

**Distribuição vertical da composição química
e da uniformidade no tamanho de grãos
em plantas de soja de tipo de crescimento
determinado e indeterminado**



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
25**

**Distribuição vertical da composição
química e da uniformidade no tamanho
de grãos em plantas de soja de tipo de
crescimento determinado e indeterminado**

*Mercedes Concórdia Carrão-Panizzi
Rodrigo Santos Leite
Maria Cristina Neves de Oliveira
José Marcos Gontijo Mandarinó (in memoriam)
Bruna dos Santos da Silva Boscato*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja
Rod. Carlos João Strass, s/n,
acesso Orlando Amaral
Caixa Postal 231,
CEP 86001-970
Distrito de Warta
Londrina, PR
(43) 3371 6000
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Soja

Presidente
Ricardo Vilela Abdelnoor

Secretário-Executivo
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros
Clara Beatriz Hoffmann-Campo, Claudine Dinali Santos Seixas, Ivani de Oliveira Negrão Lopes, Liliane Márcia Mertz-Henning, Mariangela Hungria da Cunha, Mônica Juliani Zavaglia Pereira, Norman Neumaier e Vera de Toledo Benassi

Supervisão editorial
Vanessa Fuzinatto Dall' Agnol

Normalização bibliográfica
Valeria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Vanessa Fuzinatto Dall' Agnol

Foto da capa
Luiz Henrique Magnante (Embrapa Trigo)

1ª edição
PDF Digitalizado (2020)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Soja

Distribuição vertical da composição química e da uniformidade no tamanho de grãos em plantas de soja de tipo de crescimento determinado e indeterminado / Mercedes Concórdia Carrão-Panizzi... [et al.]. – Londrina : Embrapa Soja, 2020.

31 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Soja, ISSN : 2178-1680 ; n. 25).

1. Soja. 2. Óleo vegetal. 3. Proteína vegetal. 4. Ácido graxo. I. Carrão-Panizzi, Mercedes Concórdia. II. Leite, Rodrigo Santos. III. Oliveira, Maria Cristina Neves de. IV. Mandarin, José Marcos Gontijo. V. Boscato, Bruna dos Santos da Silva. VI. Série.

CDD: 633.34 (21. ed.)

Conteúdo

Introdução.....8

Material e Métodos9

Resultados e Discussão14

Conclusão.....28

Referências29

Distribuição vertical da composição química e da uniformidade no tamanho de grãos em plantas de soja de tipo de crescimento determinado e indeterminado

Mercedes Concórdia Carrão-Panizzi¹

Rodrigo Santos Leite²

Maria Cristina Neves de Oliveira³

José Marcos Gontijo Mandarino (in memoriam)⁴

Bruna dos Santos da Silva Boscato⁵

Resumo - Cultivares de soja precoces e de tipo de crescimento indeterminado podem superar estresses bióticos e abióticos. Os efeitos do tipo de crescimento foram avaliados quanto à composição química e uniformidade de tamanho dos grãos nos terços inferior, médio e superior das plantas de cultivares indeterminadas e determinadas. Na safra 2013/2014 foram avaliadas as cultivares Vmax (indeterminada) e A6411RR (determinada) e na safra 2015/2016 as cultivares BRS 6203RR, BRS 5601RR (indeterminadas) e A6411RR, BMX Ativa RR (determinadas) cultivadas em Passo Fundo (RS), Brasil. Amostras de grãos maduros (R8) foram analisadas para óleo e proteína (espectroscopia de refletância infravermelho próximo-NIR); isoflavonas (cromatografia líquida de alta eficiência-HPLC); ácidos graxos (cromatografia gasosa-GC) e tamanho de grãos (peso/100 grãos). Independentemente da característica genética do tamanho dos grãos, inerente a cada cultivar e que pode variar dentro de certos limites conforme condições ambientais, nos dados de 2013/2014, a cultivar A6411 RR, de tipo de crescimento determinado, apresentou grãos de tamanho grande e uniforme nos terços médio e superior

¹Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

²Licenciado em Química, mestre em Tecnologia de Alimentos, analista da Embrapa Soja, Londrina, PR.

³Licenciada em Matemática, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Soja, Londrina, PR.

⁴Farmacêutico-bioquímico, mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

⁵Engenheira-agrônoma, mestre em Agronomia, analista técnica comercial da Yara Brasil Fertilizantes, Júlio de Castilhos, RS.

das plantas, enquanto que Vmax, de tipo indeterminado, produziu sementes não uniformes e menores no terço superior. A cultivar Vmax, indeterminada apresentou alto e semelhante teor de óleo nos terços inferior e médio, respectivamente, e maior teor de proteína no terço superior. Diferenças inerentes às cultivares foram observadas para os teores de isoflavonas, sendo que a cultivar A6411RR, de tipo de crescimento determinado, apresentou maior teor do que a indeterminada Vmax. Entretanto, independentemente do tipo de crescimento, maiores teores de isoflavonas foram observados nos terços inferior e médio. Dados da safra 2015/2016 foram analisados por métodos multivariados, correlação de Pearson e Análise de Componentes Principais (ACP). Embora não tenham sido encontradas diferenças no tamanho dos grãos entre os segmentos das plantas, todas as cultivares apresentaram maior peso total de grãos no terço médio. Teores de óleo, de proteína e de ácidos graxos não foram diferentes entre os tipos de crescimento, o que pode ser devido a fatores genéticos ou ambientais não medidos.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merr., óleo, proteína, ácidos graxos, isoflavonas

Vertical distribution of chemical composition and grain size uniformity in determinate and indeterminate soybean plants

Abstract - Soybean cultivars of early maturity and indeterminate growth type can overcome biotic and abiotic stresses. Effects of this growth type were evaluated for chemical composition and grain size uniformity of indeterminate and determinate cultivars, from bottom, middle and upper thirds of the plant. In season 2013/2014, were evaluated, the cultivars Vmax (indeterminate) and A6411RR (determinate), and in season 2015/2016, were evaluated cultivars A6411RR e BMX Ativa RR (determinate) and BRS 6203RR, BRS 5601RR (indeterminate), grown in Passo Fundo RS, Brazil. Samples of mature grains (R8) were analyzed for oil and protein (near infrared reflectance spectroscopy-NIR); isoflavones (high performance liquid chromatography-HPLC); fatty acids (gas chromatography-GC) and grain size (weight of 100 grains). Regardless the genetic characteristics of grain size, at season 2013/2014, determinate type cultivar A6411RR had large and uniform grain size at the middle and upper third of the plants, while indeterminate type Vmax present non-uniform and smaller grains at the upper plant part. The indeterminate cultivar showed high and similar content of oil at bottom and middle thirds, respectively, while content of protein was higher at the upper third. Inherent differences among cultivars were observed for isoflavone contents, and cultivar A6411RR (determinate) presented the highest content. However, regardless growth type, the highest content was at middle and bottom thirds. Multivariate methods, Pearson correlation and Principal Component Analyzes (PCA) analyzed data of soybean season 2015/2016. Although no differences in grain size among plant segments were observed, all cultivars presented higher total grains weight at the middle third. Contents of oil, protein, and fatty acids did not differ between growth types, which could be due to genetic or environmental factors not measured.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merr., oil, protein, fatty acids, isoflavones

Introdução

Conforme classificação de Bernard et al. (1998) em genótipos do Banco de germoplasma de Soja do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), os tipos mais comuns de crescimento das plantas de soja são determinado e indeterminado, os quais são definidos em relação ao período que cessa o desenvolvimento vegetativo depois do estágio de desenvolvimento R1 (início da floração). Desse modo, genótipos classificados como de tipo de crescimento determinado, param de emitir gemas vegetativas após o estágio R1 e ocorre um crescimento relativamente menor quando comparado com os do tipo indeterminado. Portanto, as plantas ainda crescem em tamanho devido ao alongamento dos entrenós do ápice das plantas. O tipo indeterminado começa o R1 mais cedo e continua emitindo gemas vegetativas após o florescimento e, por isso, crescem mais. O tipo indeterminado também tem maior duração do período de florescimento do que o determinado. Portanto, para aumentar a produtividade, os produtores de soja preferem cultivares de maturidade precoce e tipo de crescimento indeterminado, pois uma vez que continuam crescendo, atingem altura adequada e ficam mais aptas para superar estresses bióticos e abióticos (Zanon et al., 2016).

Os diferentes terços da planta apresentam variação na assimilação de nutrientes, o que irá conferir diferenças na composição química dos grãos de soja (Sharma et al., 2013). Para síntese de proteínas e lipídios a planta necessita de condições ideais de luz, portanto, os grãos do terço superior da planta pela maior exposição da planta, geralmente apresentam maior concentração de proteína e menor teor de óleo (Escalante; Wilcox, 1993a, 1993b; Sales et al., 2016), enquanto que os grãos nos nós basais da planta podem não ter temperatura e luz ideais para a síntese de proteínas e lipídios. No entanto, Kato et al. (2015) observaram pequenas diferenças para teores de óleo e proteína entre cultivares determinadas e indeterminadas, sugerindo que os efeitos da introdução da característica de tipo de crescimento indeterminado sobre esses compostos é mais dependente do ciclo de maturidade, do ambiente de cultivo e do background genético das cultivares. As isoflavonas são compostos bioativos que afetam a saúde humana (Ko, 2014) e estão em grãos de soja nas formas químicas β -glucosídeo, malonil e aglicona (Sato et al., 2008). Suas quantidades e formas são influenciadas pela

genética da cultivar, ambiente produtivo e processamento (Carrão-Panizzi et al., 2009; Yerramsetty et al., 2014). Temperaturas mais frias durante o enchimento dos grãos favorecem a formação de isoflavonas (Carrão-Panizzi et al., 2009), cujas concentrações nos grãos também variam com os estádios de desenvolvimento da planta, sendo que os grãos maduros apresentam maior teor (Nakamura et al., 2001). A posição dos grãos na planta de soja afeta as concentrações desses compostos e o maior teor foi observado na parte basal da planta (Bellaloui et al., 2012). A qualidade do óleo de soja depende do seu perfil de ácidos graxos. Modificações genéticas para aumentar o teor do ácido oleico ou reduzir o teor do ácido linolênico melhoram a estabilidade do óleo à oxidação (Fehr, 2007). A intensidade da luz e da temperatura afeta os componentes químicos dos grãos de soja, sendo que Bellaloui et al. (2012) observaram maiores concentrações de óleo e dos ácidos graxos linoleico e linolênico nos grãos, quando esses se desenvolveram na sombra.

O período de floração mais longo da soja, permitindo alongamento do caule principal, características do tipo de crescimento indeterminado, pode favorecer o aumento no rendimento dos grãos (Kato et al., 2015), mas também pode causar diferenças no tamanho dos grãos. No Japão, onde a soja é cultivada principalmente para consumo humano, a uniformidade do tamanho dos grãos é importante, porque melhora a hidratação dos mesmos no processamento de alimentos (Kato et al., 2015), sendo que sojas de tipo de crescimento determinado são preferidas por terem grãos de tamanhos mais uniformes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do tipo de crescimento determinado e indeterminado da soja, comparando grãos de diferentes segmentos da planta (terços superior, médio e inferior) quanto à uniformidade do tamanho e teores de óleo, proteína, isoflavonas e ácidos graxos.

Material e Métodos

Safra 2013/2014

Cultivares de soja A6411RR (tipo de crescimento determinado) e Vmax (tipo de crescimento indeterminado) dos grupos de maturidade 6.2 e 5.9,

respectivamente, foram semeadas em 12 de dezembro de 2013 em Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil - 28°15'46"S, em parcelas de campo (04 fileiras, 5 metros de comprimento, 50 cm de distância entre fileiras), com espaço de 15 cm entre as plantas na linha. O experimento foi organizado em um desenho experimental de blocos ao acaso com os tratamentos fatoriais: duas cultivares (tipos de crescimento determinados e indeterminados) x três segmentos da planta (terços superior, médio e inferior) e três repetições. Para as avaliações, 10 plantas inteiras no estágio R8 (maturação) foram colhidas das linhas centrais das parcelas. Essas plantas foram divididas em três terços (inferior, médio e superior), sendo que amostras de grãos (três repetições) de cada terço foram avaliadas para tamanho e uniformidade dos grãos, percentual de óleo e proteína e teor de isoflavonas. O tamanho dos grãos foi determinado pesando amostras de 100 grãos (três repetições), em base úmida (12%), com uma balança Shimadzu (modelo BL320H). A uniformidade do tamanho dos grãos foi medida, em amostras de 100 grãos, pela contagem do número de grãos retidos na peneira classificadora #12 (Peneiras Classificadoras de Sementes Bastoni – Ibiporã, PR), em três repetições. As porcentagens de óleo e de proteína nos grãos foram quantificadas em base seca, utilizando-se espectroscopia de Refletância Infravermelha Próxima (NIR) (Termo Científico) modelo Antaris II FT-NIR. Todas as análises químicas foram realizadas na Embrapa Soja.

A análise quantitativa das isoflavonas foi de acordo com Berhow (2002) e a extração de isoflavonas segundo Carrão-Panizzi et al. (2002). Para separação e quantificação foi utilizado cromatógrafo UPLC (Waters model Acquity) equipado com detector de matriz de fotodiodo, Waters (modelo 996) e forno (CTO-10AS VP) para 26 °C. As isoflavonas foram eluídas em uma coluna de fase inversa (4,6 mm x 250 mm e com partículas de 5 µm - YMC Pack ODS-AM C18), por um sistema de gradiente linear. As 12 formas de isoflavonas foram identificadas e quantificadas comparando o tempo de retenção e os espectros de absorção de suas curvas padrão específicas, em quatro replicações laboratoriais. A concentração de isoflavonas foi expressa em mg/100g de farinha desengordurada de soja em base seca.

Safra 2015/2016

As cultivares de soja de tipos de crescimento determinado, BMX Ativa RR (grupo de maturidade 5.6) e A6411RR (grupo de maturidade 6.3) e as cultivares de tipo indeterminado, BRS 5601RR (grupo de maturidade 5.6) e BRS 6203RR (grupo de maturidade 6.2) foram semeadas em 24 de novembro de 2015, em Passo Fundo, seguindo o mesmo desenho experimental do experimento anterior. Foram analisadas amostras de grãos de diferentes partes da planta para peso total (g) de grãos, peso (g) de 100 grãos e percentagem dos teores de óleo, proteína e ácidos graxos.

Os ácidos graxos foram quantificados por cromatografia gasosa-GC (%), segundo a metodologia de Abidi et al. (1999) e Rayford et al. (1994). A partir de amostras moídas, 200 mg de farinha foram colocadas em tubos plásticos (50 mL) com tampa de rosca. Em cada tubo foi adicionado 5,0 mL de metóxido de sódio (NaCH₃OH) 1%, preparado a partir da diluição da solução de metóxido de sódio 25% (diluição 1:25 com metanol (grau HPLC-UV) e os tubos foram homogeneizados em um agitador de tubos vórtex. Para a reação de esterificação, as suspensões obtidas ficaram em repouso por uma hora à temperatura ambiente. Durante esse tempo para completa esterificação, os tubos foram homogeneizados em um agitador de tubos vórtex, em intervalos de 15 minutos, por uma hora até que a reação de esterificação fosse concluída. Após uma hora, foi adicionado nos tubos 1,0 mL de solução aquosa de ácido acético glacial 10% e 10 mL de heptano grau HPLC-UV, que foi homogeneizado no agitador de tubos vórtex. Após 10 minutos de repouso, 2,0 mL da camada superior de heptano, contendo os ácidos graxos, foram transferidos para frascos GC para injeção no cromatógrafo gasoso. A análise (três réplicas) foi realizada em cromatógrafo a gás (Thermo Scientific, modelo: Trace GC Ultra), com injetor automático de amostra, equipado com uma coluna de sílica capilar (30 m de comprimento, 0,32 mm de diâmetro interno), tendo como fase estacionária um polímero biscianopropil siloxane de 0,25 mm de espessura (marca Supelco, modelo SP 2340). Para a análise, 2,0 µL do extrato foi injetado em um injetor aquecido a 250 °C. A análise foi realizada em uma coluna isotérmica com temperatura de 170 °C, de 0 a 10 minutos,

seguida de uma “rampa “ a 220 °C, com incrementos de 3 °C por minuto, terminando com um aumento para 250 °C e retorno a 170 °C em três minutos para balanceamento térmico. O detector utilizado foi ionização de chama (FID) a 300 °C de temperatura. Os gases utilizados para a realização das amostras foram 5,0 SID nitrogênio ultrapuro (40 mL/min), 5,0 SID hidrogênio ultrapuro (40 mL/min) e ar sintético ultra-puro (450 mL/min). A quantificação foi pelo método padrão externo, utilizando-se calibração prévia com uma mistura padrão de ácidos graxos metil esters - FAME (marca Supelco) de concentrações conhecidas de palmítico (6,0 mg), esteárico (3,0 mg), oleico (35,0 mg), linoleico (50 mg), araquidônico (3,0 mg) e linolênico (3,0 mg). A mistura padrão dos ácidos graxos metil esters foi diluída em 100 mL de heptano grau HPLC-UV, e a curva padrão foi obtida de injeções de volumes de 1,0 µL a 5,0 µL dessa solução no equipamento GC. Os resultados das análises em base seca foram expressos em percentagens.

Nas análises exploratórias dos dados foram verificados os testes de não-aditividade do modelo (Tukey, 1949), normalidade dos erros, (Shapiro; Wilk, 1965), independência dos erros (Parente, 1984) e homogeneidade de variância (Burr; Foster, 1972). Utilizou-se o “Statistical Analysis System” versão 9.4 (SAS, 2016), Statsoft (2007) e Sanest (Zonta et al., 1984). Médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) e teste t ($p \leq 0,05$).

Os coeficientes de correlação de Pearson e Análises de Componentes Principais (ACP) foram utilizados para analisar dados da safra de soja 2015/2016. Os dados incluíram n combinações individuais de segmentos das plantas (terços superior, médio, inferior) e cultivares com tipos de crescimento determinado (A6411RR, BMX Ativa RR RR) e indeterminado (BRS 5601RR e BRS 6203RR). As variáveis resposta foram os teores de ácidos graxos (araquidônico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico e linolênico), óleo, proteína, peso total do grão e peso de 100 grãos. A proposta dessa metodologia foi apresentada por Yan (2014), permitindo a decomposição de valor singular (SVD) dos dois primeiros componentes principais em várias partes: auto-vetores de valores singulares de coluna, e autovetores de linhas, formando uma matriz diagonal. Esse método permite interpretar múltiplas variáveis em função de diferentes tratamentos no mesmo gráfico (Akinwale et al., 2014). Esse software que calcula os componentes principais reduz a dimensão dos dados, permitindo a visualização simultânea da contribuição de segmentos

das plantas, cultivares e tipos de crescimento determinado e indeterminado (Yan; Rajcan, 2002; Yan, 2014). As ACPs analisadas foram para efeito de cultivares (tipos de crescimento determinado e indeterminado); segmentos da planta (terços inferior, médio, superior); e para interação de cultivares (tipos de crescimento) e segmentos da planta. Todas as variáveis resposta foram padronizadas de acordo com a expressão abaixo:

$$p_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_j}$$

em que:

\bar{X}_j é a média aritmética de cada variável de resposta j

X_{ij} é o valor tomado pela j-ésima variável em cada indivíduo i

σ_j é o desvio padrão de cada variável j

Nas análises multivariadas, é importante avaliar os coeficientes de correlação, as variâncias e as covariâncias entre as variáveis. Também para aplicação do método se faz necessário observar a existência de um determinado padrão de correlação entre as variáveis e, que podem ser avaliados pelo método de Pearson.

Desta forma, para a aplicação da análise de componentes principais (ACP) e uso dos gráficos biplot o modelo baseado na Decomposição do Valor Singular (DVS) dos componentes principais para esta pesquisa teve a seguinte expressão:

$$\frac{T_{ijk} - \bar{T}_{jk}}{s_{jk}} = \lambda_1 \phi_{ik1} \tau_{jk1} + \lambda_2 \phi_{ik2} \tau_{jk2} + \varepsilon_{ijk}$$

em que: T_{ijk} é o valor médio da combinação de todos os genótipos de soja e os segmentos da planta ik para característica j, \bar{T}_{jk} é o valor da média para a combinação da característica j e os segmentos da planta jk para todos os genótipos de soja, s_{jk} é o desvio padrão da interação do tratamento (genótipo) i e segmentos da planta ik ; ϕ_{ik1} e ϕ_{ik2} são os escores dos componentes CP1 e CP2, respectivamente, para o genótipo i ; τ_{jk1} e τ_{jk2} são os escores de CP1 e CP2, respectivamente, para a característica j ; e ε_{ijk} é o efeito residual associado ao modelo com a interação de genótipo por segmento da planta ik na característica j .

Antes de qualquer procedimento multivariado deve-se estar atento ao padrão dos coeficientes de correlação ou matriz de variâncias e covariâncias entre as variáveis. A matriz de correlação deve apresentar um número expressivo de coeficientes de correlação com valor superior a 0,30, pois são utilizados nos cálculos para extrair os autovalores e os autovetores (Figueiredo Filho; Silva Júnior, 2009; Paranhos et al., 2014). A avaliação desse critério possibilita a continuidade da aplicação da análise de componentes principais (ACP). Com esse método são geradas novas variáveis não correlacionadas, obtidas de combinações lineares das variáveis originais e são apresentadas em ordem decrescente relativa ao seu poder de explicação. A ACP é bem sucedida se existirem fortes intercorrelações nos dados originais e se, esses, estiverem padronizados para uma mesma escala relativa, de forma que, os eixos da ACP não sejam dominados por uma ou mais variáveis que apresentem as maiores variâncias. Caso contrário, não se têm bons resultados para a análise de componentes principais, uma vez que não se consegue capturar uma série de novas variáveis, reduzindo a dimensão da matriz, sem perda de informação (Gotelli; Ellison, 2011; Ferreira, 2018).

Resultados e Discussão

Safra 2013/2014

A cultivar A6411RR (tipo de crescimento determinado) apresentou, em média, maior tamanho dos grãos (16 g por 100 grãos) do que a cultivar indeterminada Vmax (13 g por 100 grãos), o que é um carácter genético de cada cultivar. No entanto, independentemente da característica genética, as cultivares apresentaram diferenças de tamanho dos grãos também nos diferentes segmentos da planta, para os dois tipos de crescimento (Tabela 1). Vmax (tipo indeterminado) apresentou grãos menores no terço superior, enquanto A6411RR (tipo determinado) teve grãos menores no terço inferior, e grãos maiores nos terços médio e superior. O percentual de grãos retidos na peneira de classificação número 12, também mostrou essas diferenças. A cultivar de tipo de crescimento determinado apresentou maior uniformidade no tamanho dos grãos, sendo que 90% do total de grãos produzidos pela planta foi retido na peneira 12 (Figura 1). A cultivar de tipo indeterminado

mostrou retenção de 76% de grãos do terço inferior e médio, e 47% de grãos do terço superior. Isso confirma que cultivares de tipo indeterminado não são uniformes para o tamanho dos grãos, indicando grãos pequenos no terço superior da planta (Tabela 1). Guleria et al. (2008) analisando apenas uma cultivar, sem definição do tipo de crescimento, observaram grãos maiores na porção apical da planta, a qual também apresentava maiores concentrações dos constituintes dos grãos. Em nosso experimento, independentemente da genética de ambas as cultivares para o tamanho dos grãos, a cultivar de tipo determinado apresentou grãos maiores no terço superior da planta, enquanto os tipos indeterminados apresentaram grãos menores (Tabela 1, Figura 1), sugerindo que o tipo de crescimento das plantas afeta a uniformidade do tamanho dos mesmos.

Foto: Bruna dos Santos da Silva



Figura 1. Peneira malha 4,2, (classificada como tamanho 12), utilizada para classificação de uniformidade de tamanho dos grãos de soja. Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2014.

Ambas as cultivares avaliadas, independentemente do tipo de crescimento, apresentaram teor de óleo semelhante nos terços inferior e médio das plantas. Entretanto, no terço superior, foram observadas diferenças significativas e a cultivar indeterminada Vmax apresentou menor teor de óleo (Tabela 1).

Tabela 1. Peso de 100 grãos, percentual de grãos retidos na peneira número 12 e percentual de óleo e proteína, em grãos de cultivares de soja Vmax (tipo de crescimento indeterminado) e A6411RR (tipo determinado), dos terços inferior, médio e superior das plantas de soja. Passo Fundo, Safra de soja 2013/2014.

Cultivares	Segmentos da Planta		
	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Superior
	Peso de 100 grãos (g)		
Vmax	13aB	13aB	12bB
A6411RR	15bA	16aA	16aA
CV=1,49%			
	Peneira #12 (%)		
Vmax	76aB	77aB	47bB
A6411RR	90aA	93aA	92aA
CV=3,16%			
	Óleo (%)		
Vmax	19aA	19aA	18bB
A6411RR	18bA	18bA	20aA
CV=2,44%			
	Proteína (%)		
Vmax	39aA	38bB	40aA
A6411RR	38bB	40aA	38bB
CV=0,80%			

Médias (n=18) seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e letra minúscula na linha para cada grupo não são significativamente diferentes pelo t-test ($p \geq 0,05$).

Sales et al. (2013) observaram a mesma tendência em cultivares brasileiras de soja, quando o óleo estava concentrado nos grãos do terço inferior da planta, enquanto o teor de proteína era maior nos grãos do terço superior. A cultivar determinada A6411RR apresentou alto teor de proteína em grãos localizados na porção média, enquanto a cultivar indeterminada Vmax apresentou altas concentrações no terço superior (Tabela 1). Bellaloui e Gillen (2010) explicaram que a sombra na porção basal da planta pode causar redução na atividade fotossintética, o que afetaria a relação óleo/proteína (menos proteína, mais óleo). A concentração de óleo aumenta até alcançar um ótimo de temperatura, enquanto, que a proteína responde linearmente ao aumento da temperatura (Bellaloui et al., 2012). Isso pode explicar a causa de o teor de óleo ser maior nos grãos produzidos nos nós inferiores, localizados na parte sombreada da planta. Esses resultados indicaram maior teor proteico nos grãos do terço superior da cultivar indeterminada Vmax, o que pode ser uma resposta à maior exposição às altas temperaturas e luz intensa (Tabela 1).

O teor total de isoflavonas foi 226,74 mg/100g e 268,33 mg/100g em média para cultivar Vmax (indeterminada) e A6411RR (determinada), respectivamente (Figura 2), o que pode ser devido ao fator genético. No entanto, condições ambientais afetam a formação de isoflavonas, sendo que temperaturas médias locais reduzidas durante o enchimento dos grãos favorece o aumento da formação de isoflavonas (Carrão-Panizzi et al., 2009). Em 2014, no período crítico de enchimento de grãos (R6 a R8), as temperaturas médias foram de 20 °C em março e 18 °C em abril (Pasinato; Cunha, 2014). A cultivar Vmax (grupo de maturidade 5.9), que foi exposta a temperaturas mais elevadas durante o enchimento de grãos (20 °C em março), apresentou menor teor de isoflavonas que a cultivar A6411RR (grupo de maturidade 6.2), a qual foi exposta a temperaturas mais baixas durante o enchimento de grãos (18 °C em abril). Informações das diferentes partes da planta, para isoflavonas individuais (daidzina e genistina), permitiu observar que as concentrações das suas formas β -glicosídeos e malonils foram maiores na porção inferior das plantas da cultivar A6411RR (determinada) e na porção média da cultivar Vmax (indeterminada) (Tabela 2). As cultivares apresentaram, na parte superior das plantas, menor quantidade dos β -glicosídeos, daidzina e genistina, como também de suas respectivas formas malonil, independente do tipo de crescimento (Tabela 2). Portanto, o maior teor de isoflavonas nas porções mais baixas da planta pode ser um efeito da sombra resfriando o ambiente (Bellaloui et al., 2012). A porção superior da planta, mais exposta à luz e às temperaturas mais elevadas, apresentou menor teor de isoflavonas (Tabela 2 e Figura 2). Da base para o topo da planta, o teor total de isoflavonas após diminuiu 77% e 75% em média para Vmax e A6411RR, respectivamente (Figura 2).

Isoflavonas agliconas são formadas pela hidrólise das formas glicosídeos, a qual é promovida por fermentação, processamento ou danos nos grãos (Góes-Favoni et al., 2010), sendo que também tem sido observado que essas formas de isoflavonas estão presentes em pequenas quantidades em grãos recém-colhidos. A cultivar indeterminada Vmax mostrou maior teor de daidzeína e genisteína nos grãos do terço superior da planta, talvez devido a fatores não medidos que poderiam favorecer a formação de agliconas naque-

le segmento da planta. A cultivar determinada A6411RR apresentou maior teor das formas agliconas nos grãos do terço inferior e menor quantidade nos grãos do terço superior da planta (Tabela 2).

Tabela 2. Isoflavonas β -glicosídeos, malonils, agliconas e total de isoflavonas nos grãos das cultivares de soja Vmax (tipo de crescimento indeterminado) e A6411RR (tipo de crescimento determinado), de diferentes segmentos das plantas (inferior, médio e superior) (Safras de Soja 2013/2014).

Cultivares	Segmentos das Plantas											
	Daidzina (mg/100g)			Glicitina (mg/100g)			Genistina (mg/100g)			Malonil Genistina (mg/100g)		
	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior
Vmax	19,38 bB	20,50 aB	16,22 cB	18,70 B	4,75 bB	5,34 abB	5,31 B	33,97 aB	34,99 aB	24,77 bB	31,24 B	
A6411RR	24,36 aA	22,87 bA	18,76 cA	22,00 A	5,45 bA	6,32 aA	5,91 A	40,05 aA	36,89 bA	29,47 cA	35,47 A	
Média	21,87 a	21,68 a	17,49 b		5,65 a	5,35 a	5,83 a	37,01 a	35,94 a	27,12 b		
*CV (%)	2,53				7,38			3,06				
Cultivares	Malonil Daidzina (mg/100g)			Malonil Glicitina (mg/100g)			Malonil Genistina (mg/100g)			Total Agliconas (mg/100g)		
	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior
	Vmax	57,73 bB	60,09 aB	47,81 cB	55,21 B	21,70 aA	15,59 bB	18,03 bB	18,44 B	103,38bB	107,99 aB	74,55 cB
A6411RR	90,64 aA	65,59 bA	55,38 cA	70,53 A	21,27 aA	22,08 aA	22,72 aA	22,02 A	119,63 aA	113,00 bA	93,80 cA	108,81 A
Média	74,18 a	62,84 b	51,59 c		21,48 a	18,84 b	20,37 ab		111,50 a	110,49 b	84,18 c	
*CV (%)	1,43				7,64				0,47			
Cultivares	Daidzina (mg/100g)			Gliciteina (mg/100g)			Genisteina (mg/100g)			Total Agliconas (mg/100g)		
	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior
	Vmax	1,38 aB	0,0 cA	1,33 bA	0,90 B	0,45 bB	1,48 aA	0,34 cB	0,76 A	1,26 aB	0,45 cB	0,90 bB
A6411RR	2,13 aA	1,76 bB	1,24 cB	1,71 A	0,56 aA	0,54 aB	0,45 bA	0,51 B	1,61 aA	1,39bA	1,07 cA	1,36 A
Média	1,75 a	0,88 c	1,28 b		0,50 b	1,01 a	0,39 c		1,43 a	0,92 b	0,99 b	
*CV (%)	1,21				2,53				8,47			
Cultivares	Total Glicosídeos (mg/100g)			Total Malonil Glicosídeos (mg/100g)			Total Agliconas (mg/100g)			Total Agliconas (mg/100g)		
	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior
	Vmax	59,19 aB	60,24 aB	46,33 bB	55,25 B	182,81 aB	183,67 aB	140,39 bB	168,96 b	3,09aB	1,93cB	2,57bB
A6411RR	69,87 aA	65,71bA	54,55 cA	63,38 A	231,53 aA	200,67 bA	171,90 cA	201,37 a	4,30aA	3,69bA	2,76cA	3,58 A
Média	64,54 a	62,98 a	50,44 b		207,17 a	192,17 b	156,15 c		3,69 a	2,81 b	2,67 c	
*CV (%)	2,89				1,21				3,21			

Médias seguidas pelas mesmas letras entre os terços da planta para cada cultivar não são diferentes pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$)

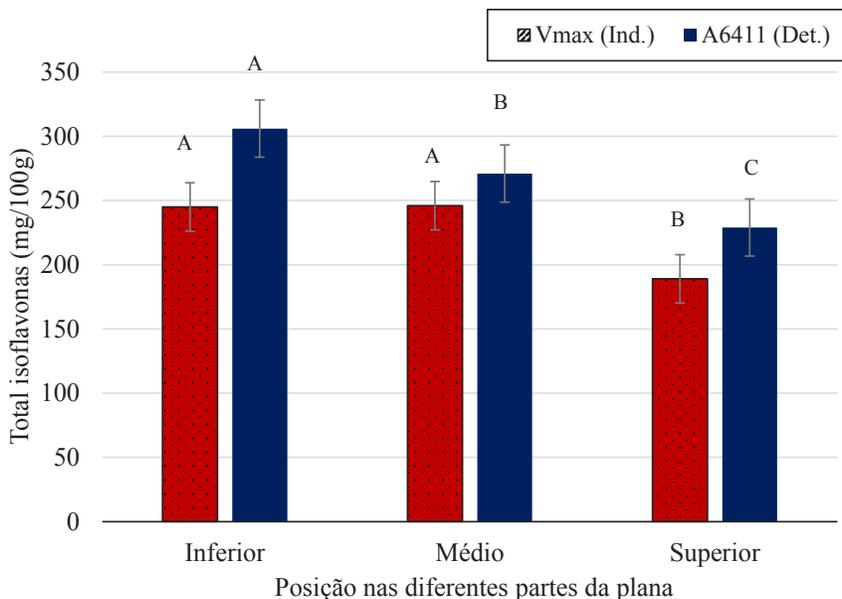


Figura 2. Teor total de isoflavonas em grãos de soja das cultivares Vmax (tipo de crescimento indeterminado) e A6411RR (tipo de crescimento determinado), de segmentos das plantas (terços inferior, médio e superior) (safra de soja 2013/2014).

Safra 2015/2016

A matriz de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas (porcentagens de ácidos graxos, óleo, proteína, peso total dos grãos e peso de 100 grãos) apresentou um padrão de correlação superior a 0,30, o que possibilita o estudo da Análise de Componentes Principais (ACP). Pelos resultados obtidos foi observado que o menor e o maior valor dos Coeficientes de Correlação de Pearson (r), significativos e negativos variou de $r = -0,59$ (óleo x proteína) a $r = -0,97$ (oleico x linoleico). Embora existam outros valores superiores a 0,30, que são indicados como aceitáveis na literatura como bons resultados (Figueiredo Filho; Silva Júnior, 2009; 2010), este trabalho, não apresentou resposta significativa para valores entre 0,33 a -0,55. Dos 45 coeficientes de correlação possíveis, apenas 10 foram maiores e significativos (28,6%), enquanto dos 28 valores não significativos, 17, foram maiores e superiores a 0,30. A variação dos valores de coeficientes de correlação positivo e significativo foi de $r = 0,67$ (óleo x peso de grãos) a $r = 0,90$ ácido graxo esteárico x ácido graxo araquidônico.

As Análises dos Componentes Principais (ACP) considerando as cultivares (tipo de crescimento determinado e indeterminado) versus os ácidos graxos, mostraram que os dois primeiros componentes explicaram 92,4% da variância total (CP1 = 61,9% e CP2 = 30,95%). Os autovalores representam a variação total explicada para cada fator, sendo que somente o primeiro componente explica 61,9% da variabilidade dos dados.

A contribuição das variáveis no CP1 variou de 0,19 a 0,002 e as variáveis mais distintas na CP1 na ordem decrescente de seus autovetores foram: oleico (0,19), linoleico (0,19), peso 100 grãos (0,17), linolênico (0,13), esteárico (0,12), araquidônico e peso total (0,06), proteína (0,04), óleo (0,03) e palmítico (0,002). No componente dois (CP2), as variáveis variaram de 0,32 a 0,00: com distinção para o ácido graxo palmítico (0,32) e óleo (0,21), bem como para os ácidos graxos, araquidônico (0,15), esteárico (0,12), oleico (0,07), linolênico (0,06), linoleico (0,05), proteína (0,01), peso total e peso de 100 grãos (0,002). Nos dois componentes os maiores valores são os que respondem melhor na pesquisa. Essa seleção é subjetiva, entretanto, pelos biplots, é possível confirmar esses resultados.

O primeiro Componente Principal é definido com os valores dos autovetores calculados multiplicados pelos valores originais (combinação das cultivares de soja e segmentos da planta). Os autovetores definem a direção da máxima variabilidade e dividem o gráfico biplot em setores. O comprimento do vetor é medido em relação à distância da origem no biplot, sendo a diferença do valor da variável pelas médias das variáveis. Portanto, a partir do comprimento do vetor, é possível visualizar interações específicas entre as variáveis resposta dos tratamentos. Quanto maior o comprimento do vetor, maior será a contribuição do tratamento e da variável na pesquisa realizada (Hongyu et al., 2015).

No gráfico biplot que avalia cultivares e as variáveis, cujos dois componentes apresentaram 92,4% da variação total, observou-se que as cultivares que foram mais responsivas contribuindo na obtenção dos maiores valores para ácidos graxos foram: A6411RR, BRS 5601RR e BMX Ativa RR, as quais estão localizadas nos vértices do biplot (Figura 3).

As linhas que se irradiam no gráfico dividem o biplot em setores e, para cada setor, há um genótipo no vértice, que apresentou melhor desempenho. No biplot as quatro cultivares estão divididas em três setores (Figura 3).

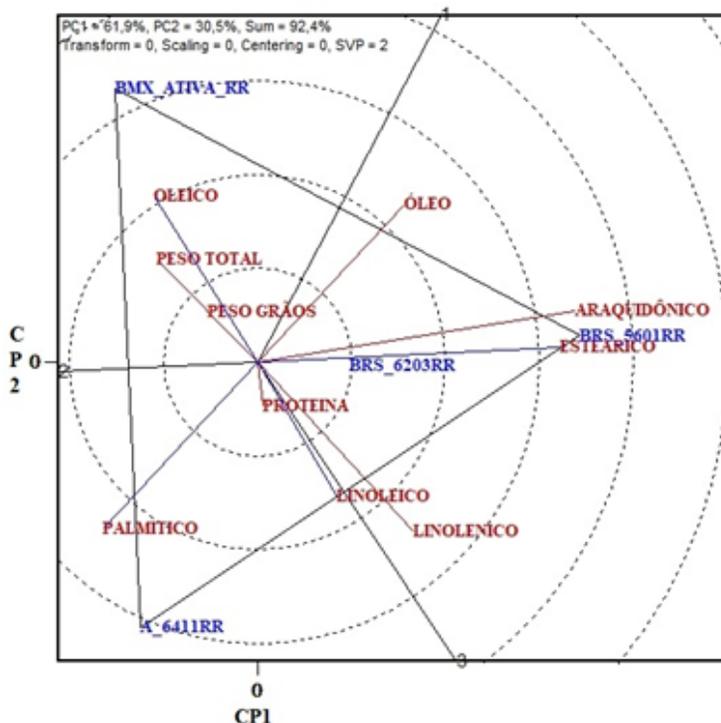


Figura 3. Componentes Principais entre as cultivares de soja A6411RR, BMX Ativa RR (tipo determinado), BRS 5601RR, BRS 6203RR (tipo indeterminado) e percentual de ácidos graxos (araquidônico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico e linolênico), óleo, proteína, peso total, peso de 100 grãos. Safra de soja 2015/2016. CP1= 61,9% e CP2= 30,5%.

O primeiro setor é definido pelas linhas de radiação 1 e 3. Quatro variáveis (óleo, araquidônico, esteárico, linolênico) se enquadram neste setor e estão associados às cultivares BRS 6203RR e BRS 5601RR, mas somente o último genótipo está localizado no vértice do biplot indicando que ele é nominalmente o genótipo com maior taxa de ácido graxo para esse grupo. Os ácidos graxos araquidônico e esteárico estão bem próximos da BRS 5601RR e encontram-se no quarto círculo concêntrico indicando que o comprimento deste vetor é longo, com o escore 0,12 (Figura 3). No segundo setor as linhas se irradiam entre 2 e 3 e a cultivar de tipo determinado que está no vértice é a A6411RR associado ao ácido graxo palmítico, mas nesse mesmo setor estão o ácido graxo linoleico e a proteína, com escores 0,04 e 0,13, respectivamente. A contribuição da proteína é baixa comparando com os demais ácidos graxos apresentados no setor anterior por estar próxima da origem

(Yan; Tinker, 2006). Cada linha reta traçada da origem do biplot para a colocação da cultivar é chamada de vetor da cultivar, de forma que, a partir desses vetores, são visualizadas as interações específicas entre uma cultivar e uma variável de resposta (Yan; Kang, 2003; Hongyu et al., 2015).

No vértice do setor 1-2 está a cultivar determinada BMX Ativa RR associada com o ácido oleico e autovalor 0,19. Nesse setor também estão localizadas as variáveis peso de 100 grãos e peso total de grãos e seus vetores apresentam-se nos dois primeiros círculos concêntricos (Figura 3). A cultivar BMX Ativa RR (determinada) interage com o ácido oleico (0,19), em oposição aos ácidos linolênico e linoleico, confirmando sua correlação negativa representada pelos coeficientes de correlação negativos entre eles ($r = -0,87$ e $r = -0,97$), respectivamente. Entretanto, apesar de Yan e Tinker (2006) afirmarem que tratamentos localizados no vértice apresentam boa contribuição, a interpretação vai depender da característica da variável, o que pode ter uma interpretação equivocada, se esse vértice estiver localizado do lado esquerdo do biplot, pois, ele pode ser bom ou muito pobre. Esse é o caso do ácido oleico, que está localizado no lado esquerdo, tal que, os ácidos linoleico e linolênico estão no lado direito do gráfico biplot, mostrando a correlação negativa. A cultivar BMX Ativa RR apresentou maior teor de ácido oleico e menores teores de ácidos linolênico e linoleico (Figura 3, Tabela 3). As cultivares estudadas não apresentaram um efeito distinto entre cultivares de tipo de crescimento determinado e indeterminado. O comprimento do vetor do genótipo, o qual é a distância entre um genótipo e a origem do biplot, mede a diferença do genótipo ao genótipo médio. Desta forma, genótipos ou variáveis que apresentam os vetores mais longos são os melhores. Portanto, embora, a cultivar ou o genótipo esteja localizado no vértice do polígono, nem sempre indica a melhor resposta, a não ser que exista uma informação técnica que justifique essa posição do lado esquerdo do biplot e que seja importante para a interpretação dos resultados (Yan; Tinker, 2006).

Se considerarmos a Análise de Componentes Principais (ACP) entre os segmentos da planta de soja (terços inferior, médio, superior) e as variáveis (ácidos graxos, óleo, proteína, peso 100 grãos e peso total de grãos) os dois componentes apresentaram 100% da variação total (CP1=83,4% e CP2=16,6%), como apresentado na Figura 4. No biplot poligonal interagindo os terços das plantas de soja com os ácidos graxos, teores de óleo e proteína, peso total e peso de grãos são apresentados em somente três setores e

a posição da planta que se destacou foi o terço superior, visto que, o maior número de variáveis resposta estão nesse local, ou seja, os maiores valores desses ácidos graxos, proteína e peso de 100 grãos estão localizados na parte superior da planta (Figura 4). No setor 1-2, tendo no vértice o tratamento terço inferior da planta de soja, no quarto círculo concêntrico está localizado o ácido linoleico, tendo o linolênico e óleo baixa contribuição, pois, quanto mais próximo da origem pior é a informação. No setor 2-3 no vértice, com grande contribuição está o tratamento terço médio da planta associado ao peso total de grãos (terceiro círculo concêntrico), mostrando boa contribuição. No último setor (3-1), as variáveis que estão próximas do terço superior da planta estão os ácidos graxos araquidônico, esteárico, oleico, peso de 100 grãos e o teor de proteína. Todas essas variáveis encontram-se entre o terceiro e quarto círculos concêntrico que estão associados aos maiores valores dos escores dos autovetores, o que significa ótima contribuição desses parâmetros no terço superior das plantas de soja (Tabela 3).

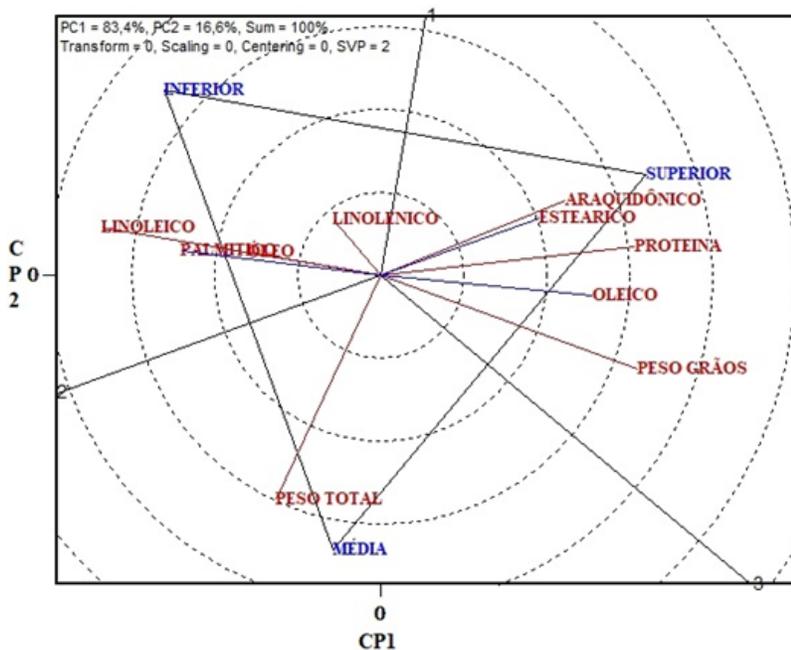


Figura 4. Componentes Principais de segmentos da planta de soja (terços inferior, médio e superior) em percentual dos teores de ácidos graxos (araquidônico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico e linolênico), óleo, proteína, peso de 100 grãos e peso total do grão. Safra de soja 2015/2016. CP1=83,4% e CP2=16,6%.

Isso indica que os teores desses ácidos graxos são maiores no terço superior da planta de soja, bem como o teor de proteína e peso de grãos e podem ser confirmados pelos escores nos dois componentes principais (Tabela 3).

Tabela 3. Autovetores obtidos provenientes da avaliação de cultivares de soja X terços da planta utilizando a matriz de correlação de Pearson. Primeiro grupo com escores maiores estão assinalados em azul, e o segundo grupo com escores médios, em vermelho.

Variáveis	CP1	CP2
Palmítico	0,026	0,570
Esteárico	0,351	-0,348
Oleico	-0,434	-0,262
Linoleico	0,432	0,227
Linolênico	0,366	0,244
Araquidônico	0,245	-0,390
Óleo	0,183	-0,460
Proteína	-0,204	0,100
Peso Total	-0,253	0,002
Peso 100 grãos	-0,410	-0,015

Quando na Análise de Componentes Principais (ACP) foi considerada a interação das combinações, cultivares de soja (tipo de crescimento determinado e indeterminado), terços da planta (inferior, médio, superior) e as variáveis de resposta (ácidos graxos, proteína, óleo, peso de 100 grãos, peso total de grãos) os dois primeiros componentes totalizaram 74,7% da variação total, sendo que o CP1 foi responsável por 42,7% e o CP2 por 32% das variações dos dados. Analisando estas combinações de tratamentos foram observadas cultivares responsivas e com valores de escores importantes nos terços inferior e superior da planta no CP1 e no CP2 no terço superior da planta (Tabela 4).

Tabela 4. Contribuição das combinações das cultivares de soja (tipos de crescimento determinado e indeterminado) e segmentos da planta (terços inferior, médio, superior), provenientes da avaliação das variáveis ácidos graxos, óleo, proteína, peso de 100 grãos e peso total de grãos, utilizando a matriz de correlação de Pearson (escores maiores assinalados em azul).

Combinação	Cultivares	Terços da Planta	CP1	CP2
1	A6411RR	Superior	2,07	18,91
2	A6411RR	Médio	1,52	24,02
3	A6411RR	Inferior	3,18	21,41
4	BMX Ativa RR	Superior	45,50	8,10
5	BMX Ativa RR	Médio	19,86	2,58
6	BMX Ativa RR	Inferior	0,07	0,00
7	BRS 5601RR	Superior	11,24	15,03
8	BRS 5601RR	Médio	2,31	1,38
9	BRS 5601RR	Inferior	2,82	0,17
10	BRS 6203RR	Superior	2,48	7,31
11	BRS 6203RR	Médio	4,69	1,02
12	BRS 6203RR	Inferior	4,24	0,04

Além da contribuição das combinações dos tratamentos (Tabela 4), também é possível avaliar estas combinações pelo gráfico biplot poligonal (Figura 5). No setor 1-2, no terço superior da planta os escores associados a cultivar BRS 5601RR (indeterminada) foram 11,24 e 15,03, respectivamente, nos dois componentes (Tabela 4). Esse genótipo localizado no vértice do biplot está associado aos teores de óleo e dos ácidos graxos, araquidônico e esteárico os quais estão no lado direito do biplot poligonal. Os vetores destes tratamentos estão localizados no quarto círculo concêntrico, apresentando o maior comprimento no setor 1-2 (Figura 5). Esta combinação também apresenta um dos maiores escores no CP2 (terço superior = 15,03). Nos demais segmentos da planta essa combinação de tratamento foi pouco responsiva.

No primeiro componente (CP1), a cultivar BRS 6203RR (tipo indeterminado) foi responsiva com valores de escores importantes nos terços médio e inferior da planta, 4,69 e 4,24, respectivamente (Tabela 4). Entretanto, essa mesma cultivar apresentou melhor resposta para o CP2, no terço superior (7,31), associada em ambos CPs às variáveis (ácido araquidônico, esteárico).

co e óleo). Já a cultivar A6411RR (determinada) foi responsiva somente no CP2, com valores interessantes para os escores no terço superior da planta (18,91), no terço intermediário (24,02) e no terço inferior (21,42) (Tabela 4 e Figura 5).

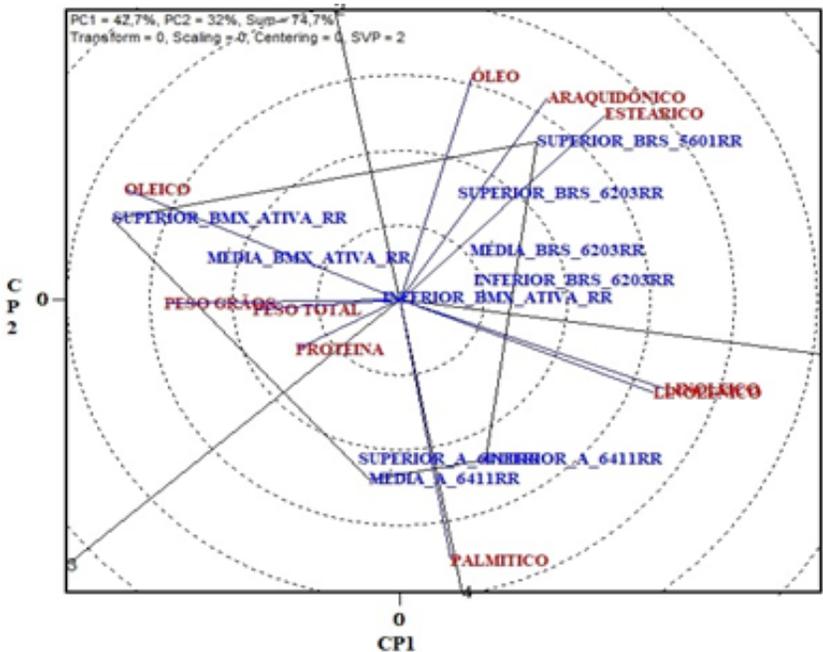


Figura 5. Principais componentes para as interações dos segmentos da planta (terços inferior, médio, superior) e cultivares de soja A6411RR, BMX Ativa RR (tipo de crescimento determinado), BRS 5601RR, BRS 6203RR (tipo de crescimento indeterminado) em percentual dos ácidos graxos (araquidônico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico e linolênico), óleo, proteína, peso de 100 grãos e peso total de grãos. Safra de soja 2015/2016 (CP1= 42,7% e CP2= 32%).

A cultivar BMX Ativa RR (tipo determinado) apresentou os maiores escores para o terço superior no CP1 (45,50) e no CP2 (8,10), com forte associação ao ácido oleico. Essa cultivar também se sobressaiu no terço médio da planta de soja (CP1 19,86) para peso de 100 grãos, peso total de grãos e proteína (Tabela 4 e Figura 5). A cultivar de tipo determinado A6411RR respondeu com os maiores valores de escores no CP2, para o terço superior (18,91), terço médio (24,02) e terço inferior (21,42). No setor 3-4 do gráfico, essa cultivar está associada ao ácido graxo palmítico localizado no quarto círculo concêntrico (Tabela 4, Figura 5).

Em média, as concentrações de ácidos graxos nos grãos de soja são 11% palmítico, 4% esteárico, 25% oleico, 52% linoleico e 8% linolênico (Fehr, 2007). Bellaloui et al. (2012) relataram maior conteúdo de proteína e ácido oleico nas porções não sombreadas do dossel da planta, o que pode ser atribuído às maiores taxas fotossintéticas, uma vez que os segmentos superiores da planta recebem mais luz e calor do que os segmentos inferiores da planta durante o período de enchimento dos grãos. Por outro lado, o teor de óleo e dos ácidos graxos linoleico e linolênico diminuiu. Essa situação pode estar associada à relação negativa entre essas características. Neste trabalho, apenas a cultivar BMX Ativa RR (tipo determinado) apresentou essa tendência (Figura 5). Os genótipos indeterminados (cultivares BRS) não diferiram quanto ao conteúdo de ácidos oleico, linoleico e linolênico, independentemente da posição no dossel da planta (Figura 4), talvez devido a diferentes respostas dos genótipos às amplitudes de temperaturas. Todas as cultivares apresentaram peso semelhante de 100 grãos (18 g/100 grãos, em média), independentemente da localização na planta (terços inferior, médio e superior). As diferenças observadas para peso total de grãos, entre as cultivares são relativas ao seu potencial genético para rendimento de grãos. Portanto, o rendimento da soja, seja de crescimento determinado ou indeterminado será afetado pelas condições genéticas e ambientais (Kato et al., 2015). Independentemente do tipo de crescimento, todas as cultivares apresentaram maior produção total de grãos no terço médio da planta, em comparação aos terços inferior e superior (Figuras 4 e 5).

As quatro cultivares apresentaram teor similar de óleo em todos os segmentos da planta. No entanto, os tipos determinados (A6411RR e BMX Ativa RR) apresentaram uma ligeira redução da concentração de óleo no terço superior, o que poderia ser uma resposta a maior temperatura nessa porção da planta. Os resultados de teor de proteína deste experimento do segundo ano foram divergentes dos resultados do experimento do ano anterior, com maior variação entre cultivares no terço médio. No terço superior da planta, o teor proteico foi maior para as cultivares determinadas A6411RR e BMX Ativa RR. Não foram observadas diferenças entre os segmentos nas plantas das cultivares indeterminadas (BRS 5601RR e BRS6203 RR) (Figura 4). Como mencionado anteriormente, resultados divergentes relacionados ao teor de óleo e proteína em diferentes posições da planta de soja, podem ter sido decorrentes do efeito de fatores ambientais (não medidos) sobre esses caracteres quantitativos.

As diferenças observadas no perfil químico entre soja de tipo de crescimento determinado e indeterminado são decorrentes da genética e de condições ambientais que afetam a formação e concentração dos compostos químicos nos grãos. Para aumentar o rendimento da soja, melhoristas têm se concentrado no desenvolvimento de cultivares de tipo de crescimento indeterminado e de maturação precoce. Entretanto, quando o objetivo é o desenvolvimento de cultivares de sojas especiais, para uso em diferentes tipos de alimentos de soja, as características químicas e o tamanho uniforme de grãos, também devem ser considerados.

Conclusão

Os teores de óleo, proteína, isoflavonas, ácidos graxos e a uniformidade no tamanho dos grãos de soja são influenciados pela posição que ocupam na planta e pelo tipo de crescimento da cultivar.

Os grãos do terço superior da planta das cultivares de tipo de crescimento indeterminado são menores e menos uniformes no tamanho do que os das cultivares determinadas.

Independentemente do tipo de crescimento da soja, os terços, inferior e médio apresentam maior teor de óleo, enquanto o terço superior apresenta maior teor de proteína.

Independentemente do tipo de crescimento, os grãos do terço superior da planta apresentam concentração reduzida de isoflavonas.

O uso de componentes principais e o gráfico biplot poligonal permitem indicar as combinações de tratamentos importantes, simultaneamente associadas às variáveis resposta.

Estudos adicionais são necessários para elucidar a relação dos ácidos graxos com a posição dos grãos na planta e com o tipo de crescimento da soja.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo suporte ao projeto Universal (Processo – 471593/2012-5) e concessão de bolsas PIBIC/CNPq. A Gilmar José Berlanda, pelos trabalhos de campo. A Norman Neumaier e Vera de Toledo Benassi, pela leitura crítica do artigo e correções importantes.

Referências

ABIDI, S. L.; LIST, G. R.; RENNICK, K. A. Effect of genetic modification on the distribution of minor constituents in canola oil. **Journal of American Chemist' Society**, v. 76, p. 463-467, 1999.

AKINWALE, R. O.; FAKOREDE, M. A. B.; BADU-APRAKU, B.; OLUWARANTI, A. Assessing the usefulness of GGE biplot as a statistical tool for plant breeders and agronomists. **Cereal Research Communications**, v. 42, p. 534-546, 2014. DOI: 10.1556/CRC.42.2014.3.16.

BELLALOU, N.; GILLEN, A. M. Soybean seed protein, oil, fatty acids, N, and S partitioning as affected by node position and cultivar differences. **Journal Agricultural Science**, v. 1, p. 110-118, 2010.

BELLALOU, N.; SMITH, J.; GILLEN, A.; FISHER, D.; MENGISTU, A. Effect of shade on seed protein, oil, fatty acids, and minerals in soybean lines varying in seed germinability in the early soybean production system. **American Journal of Plant Sciences**, v. 3, p. 84-95, 2012.

BERHOW, M. A. Modern analytical techniques for flavonoid determination. In: BUSLIG, B. S.; MANTHEY, J. A. (Ed.). **Flavonoids in the living cell**. New York: Klusher Academic, 2002. p. 61-76.

BERNARD, R. L.; CREMEENS, C. R.; COOPER, R. L.; COLLINS, F. I.; KROBER, O. A.; ATHOW, K. L.; LAVIOLETTE, F. A.; COBLE, C. J.; NELSON, R. L. **Evaluation of the USDA soybean germplasm collection: maturity groups 000-IV**. Washington: US Government Publishing Office, 1998. (USDA-ARS. Technical Bulletin, 1844).

BURR, I. W.; FOSTER, L. A. **A test for equality of variances**. West Lafayette: University of Purdue, 1972. (Mimeo series, 282).

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; BERHOW, M.; MANDARINO, J. M. G.; OLIVEIRA, M. C. N. de. Environmental and genetic variation of isoflavone content of soybean seeds grown in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1444-1451, 2009.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; FAVONI, S. P. de G.; KIKUCHI, A. Extraction time for soybean isoflavone determination. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, n. 4, p. 515-518, 2002.

ESCALANTE, E. E.; WILCOX, J. R. Variation in seed protein among nodes of determinate and indeterminate soybean near-isolines. **Crop Science**, v. 33, p. 1166-1168, 1993a.

- ESCALANTE, E. E.; WILCOX, J. R. Variation in seed protein among nodes of normal and high protein soybean genotypes. **Crop Science**, v. 33, p. 1164-1166, 1993b.
- FEHR, W. R. Breeding for modified fatty acid composition in soybean. **Crop Science**, v. 47, p. 72-87, 2007.
- FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**. 3. ed. Lavras: UFLA, 2018. 624 p.
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. da. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. da. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião pública**, v. 16, n. 1, p. 160-185, 2010.
- GÓES-FAVONI, S. P.; CARRÃO-PANIZZI, M. C.; BELEIA, A. Changes of isoflavone in soybean cotyledons soaked in different volumes of water. **Food Chemistry**, v. 119, n. 4, p. 1605-1612, 2010.
- GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. São Paulo: Artmed, 2011. 527 p.
- GULERIA, S.; SHARMA, S.; BALWINDER, S. G.; MUNSHI, S.K. Distribution and biochemical composition of large and small seeds of soybean (*Glycine max* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, p. 269-272, 2008.
- HONGYU, K. K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. de. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S - Engineering and Science**, v. 5, p. 83-90, 2015.
- KATO, S.; FUJII, K.; YUMOTO, S.; ISHIMOTO, M.; SHIRAIWA, T.; SAYAMA, T.; KIKUCHI, A.; NISHIO, T. Seed yield and its components of indeterminate and determinate lines in recombinant inbred lines of soybean. **Breeding Science**, v. 65, p. 154-160, 2015.
- KO, K. P. Isoflavones: chemistry, analysis, functions and effects on health and cancer. **Asian Pacific Journal Cancer Prevention**, v. 15, p. 7001-7010, 2014.
- NAKAMURA, Y.; KAIHARA, A.; YOSHII, K.; TSUMURA, Y.; ISHIMITSU, S.; TONOGAI, Y. Content and composition of isoflavonoids in mature or immature beans and beans sprouts consumed in Japan. **Journal of Health Science**, v. 47, p. 394-406, 2001.
- PARANHOS, R.; FIGUEIREDO FILHO, D. B.; ROCHA, E. C. da; SILVA JÚNIOR, J. A. da; NEVES, J. A. B.; SILVA, M. B. da. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r): o retorno. **Leviathan**, v. 8, p. 66-95, 2014.
- PARENTE, R. C. P. **Aspectos da análise de resíduos**. 1984. 118 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ/USP, Piracicaba.
- PASINATO, A.; CUNHA, G. R. da. Análise agrometeorológica da safra de soja 2013/2014, em Passo Fundo, RS. In: COSTAMILAN, L. M.; CARRÃO-PANIZZI, M. C. (Ed.). **Soja: resultados de pesquisa 2013/2014**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2014. p. 11-20. (Embrapa Trigo. Documentos online, 151).
- RAYFORD, W. E.; THOMAS, D. L.; ELAM, L. M.; WALKER S. M. **Analytical chemical support soybean uniform test analysis**. Peoria: USDA-ARS, 1994. p. 17-26.
- SALES, P. V. G.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S.; SILVA, M. C. C.; SALES, V. H. G. Variabilidade da posição das vagens quanto ao teor de óleo em grãos de soja. **Revista Ciências Agrárias**, v. 56, p. 274-277, 2013.

SALES, V. H. G.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRRI, F. S.; OLIVEIRA, W. P. J.; SALES, P. V. G. Teor de óleo e proteína em grãos de soja em diferentes posições da planta. **Revista Agro@ambiente On-line**. v. 10, p. 22-29, 2016.

SAS. **SAS/STAT**: System for Microsoft Windows, version 9.4. Cary: SAS Institute Inc., 2016.

SATO, T.; EGUCHI, K.; HATANNO, T.; NISHIBA, Y. Use of near-infra red reflectance spectroscopy for the estimation of isoflavone contents of soybean seeds. **Plant Production Science**, v. 11, p. 481-486, 2008.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality. **Biometrika**, v. 52, p. 591-611, 1965.

SHARMA, S.; KAUR, A.; BANSAL, A.; GILL, B. S. Positional effects on soybean seed composition during storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, p. 353-359, 2013.

STATSOFT. **STATISTICA for windows**: computer program manual, version 7. Tulsa: STATSOFT, Inc., 2007.

TUKEY, J. W. One degree of freedom for non-additivity. **Biometrics**, v. 5, p. 232-242, 1949.

YAN, W. **Crop variety trials**: data management and analysis. West Sussex: John Wiley & Sons, Inc., 2014. 351 p. DOI: 10.1002/9781118688571.

YAN, W.; KANG, M. S. **GGE biplot analysis**: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. Boca Raton: CRC Press, 2003. 271 p.

YAN, W.; RAJCAN, I. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. **Crop Science**, v. 42, p. 11-20, 2002. DOI: 10.2135/cropsci2002.0011.

YAN, W.; TINKER, N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, p. 623-645, 2006.

YERRAMSETTY, V.; GALLAHER, D. D.; ISMAIL, B. Malonylglucoside conjugates of isoflavones are much less bioavailable compared with unconjugated b-glucosidic forms in rats. **The Journal of Nutrition**, v. 144, p. 631-637, 2014.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M. da; ALBERTO, C. M.; BARTZ, A. C.; PAULA, G. M. de; TOMIOZZO, R.; COSTA, L. C. da; FENSTERSEIFER, C. A.; TAGLIAPIETRA, E. L.; CARDOSO, A. P.; WEBER, P. S.; BEXAIRA, K. P. Growth habit effect on development of modern soybean cultivars after beginning of bloom in Rio Grande do Sul. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 446-458, 2016.

ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A.; SILVEIRA JUNIOR, P. **SANEST: sistema de análise estatística**: relação dos módulos disponíveis. Pelotas: UFPel, 1984. 48 p.

Embrapa

Soja