verificação da real melhoria do valor nutricional, em função da possível alteração no perfil de aminoácidos.

Thakur e Hurburgh (2007) compararam a qualidade da soja dos EUA, Brasil e Argentina a partir de amostras coletadas nesses países. A soja do Brasil apresentou a maior concentração de proteína (35,5%, na base 13% de umidade, n=35), seguida pela soja americana e pela soja Argentina (P=0,05). A soja do Brasil apresentou teor de óleo de 19,5%, na base 13% de umidade, n=35) e não diferiu dos teores de óleo da soja Argentina, sendo ambas superiores às amostras de soja dos EUA (P=0,05).

Tabela 4. Qualidade da soja requerida pela indústria esmagadora.

Amostra	Óleo%	Proteína%	PEF	Resultado	Óleo%	Proteína%
	Base 14%				Base seca	
1	18,22	35,95	46,03	Aprovado	21,19	41,80
2	18,53	35,30	45,40	Não Aprovado	21,55	41,05
3	19,64	35,07	45,83	Aprovado	22,84	40,78
4	17,31	36,52	46,17	Aprovado	20,13	42,47
5	19,87	34,07	44,67	Não Aprovado	23,10	39,62
6	19,91	36,60	48,02	Aprovado	23,15	42,56

PEF = Proteína Esperada no Farelo

Tabela 5. Composição química do grão de soja e de seus componentes em base seca

Componentes	Proteína %	Óleo %	Carboidrato %	Cinza %	Total %
Total do grão	40,3	21,0	33,9	4,9	100,0
Cotilédone	42,8	22,8	29,4	5,0	90,3
Tegumento	8,8	1,0	85,9	4,3	7,3
Hipocótilo	40,8	11,4	43,4	4,4	2,4

Fonte: Perkins (1995).

7. Considerações finais

Devido ao alto teor de proteína em seus grãos a soja tem uma grande demanda por N. A aquisição de N funciona como se fosse uma bicicleta com dois ciclistas. O primeiro ciclista puxa a corrida no início, o segundo ciclista do meio para o final. A primeira fonte (nitrato do solo) desempenha seu papel no início do ciclo da cultura, depois, a planta de soja adquire grandes quantidades de N por meio da fixação biológica. Não existe fonte mais importante e ambas têm forte dependência da disponibilidade hídrica.

A concentração de proteína no grão é governada por fatores genéticos, porém, com forte influência ambiental. Como a aquisição de nitrogênio tem grande variação devido à influência de fatores ambientais, grande parte das diferenças na concentração de proteína nos grãos de soja, observadas a campo, são explicadas pela variação na disponibilidade de nitrogênio para a planta. É importante considerar que nos últimos anos houve um processo de antecipação da época de semeadura da soja, com utilização de cultivares mais precoces, visando antecipar a semeadura do milho cultivado em sucessão e/ou reduzir a incidência de ferrugem asiática e insetos-praga, sobretudo percevejos. Esses fatores imprimem mudanças no ambiente de desenvolvi-

mento da cultura da soja, interferindo no acúmulo de N e, conseqüentemente no teor de proteína dos grãos.

A indústria esmagadora de soja tem manifestado preocupação com a diminuição no teor de proteína da soja. Uma primeira explicação é que as empresas de melhoramento ao lançarem suas cultivares, dão mais importância à produtividade de grãos, contribuindo indiretamente para a queda das concentrações de proteína devido à relação inversa com produtividade. Por outro lado, práticas de manejo preservando a matéria orgânica e privilegiando a FBN são de vital importância pois garantirão maior disponibilidade de N, refletindo em maior produtividade e teor de proteína nos grãos.

A situação do óleo também demanda apreensão devido à mudança na preferência do consumidor e das oportunidades geradas pelos novos usos. O aumento do consumo de óleos com alta concentração de ácido oleico (óleo de palma, canola, girassol, oliva e amendoim) vem crescendo, alguns a taxas mais altas do que o óleo de soja (USDA, 2015). Esforços visando o crescimento da participação da soja no mercado de commodities, aumentando suas vantagens comparativas, passam necessariamente pela alteração na composição do grão.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, L.P.; BRACCINI, A.L.; ÁVILA, M.R.; SUZUKI, L.S.; SCAPIM, C.A.; BARBOSA, M.C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região Oeste do Paraná. **Bragantia**, v.67, n.4, p.865-873, 2008.
- ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. **Plant and Soil**, v.252, p. 1-9, 2003.
- ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Publicações ANP. **Anuário Estatístico**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em 28 fev. 2015.
- BABUJIA, L.C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C., BROOKES, P.C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 2174-2181, 2010.
- BARKER, D.W.; SAWYER, J.E. Nitrogen application to soybean at early reproductive development. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 615-619, 2005.
- BILS, R.F.; HOWELL, R.W. Biochemical and cytological changes in developing soybean cotyledons. **Crop Science**, v.3, p.304-308, 1963.
- BIODIESEL FAQ's. Jefferson City: National Biodiesel Board, 2015. Disponível em: <<http://biodiesel.org/what-is-biodiesel/biodiesel-faq's>>. Acesso em: 7 mai. 2015.
- BRIM, C.A.; BURTON, J.W. Recurrent selection in soybeans II. Selection for increased percent protein in seeds. **Crop Science**, v.19, p.494-498, 1979.
- BURTON, J.W. Quantitative genetics: Results relevant to soybean breeding. In: WILCOX, J.R. (Ed.). **Soybeans: Improvement, production and uses**. 2nd ed. Madison: ASA, 1987. p. 211-247.
- BURTON, J.W.; ISREAL, D.W.; WILSON, R.F.; CARTER, T.E. Effects of defoliation on seed protein concentration in normal and high protein lines of soybean. **Plant and Soil**, v.172, p.131-139, 1995.
- BURTON, J.W.; WILSON, R. F.; BRIM, C.A.; RINNE, R.W. Registration of soybean germplasm lines with modified fatty acid composition of seed oil. **Crop Science**, v. 29, p. 1583, 1989.
- CHUNG, J.; BABKA, H.L.; GRAEF, G.L.; STASWICK, P.E.; LEE, D.J.; CREGAN, P.B.; SHOEMAKER, R.C.; SPECHT, J.E. The seed protein, oil, and yield QTL on soybean linkage group I. **Crop Science**, v. 43, p. 1053-1067, 2013.
- COBER, E.R.; VOLDENG, H.D. Developing high-protein, high-yield soybean population and lines. **Crop Science**, v.40, p.39-42, 2000.
- CREGAN, P.B.; JARVIK, T.; BUSH, A.L.; SHOEMAKER R. C.; LARK K. G.; KAHLER, A. L.; KAYA, N.; VANTOAI T. T.; LOHNES, D. G.; CHUNG, J.; SPECHT, J. E. 1999. An integrated genetic linkage map of the soybean genome. **Crop Science**, v. 39, p. 1464-1491, 1999.
- DORNBOS, D.L.; MULLEN, R.E. Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v.69, p.228-231, 1992.
- EGLI, D.E. Seed growth and development. In: Boote, K. J.; Bennett, J. M.; Sinclair, T. R.; Paulsen, G. M. (Ed.). **Physiology and determination of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 1994. Chapter 6A, p.127-148.
- ERHAN, S.V. **Industrial uses of vegetable oils**. Champaign: AOCS Press, 2005.
- FABRE, F.; PLANCHON, C. Nitrogen nutrition, yield and protein content in soybean. **Plant Science**, v.152, p. 51-58, 2000.
- FEHR, W.R. & CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Special Ames: Iowa State University, 1977. (Coop. Ext. Serv., Report 80).
- FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p.18-29, 2007.

- GAN, Y.; STULEN, I.; van KEULEN, H.; KUIPER, P.J.C. Effect of n fertilizer topdressing at various reproductive stages on growth, N_2 fixation and yield of three soybean (*Glycine max* (L) Merr.) genotypes. **Field Crops Research**, v. 80, p.147-155, 2003.
- GIBSON, L.R.; MULLEN, R.E. Soybean seed composition under high day and night growth temperatures. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v.73, p.733-737, 1996.
- HANWAY, J.J.; WEBBER, C.R. N, P and K percentages in soybean, [*Glycine max* (L) Merrill] plant parts. **Agronomy Journal**, v.63, p.286-290, 1971.
- HARPER, J.E. Nitrogen metabolism. In: WILCOX, J.R. (Ed.). **Soybeans: Improvement, production and uses**. 2.ed. Madison: ASA, 1987. p. 497-533, 1987.
- HARTWIG, E.E.; HINSON, K. Association between chemical composition of seed and seed yield of soybeans. **Crop Science**, v.12, p.829-830, 1972.
- HAYATI, R.; Egli, D.B.; CRAFTS-BRANDNER, S.J. Carbon and nitrogen supply during seed filling and leaf senescence in soybean. **Crop Science**, v.35, p.1063-1069, 1995.
- HAYATI, R.; EGLI, D.B.; CRAFTS-BRANDNER, S.J. Independence of nitrogen supply and seed growth in soybean: studies using an *in vitro* culture system. **Journal Experimental Botany**, v.47, p.33-44, 1996.
- HELMS, T.C.; ORF, J.H. Protein, oil, and yield in soybean lines selected for increased protein. **Crop Science**, v.38, p.707-711, 1998.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. & GRAHAM, P.H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America. In: SINGH, R.P.; SHANKAR, N.; JAIWA, P.K. (Ed.). **Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity**. Houston: Studium Press: LLC, 2006. p. 43-93.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; GRAHAM, P. H. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: WERNER, D.; NEWTON, W. E. (Ed.). **Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology, and the environment**. Dordrecht: Kluwer, 2005. p. 25-42.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Environmental factors affecting N_2 fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v. 65, p. 151-164, 2000.
- ISHIGE, T. Biometrical analysis and estimation of the number of genes for seed protein content of soybean, *Glycine max* (L.) Merrill. **Japanese Agricultural Research Quarterly**, v.17, p.230-235, 1984.
- ISRAEL, D.; BURTON, J.W.; WILSON, R.F. Studies on genetic male-sterile soybeans IV. Effect of male sterility and source of nitrogen nutrition on accumulation, partitioning, and transport of nitrogen. **Plant Physiology**, v. 78, p. 762-767, 1985.
- LEFFEL, R.C.; CREGAN, P.B.; BOLGIANO, A.P.; THIBEAU, D.J. Nitrogen metabolism of normal and high-seed-protein soybean. **Crop Science**, v.32, p.747-750, 1992.
- LOBERG, G.L.R.; SHIBLES, R.; GREEN, D.E.; HANWAY, J.J. Nutrient mobilization and yield of soybean cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v.7, p. 1311-1327, 1984.
- MANDARINO, J.M.G.; ROESSING, A.C. **Tecnologia para a produção de óleo de soja: descrição das etapas equipamentos, produtos e subprodutos**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 36 p. (Embrapa Soja. Documentos, 171).
- MASTRODOMENICO, A.T.; PURCELL, L.C. Soybean nitrogen fixation and nitrogen remobilization during reproductive development. **Crop Science**, v.52, p.1281-1289, 2012.
- NELSON, D.R.; BELLVILLE, R.J.; PORTER, C.A. Role of nitrogen assimilation in seed development of soybean. **Plant Physiology**, v.74, p.128-133, 1984.
- OHLROGGE, J.; BROWSE, J. Lipid biosynthesis. **The Plant Cell**, v.7, p. 957-970, 1995.

- PERKINS, E.G. Composition of soybeans and soybeans products. In: ERICKSON, D. R. (Ed.). **Practical handbook of soybean processing and utilization**. Champaign: AOCs Press, 1995. p. 9-28.
- PIPER, E.L.; BOOTE, K. Temperature and cultivar effects on soybean seed oil and protein concentration. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v.76, p.1233-1241, 1999.
- PÍPOLO, A.E.; SINCLAIR, T.R.; CAMARA, G.M.S. Effects of temperature on oil and protein concentration in soybean seeds cultured *in vitro*. **Annals of Applied Biology**, v. 144, p. 71-76, 2004a.
- PÍPOLO, A.E.; SINCLAIR, T.R.; CAMARA, G.M.S. Protein and oil concentration of soybean seed cultured *in vitro* using nutrient solution of differing glutamine concentration. **Annals of Applied Biology**, v. 144, p. 223-227, 2004b.
- PURCELL, L.C.; SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R.; DE, A. Soybean N₂ fixation estimates, ureide concentration, and yield responses to drought. **Crop Science**, v.44, p. 484-492, 2004.
- ROWNTREE, S.C.; SUHRE, J.J.; WEIDENBENNER, N.H.; WILSON, E.W.; DAVIS, V.M.; NAEVE, S.L.; CASTEEL, S.N.; DIERS, B.W.; ESKER, P.D.; SPECHT, J.E.; CONLEY, S.P. Genetic gain x management interaction in soybean: I. Planting date. **Crop science**, v.53, p. 1128-1138, 2013.
- SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, K.G.; SPECHT, J.E.; WALTERS, A.; DOBERMANN, A. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. **Field Crops Research**, v.108, p.1-13, 2008.
- SANTOS, M.A.; GERALDI, I.O.; GARCIA, A.A.F.; BORTOLATTO, N.; SCHIAVON, A.; HUNGRIA, M. Mapping of QTLs associated with biological nitrogen fixation traits in soybean. **Hereditas**, v.150, p.17-25, 2013.
- SARAVITZ, C.H.; RAPER Jr, C.D. Responses to sucrose and glutamine by soybean embryos grown *in vitro*. **Physiologia Plantarum**, v.93, p.799-805, 1995.
- SHIBLES, R.; SENCOR, J.; FORD, D.M. Carbon assimilation and metabolism. In: J WILCOX, J.R. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. 2. ed. Madison: ASA, 1987. p. 535-579.
- SHIBLES, R.; SUNDBERG, D. Relation of leaf nitrogen content and other traits with seed yield of soybean. **Plant Production Science**, v.1, p. 3-7, 1998.
- SINCLAIR, T.R. Improved carbon and nitrogen assimilation for increased yield. In: BOERMA, H.R.; SPECHT, J.E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. 3.ed. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 2004. p. 537-563.
- SINCLAIR, T.R.; de WIT, C.T. Analysis of the carbon and nitrogen limitation to soybean yield. **Agronomy Journal**, v. 68, p. 319-324, 1976.
- SMITH, L.H. Seed development, metabolism, and composition. In: TESAR, M.B. (Ed.). **Physiological bases of crop growth and development**. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 1984. p.13-52.
- STREETER, J.G. Inhibition of legume nodule formation and N₂ fixation by nitrate. **Critical Reviews in Plant Science**, v.7, p.1-23, 1988.
- STREETER, J.G. Nitrogen nutrition of field-grown soybean plants. II. Seasonal variations in nitrate reductase, glutamate dehydrogenase and nitrogen constituents of plant parts. **Agronomy Journal**, v.64, p. 315-319, 1972.
- TEMPERLY, R.J.; BORGES, R. Tillage and crop rotation impact on soybean grain yield and composition. **Agronomy Journal**, v.98, p.999-1004, 2006.
- THAKUR, M.; HURBURGH, C.R. Quality of US soybean meal compared to the quality of soybean meal from other origins. **Journal of the American Oil Chemists` Society**, v.84, p.835-843, 2007.
- THOMPSON, J.F.; MADISON, J.T.; MUENSTER, A.E. *In vitro* culture of immature cotyledons of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Annals of Botany**, v.41, p.29-39, 1977.

- THORNE, J.C.; FEHR, W.R. Incorporation of high-protein, exotic germplasm into soybean populations by 2-and 3-way crosses. **Crop Science**, v.10, p.652-655,1970.
- TORRES, A.R.; GRUNVALD, A.K.; MARTINS, T.B.; SANTOS, M.A.; RIBEIRO, V.A.; LEMOS, N.G.; SILVA, L.A.S.; HUNGRIA, M. Genetic structure and diversity of a soybean germplasm considering biological nitrogen fixation and protein content. **Scientia Agricola**, v.72, n.1, p.47-52, 2015.
- USDA. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Oilseeds: world market and trade**. April 2015. 34p. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>>. Acesso em: 7 mai. 2015.
- VESSEY, J.K.; RAPER JR, C.D.; TOLLEY-HENRY, L. Cyclic variation in nitrogen uptake rate in soybean plants: Uptake during reproductive growth. **Journal of Experimental Botany**, v.41, p.1579-1584, 1990.
- WANG, J.; CHEN, P.; WANG, D.; SHANNON, G.; SHI, A.; ZENG, A.; ORAZALY, M. Identification of quantitative trait loci for oil content in soybean seed. **Crop Science**, v.55, p. 23-34, 2015.
- WAREMBOURG, F.R.; FERNANDEZ, M.P. Distribution and remobilization of symbiotically fixed nitrogen in soybean (*Glycine max*). **Plant Physiology**, v.65, p. 281-286, 1985.
- WESTGATE, M.E.; ORF, J.; SCHUSSLER, J.R.; SHUMWAY, C. Temperature regulation of uptake and metabolism of protein and oil precursors by developing soybean embryos. **Agronomy Abstracts**. Madison: ASA, 1995.
- WILCOX, J.R. Increasing seed protein in soybean with eight cycles of recurrent selection. **Crop Science**, v.38, p. 1536-1540, 1998.
- WILCOX, J.R. Soybean protein and oil quality. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION DE SOJA, 4. , 1989, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: AASOJA, 1989. p.28-39.
- WILCOX, J.R.; CAVINS, J.R. Backcrossing high seed protein to a soybean cultivar. **Crop Science**, v.35, p. 1036-1041, 1995.
- WILCOX, J.R.; GUODONG, Z. Relationships between seed yield and seed protein in determinate and indeterminate soybean populations. **Crop Science**, v.37, p. 361-364, 1997.
- WILSON, E.W.; ROWNTREE, S.C.; SUHRE, J.J.; WEIDENBENNER, N.H.; CONLEY, S.P.; DAVIS, V.M.; DIERS, B.W.; ESKER, P.D.; NAEVE, S.L.; SPECHT, J.E.; CASTEEL, S.N. Genetic gain x management interaction in soybean: II.Nitrogen utilization. **Crop science**, v.54, p. 340-348, 2014.
- WILSON, R.F. Seed composition. In: BOERMA, H.R.; SPECHT, J.E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. 3.ed. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 2004. p. 621-677.
- WILSON, R.F. Seed metabolism. In: WILCOX, J.R. (Ed.). **Soybeans: Improvement, production and uses**. 2.ed. Madison: ASA, 1987. p. 643-686.
- Wolf, R.B.; Canvis, J.F.; Kleiman, R.; Black, L.T. Effect of temperature on soybean seed constituents: oil, protein, moisture, fatty acid, amino acids, and sugars. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 59, n.5, p. 230-232, 1982.
- YAZDI-SAMADI, B.; RINNE, R.W.; SEIF, R.D. Components of developing soybean seeds: oil, protein, starch, organic acid and amino acids. **Agronomy Journal**, v. 69, p. 481-486, 1977.
- ZAPATA, F.; DANSO, S.K.A.; HARDARSON, G., FRIED.M. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. **Agronomy Journal**, v.79, p.172-176, 1987.

**Comunicado
Técnico, 86**



Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja
Rodovia Carlos João Strass, s/n - Acesso Orlando
Amaral
Caixa Postal 231, Distrito de Warta
CEP 86001-970, Londrina, PR
Fone: (43) 3371 6000 - Fax: 3371 6100
www.embrapa.br/soja
sac@embrapa.br

1ª edição
Versão *Online* (2015)

**Comitê de
publicações**

Presidente: *Ricardo Vilela Abdelnoor*
Secretária-Executiva: *Regina Maria Villas Bôas de
Campos Leite*

Membros: *Adeney de Freitas Bueno, Adônis Moreira,
Alvadi Antonio Balbinot Junior, Claudio Guilherme
Portela de Carvalho, Fernando Augusto Henning,
Eliseu Binneck, Liliane Márcia Mertz Henning e
Norman Neumaier*

Expediente

Coordenadora de Editoração: *Vanessa F. Dall' Agnol*
Bibliotecário: *Ademir Benedito Alves de Lima*
Editoração eletrônica: *Marisa Yuri Horikawa*