



**THAÍS FRANCIELLE FERREIRA**

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE  
CULTIVARES DE SOJA TRÂNSGENICA (CP4-EPSPS,  
CRY1AC)**

**LAVRAS - MG**

**2020**

**THAÍS FRANCIELLE FERREIRA**

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE CULTIVARES DE SOJA  
TRÂNSGENICA (CP4-EPSPS, CRY1AC)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. João Almir Oliveira  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ferreira, Thaís Francielle.

Produção e Qualidade de Sementes de Cultivares de Soja  
Trâns genica (CP4-EPSPS, CRY1AC) / Thaís Francielle Ferreira. -  
2020.

101 p. : il.

Orientador(a): João Almir Oliveira.

Coorientador(a): Maria Laene Moreira de Carvalho, Édila  
Vilela Von Pinho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Glycine max. 2. Bacillus thuringiensis. 3. tolerância ao  
glifosato. I. Oliveira, João Almir. II. Carvalho, Maria Laene  
Moreira de. III. Von Pinho, Édila Vilela. IV. Título.

**THAÍS FRANCIELLE FERREIRA**

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE CULTIVARES DE  
SOJA TRÂNSGENICA (CP4-EPSPS, CRY1AC)  
SEEDS PRODUCTION AND QUALITY OF TRANSGENIC  
SOYBEAN CULTIVARS (CP4-EPSPS, CRY1AC)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 20 de fevereiro de 2020.

Dr. Renato Mendes Guimarães

UFLA

Dr. Everson Carvalho Reis

UFLA

Dra. Patrícia de Oliveira Alvim Veiga

IFSULDEMINAS

Dra. Fernanda Pereira Soares

MAPA

Prof. Dr. João Almir Oliveira  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2020**

*À Deus e a Nossa Senhora, meus refúgio e fortaleza;*

*À minha família, meu porto seguro.*

*DEDICO*

## AGRADECIMENTOS

À Deus por estar sempre comigo, guiando meus passos, iluminando meus caminhos, fazendo minha vida completa e repleta de graças. À Nossa Senhora, minha mãezinha, que me protege de todos os perigos e aflições.

À toda a minha família, em especial aos meus filhinhos Daniel e Thiago (ainda na barriga) por me ensinarem o significado da palavra amor, ao meu marido Bruno por ser meu porto seguro e meu apoio em todos os momentos, aos meus pais, Lenira e Iraí, pelos ensinamentos e conselhos, pela formação do meu caráter e perspectivas de vida, pelo amor e atenção dedicados em todos os momentos, por acreditarem e apostarem em mim; às minhas irmãs Leidiane e Valquíria, e aos meus irmãos Danilo e Denilson, pelos momentos vividos de muitas risadas, pela proteção, pelo apoio e compreensão de sempre; aos meus sobrinhos, Julinha, Dudu e Murilo (ainda na barriga), lindinhos, amores da vida da titia; aos meus sogros João e Edna e minha afilhada Amanda por serem minha segunda família.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura (DAG), de maneira especial ao Setor de Sementes, pela contribuição à minha formação e âmbitos profissionais.

Ao meu outro “pai” e estimado orientador, João Almir, pela orientação, ensinamentos, dedicação e incentivos que me proporcionaram muito crescimento. Aos professores e pesquisadores do Setor de Sementes pelo incentivo de sempre. À “Turma do João”, pelos trabalhos realizados juntos, pelos momentos de descontração, pela amizade e vínculo, pelas brincadeiras e companheirismo. Aos meus queridos amigos, pela presença em todos os momentos de dificuldade, descontração, festas, trabalho e estudos.

À banca examinadora, pela avaliação deste trabalho. Às instituições de fomento, CAPES, CNPq e FAPEMIG, pelo apoio financeiro.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES – Finance Code 001).

Enfim, à todos que fizeram parte da minha trajetória e de alguma forma contribuíram para a realização de mais uma etapa em minha vida.

Meus sinceros agradecimentos.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

Mediante a inserção de novos genes por transgenia, os fatores intrínsecos às sementes, tais como genótipo, fisiologia e composição química, podem ser modificados de maneira a serem acentuados e sua interação com os fatores extrínsecos ser alterada, influenciando sobremaneira na produção e na qualidade das sementes. Assim, objetivou-se verificar se a proteína cry1Ac afeta à qualidade de sementes de soja IPRO em comparação à cultivares de soja RR, avaliando-se desempenho agrônômico, composição química e fisiologia de sementes. Foram utilizadas sementes de quatorze cultivares de soja transgênicas (RR e IPRO). Realizou-se a implantação do campo de produção de sementes em região de clima classificado como Cwa, disposto em blocos casualizados com 3 repetições. No capítulo 2, foram apresentadas as avaliações do desempenho agrônômico e eficiência fotossintética: número de legumes, número de nós por planta, peso de 1000 sementes, produtividade, altura de plantas, altura de inserção do primeiro legume, índice de acamamento, leitura de clorofila a, b e total, razão entre clorofila a/b, determinação foliar dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, B, Zn, Fe e Mn. A capacidade fotossintética das cultivares IPRO pode ser afetada pela inserção do gene Cry1Ac refletindo nos componentes de produção: produtividade, número de vagens e número de nós. A utilização de nutrientes ligados ao processo fotossintético, N, Mg e Mn, pelo grupo de cultivares de soja IPRO é menos eficiente em comparação ao grupo de cultivares RR. No capítulo 3 foram realizadas as avaliações da composição química das sementes produzidas através de análise centesimal. Maiores teores de proteína nas sementes proporcionam maior germinação e vigor, ao contrário de maiores teores de óleo. Há um menor incidência de danos por percevejos em sementes com alta concentração proteica e maior ocorrência em sementes com altas concentrações de carboidratos. No capítulo 4 foi avaliado a qualidade de sementes pelos testes de germinação, emergência, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, tetrazólio, análises enzimáticas visuais e quantificadas. Em relação às cultivares RR, a inserção do gene Cry1Ac em cultivares IPRO apresenta indícios de afetar a qualidade fisiológica das sementes. Não há diferenças entre os padrões de expressão enzimática de cultivares RR e IPRO.

Palavras-Chave: *Glycine max*, *Bacillus thuringiensis*, tolerância ao glifosato

## ABSTRACT

Through the insertion of new genes by transgenics, the intrinsic factors, such as genotype, physiology and chemical composition, can be modified in order to be accentuated and their interaction with the extrinsic factors can be altered, greatly influencing the production and quality of the seeds. Thus, the aim was to verify if the cry1Ac protein affects the quality of IPRO soybean seeds in comparison to RR soybean cultivars, evaluating agronomic performance, chemical composition and seed physiology. Seeds of fourteen transgenic soybean (RR and IPRO) cultivars were used. The seed production field was implanted in a climate region classified as Cwa, arranged in randomized blocks with 3 repetitions. Chapter 2, the evaluations of agronomic performance and photosynthetic efficiency were presented: number of pods, number of nodes per plant, weight of 1000 seeds, productivity, plant height, insertion height of the first pods, lodging index, reading the chlorophyll a, b and total chlorophyll apparatus, ratio of chlorophyll a / b, foliar determination of nutrients N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, B, Zn, Fe and Mn. The photosynthetic capacity of IPRO cultivars can be affected by the insertion of the Cry1Ac gene, reflecting in the production components: productivity, number of pods and number of nodes. The use of nutrients linked to the photosynthetic process, N, Mg and Mn, by the group of soybean cultivars IPRO is less efficient compared to the group of RR cultivars. Chapter 3, the chemical composition of the seeds produced through centesimal analysis was carried out. Higher levels of protein in the seeds provide greater germination and vigor, in contrast to higher levels of oil. There is a lower incidence of damage by bedbugs in seeds with a high protein concentration and a higher occurrence in seeds with high concentrations of carbohydrates. Chapter 4, seed quality was evaluated by germination, emergence, accelerated aging, electrical conductivity, tetrazolium tests, visual enzymatic analyzes and quantified. Regarding RR cultivars, the insertion of the Cry1Ac gene in IPRO cultivars shows signs of affecting the physiological quality of seeds. There are no differences between the patterns of enzymatic expression of RR and IPRO cultivars.

Keywords: *Glycine max*, *Bacillus turigiensis*, glyphosate tolerance.

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>A cultura da soja e a transgenia .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Desempenho agronômico da cultura da soja .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Composição química de sementes .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Qualidade de sementes .....</b>	<b>22</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>25</b>
	<b>CAPÍTULO 2 - INSERÇÃO DO GENE CRY1AC E MODIFICAÇÕES NO DESEMPENHO AGRONÔMICO E NA EFICIENCIA FOTOSSÍNTETICA DE CULTIVARES DE SOJA .....</b>	<b>30</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>
	<b>CAPÍTULO 3 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ATRATIVIDADE À INSETOS, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA DE DIFERENTES CULTIVARES TRÂNSGENICAS. ....</b>	<b>63</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>63</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>65</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>76</b>
	<b>CAPÍTULO 4 - RELAÇÃO EVENTOS TRÂNSGÊNICOS (RR E IPRO) E A QUALIDADE FISIOLÓGICA E EXPRESSÃO ENZIMÁTICA DE SEMENTES DE SOJA.....</b>	<b>80</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>82</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>84</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>88</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>98</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>98</b>

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL**

### **1 INTRODUÇÃO**

O principal desafio da agricultura mundial, consiste no uso eficiente de métodos sustentáveis para a adaptação da produção agrícola frente as mudanças climáticas, de modo a suprir a crescente demanda por alimentos (SENTELHAS et al. 2015). Pelos estudos verifica-se que será necessário um crescimento de cerca de 70% na produção mundial de alimentos, até o ano de 2050, visando alimentar uma população estimada em 9,55 bilhões de pessoas (FAO, 2014).

No Brasil, dentre as principais atividades está o agronegócio que tem sido capaz de responder ao aumento da demanda mundial por alimentos com sucessivos recordes de produção e produtividade, capazes de atender à demanda interna e gerar crescentes excedentes exportáveis. Dentre as culturas, a soja é a que mais se destaca nos quesitos citados.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (2019) haverá um incremento de 2,6% na área total plantada com soja na safra 2019/2020, totalizando 36,8 milhões de hectares, e 5,3% na produção em comparação com a safra 2018/2019, alcançando 121 milhões de toneladas. Este cenário de crescimento em produção e área, que ocorre desde 1961, é possível, não só por características intrínsecas de fertilidade do solo e clima, mas também pela possibilidade de mecanização, preços competitivos, adoção de políticas públicas levando em consideração os riscos de zoneamento agroclimático, investimentos em pesquisa, melhoramento genético, desenvolvimento de novas tecnologias e utilização de sementes de qualidade (SENTELHAS et al., 2015).

Atualmente a taxa de utilização de sementes de soja é de 71%, segundo dados da safra 2017/2018. A produção de sementes de soja na safra 2017/2018 foi de aproximadamente 3,1 milhões de toneladas, 0,82 mil toneladas em Minas Gerais, o que representa um mercado com alto potencial de exploração (SIGEF/MAPA, 2019).

A utilização de sementes de qualidade aliada a aplicação da biotecnologia na agricultura, por meio de cultivares geneticamente modificadas, tem atendido as demandas dos agricultores que visam altas produtividades, adaptações a diversos ambientes, resistências e tolerâncias à pragas e doenças, além do melhoramento do valor nutricional dos alimentos. Para isso, operam estratégias robustas de pesquisa e desenvolvimento que utilizam, em adição ao melhoramento genético

convencional, ferramentas biotecnológicas avançadas como a seleção genômica ampla e a engenharia genética de precisão, também conhecida como edição genômica, para gerar novas cultivares. Por meio dessas estratégias, milhares de genótipos são avaliados anualmente e aqueles selecionados são responsáveis pelos ganhos em produtividade (NEPOMUCENO, 2018). Das 2411 cultivares de soja registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 1819 cultivares, ou seja, 75% são referentes a cultivares geneticamente modificadas (RNC – Registro Nacional de Cultivares, 2019). Cerca de 97% da soja plantada no país é transgênica (ISAAA, 2020).

Dentre as cultivares de soja transgênicas mais utilizadas atualmente estão as cultivares de soja com tecnologia RR e IPRO. As cultivares RR possuem o gene cp4-epsps, oriundo de *Agrobacterium* sp, que confere tolerância ao herbicida Roundup®. As cultivares de soja IPRO, denominadas MON 87701 x MON 89788, são resultantes do cruzamento, através do melhoramento genético clássico, dos parentais de soja geneticamente modificadas resistente a insetos, MON 87701 e tolerante a glifosato MON 89788. O evento MON 87701 possui o gene Cry1Ac, oriundo de *Bacillus thuringiensis* e o evento MON 89788 possui o gene cp4 epsps, oriundo de *Agrobacterium* sp.

No entanto, mesmo com a inserção de genes que codificam para características específicas tais como a tolerância a herbicidas e a resistência a insetos, foi observado em plantas e em outros organismos que pode haver grande variação nos níveis de expressão de um gene introduzido entre eventos. Também pode haver diferenças nos padrões espaciais ou temporais de expressão, por exemplo, diferenças na expressão de um transgene nos diferentes tecidos vegetais, que podem não corresponder aos padrões esperados presentes na construção do gene introduzido, ou seja, o gene poderá se expressar com uma característica distinta da qual foi esperada. Por esta razão é comum produzir centenas de milhares de eventos diferentes e rastreá-los para um único evento que tenha os níveis e padrões de expressão de transgenes desejáveis para fins comerciais.

Por exemplo, somente um número reduzido de eventos foram testados para a expressão em plantas, dos diversos eventos, com propriedades inseticidas, extraídos de *Bacillus thuringiensis*. Dentre eles, estão as proteínas Cry1's, Cry3, VIP3A, Cry34, Cry35 e Cry2Ab, sendo que todas as proteínas Cry, para atingir altos níveis de expressão na planta e possuir o padrão de transgene desejável, ou seja, ação inseticida sobre determinado grupo de insetos, teve que ser direcionada para o cloroplasto de modo a evitar efeitos fitotóxicos indesejáveis (GAO et al., 2013).

Portanto, se caso o gene Cry1Ac, presente na soja IPRO, inserido na região do cloroplasto apresentar um mal funcionamento ou incompatibilidade, o efeito negativo irá se manifestar na eficiência fotossintética da planta (GAO et al., 2013). De forma secundária, esta manifestação irá se refletir na composição química e na qualidade das sementes produzidas pelas plantas.

Outro fator que se relaciona a inserção de novos genes em um organismo e gera modificações no perfil metabolômico da planta são os efeitos pleiotrópicos, os quais são decorrentes da inserção ou da manipulação genética conduzida. Este efeito, que pode ser previsível ou não, acontece quando um único gene controla diversas características do fenótipo que muitas vezes não estão relacionadas.

Torna-se, portanto, um desafio identificar genótipos que possuem um potencial genético elevado para características de qualidade fisiológica, visto a complexidade do controle genético para essa característica. Para tanto é imprescindível a realização de pesquisas voltadas ao estudos dos genótipos de cultivares de soja transgênicas, para verificar se a proteína cry1Ac afeta à qualidade de sementes de soja IPRO em comparação à cultivares de soja RR, avaliando-se desempenho agrônomo, composição química e fisiologia de sementes.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 A cultura da soja e a transgenia**

A soja é referenciada como uma commodity de relevância social, econômica e comercial diante do contexto desta cultura nos diferentes setores do agronegócio. Além de ser a principal fonte de proteína vegetal destinada a alimentação animal e humana, a soja destaca-se também na produção de óleo e de ampla gama de produtos industrializados (GAZOLLA-NETO et al., 2015; USDA, 2019).

Para suprir tal mercado, é necessário a produção de um elevado volume de grãos. Em 1968, a produção de grãos de soja era de 600 mil toneladas/safra. Hoje, a previsão para a safra 2019/2020, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (2019) será de aproximadamente 121 milhões de toneladas.

Estes ganhos em produtividade são devidos aos investimentos em novas alternativas e tecnologias para melhor aproveitamento da área agrícola, redução do uso de insumos e consequentemente do custo de produção (GAZOLLA-NETO E GADOTTI, 2014). As tecnologias são veiculadas por meio das sementes que carregam os avanços do melhoramento genético e da biotecnologia, agregando valor ao produto final através de características desejáveis como a adaptação a diferentes ambientes e tipos de estresse abióticos, resistência a pragas e doenças, altas produtividades, além de atender as demandas dos produtores que visam menor custo e maior lucro (FERREIRA et al., 2016; ROSSI, 2012).

O avanço tecnológico proporcionado por eventos transgênicos tem alavancado grandes vantagens durante o cultivo da soja, principalmente ganhos em produtividade. Cerca de 97% da soja plantada no país é transgênica (ISAAA, 2020). Das 2411 cultivares de soja registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 1819 cultivares, ou seja, 75% são referentes a cultivares geneticamente modificadas, com 11 eventos distintos registrados, tais como GTS-40-3-2: Soja Geneticamente modificada tolerante ao herbicida glifosato (Soja Roudup Ready), com 747 cultivares registradas; BPS-CV127-9: Soja geneticamente modificada tolerante aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas (Soja CV127), com 11 cultivares registradas; MON87701 x MON89788: Soja geneticamente modificada resistente a insetos e tolerante ao herbicida glifosato

(Soja Intacta RR2PRO), com 897 cultivares registradas; A5547-127: Soja geneticamente modificada tolerante ao herbicida glufosinato de amônio (Soja LL), com 17 cultivares registradas; MON 87751: Soja geneticamente modificada resistente a insetos da ordem lepidóptera (Soja MON 87751), que embora tenha o evento registrado, ainda não possui cultivar disponível; MON 87751, MON 87708, MON87701, MON 89788: Soja geneticamente modificada resistente a insetos e tolerante aos herbicidas dicamba e glifosato (Soja MON 87751 x MON 87708 x MON87701 x MON 89788 / Soja Combinada 1) com 81 cultivares registradas; MON 87708, MON 89788: Soja geneticamente modificada tolerante aos herbicidas dicamba e glifosato (Soja MON 87708 x MON 89788), com 6 cultivares registradas; FG72 e A5547-127: Soja geneticamente modificada tolerante aos herbicidas glifosato, glufosinato de amônio e isoxaflutole (Soja FG72 x A5547-127), que embora tenha o evento registrado, ainda não possui cultivar disponível; DAS-44406-6: Soja geneticamente modificada tolerante aos herbicidas 2,4-D, glifosato e glufosinato de amônio (Soja DAS-44406-6), com 15 cultivares registradas; DAS-81419-2: Soja geneticamente modificada resistente a insetos e tolerante ao glufosinato de amônio (Soja DAS-81419-2), com 3 cultivares registradas; DAS-44406-6 x DAS-81419-2: Soja geneticamente modificada resistente a insetos e tolerante aos herbicidas 2,4-D, glifosato e glufosinato de amônio (Soja Conkesta Enlist E3), com 42 cultivares registradas (RNC – Registro Nacional de Cultivares, 2019).

Atualmente, a maior parte da área cultivada de soja está focada no cultivo da soja Roundup Ready (RR) tolerante ao glifosato, cujo evento determinante é MON 89788 (THE AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION,2019). Trata-se de uma segunda geração de soja tolerante ao herbicida glifosato recebeu a denominação MON 89788, em adição ao evento aprovado pela CTNBio GTS 40-3-2. Este novo evento traz uma variante para a expressão do gene cp4 epsps através do uso do promotor do vírus mosaico da escrofulária (figwort), ou simplesmente promotor FMV, o que o difere do evento GTS 40-3-2. De forma distinta da modificação anterior, na qual se empregou biobalística, a transformação foi realizada por *Agrobacterium tumefaciens* em tecido de soja convencional A3244 (PADGETTE et al., 1996). O organismo doador do gene cp4 epsps, *Agrobacterium* sp., cepa CP4, é uma bactéria comum de solo e que teve este gene mutado naturalmente. Esta mutação fez com que este gene codificasse para a produção da enzima CP4 EPSPS tolerante ao glifosato. Esta enzima é estrutural e funcionalmente semelhante às enzimas EPSPS endógenas de plantas e microrganismos. A rápida adoção global da soja Roundup Ready

está ligada à eficácia e eficiência de custo significativos no controle de plantas daninhas, que podem causar prejuízos no índice de produtividade, qualidade do produto e rendimento da colheita bem como aumento no consumo de herbicidas (MATAVELI et al., 2010).

Outra demanda do mercado a fim de reduzir os custos e facilitar o manejo das áreas implantadas com soja foi a resistência à insetos prejudiciais à cultura. Por meio da biotecnologia agrícola moderna, desenvolveu-se variedades de soja que contêm o gene derivado de *Bacillus thuringiensis*, cry1Ac, evento denominado MON 87701 (FERRE & VAN RIE, 2002; MIKLOS et al., 2007). A expressão da proteína Cry1Ac confere resistência a insetos. A soja MON 87701 foi produzida pela metodologia de transformação mediada por *Agrobacterium* usando o plasmídeo PV-GMIR9, que é um vetor binário. O T-DNA I contém o cassete de expressão do gene cry1Ac e o T-DNA II contém o cassete de expressão do gene cp4 epsps, usado apenas como marcador de seleção. Após a identificação das plantas modificadas com o gene Cry1Ac, o T-DNA II foi segregado por melhoramento clássico gerando plantas que continham o cassete de expressão do gene cry1Ac e receberam o nome de soja MON 87701 (CTNBIO, 2010). O objetivo dessa transformação foi de reduzir o uso de inseticidas para controlar lepidópteros praga em regiões tropicais e subtropicais, sobretudo contra o ataque de *Anticarsia gemmatalis*, lagarta da soja e de *Pseudoplusia includens*, a falsa medideira, como alvos primários, e *Crociosema aporema*, a broca das axilas, e *Rachiplusia nu*, também conhecida como falsa medideira, como alvos secundários, porém importantes em lavouras da América do Sul (FERRE & VAN RIE, 2002; MIKLOS et al., 2007).

O organismo doador do gene cry1Ac, *Bacillus thuringiensis*, tem sido empregado comercialmente há muitos anos em formulações derivadas de bactérias devido a atividade inseticida. Além disso, formulações comerciais de *B. thuringiensis* contendo essas proteínas têm sido utilizadas no Brasil e em outros países para o controle de algumas pragas agrícolas há mais de 40 anos. As plantas transgênicas que expressam as proteínas inseticidas da bactéria *B. thuringiensis* foram comercializadas pela primeira vez em 1996 e pelo menos 16 empresas se envolveram no desenvolvimento de cultivares com genes Bt (ZHAO, et al.,2003). Em 24 anos os genes que codificam as toxinas Bt tornaram-se importantes inseticidas de diversas culturas geneticamente modificadas. Essas culturas permitiram um ganho econômico a produtores de todo o mundo bem como a redução do uso de outros inseticidas (ZHAO, et al.,2003).

Os eventos MON 89788 e MON 87701 são eventos distintos, expressos em organelas celulares diferentes, que conferem características importantes para o melhoramento genético e produtos multitraít. Mais recentemente, o evento MON 87701 foi piramidado ao MON 89788 dando origem a soja MON 87701 x MON 89788, que confere resistência a insetos e tolerância a herbicida. As cultivares de soja IPRO, denominadas MON 87701 x MON 89788, são resultantes do cruzamento, através do melhoramento genético clássico, dos parentais de soja geneticamente modificadas MON 87701 e MON 89788. A soja MON 87701 x MON 89788 apresenta características das sojas parentais, ou seja, é resistente a insetos (expressão da proteína Cry1Ac) e apresenta tolerância ao glifosato (expressão da proteína CP4 EPSPS) e sua utilização tem sido cada vez mais crescente por aliar duas características de interesse comercial. Este fato se comprova pelo número de cultivares registradas que possuem este evento, 897 cultivares, que ultrapassa o evento pioneiro GTS 40-3-2, com 737 cultivares registradas (RNC, 2020).

No entanto, a piramidação de genes pode refletir de forma negativa à certas características da cultura, tais como a qualidade das sementes produzidas que podem apresentar um baixo potencial fisiológico (PESKE et al., 2012; CARVALHO & NOVEMBRE, 2011). Esta característica tem sido levantada por produtores de sementes de soja MON 87701 x MON89788 a qual recebeu através de transgenia o gene Cry1Ac, que confere a soja Roudup Ready, RR, a resistência à insetos. No entanto, o bom desempenho da cultura no campo é dependente não só do ambiente de cultivo como também do genótipo do material, e, devido a este fato, torna-se tão complexo o entendimento a respeito dos genes que são expressos mediante a um estímulo externo (NEPOMUCENO, 2018). Esta compreensão é ainda mais dificultada quando se trata de genes inseridos através de transgenia em regiões específicas do genoma, pois sabe-se que a expressão destes genes em plantas é influenciada pela sua posição cromossômica. Por esse motivo, muitas vezes, durante o processo de identificação e inserção do gene de interesse é necessário filtrar um grande número de eventos para identificar um evento caracterizado pela expressão ótima de um gene de interesse introduzido (GAO et al.,2013).

Durante os testes para liberação comercial da soja MON 87701 x MON 89788, valores médios das características fenotípicas e agronômicas em duas safras consecutivas com as sojas GM, a obtida por cruzamento e suas parentais mono modificadas, comparadas às sojas convencionais, controle e referências comerciais, não diferiram significativamente, exceto para a

altura de plantas de soja MON 89788. No entanto, esta diferença manteve-se dentro do intervalo de variação estabelecido para este parâmetro em referências comerciais plantadas sob as mesmas condições. A diferença foi atribuída à variabilidade genética entre cultivares de soja. E com isto concluíram que inexistem efeitos adversos nas características fenotípicas e agronômicas da soja com genes piramidados, MON 87701 x MON 89788, provenientes das modificações genéticas individuais após introdução de genes de resistência a insetos e de tolerância ao herbicida glifosato, bem como da presença dos dois fatores na mesma planta.

Os resultados da caracterização molecular do evento piramidado MON 87701 x MON 89788, confirmam a inserção de uma cópia funcional do cassete que contém o gene *cry1Ac* em um único loco genômico. A estabilidade deste loco foi avaliada em 5 gerações de cruzamento no genitor MON 87701, sendo que no evento piramidado não se observou qualquer alteração fenotípica ou rearranjo. No Brasil, ensaios mostraram que os níveis médios da proteína inseticida não variaram substancialmente entre o evento único e o piramidado considerando cada uma das partes da planta avaliadas – forragem, tecidos de folha e grãos - e quatro locais de coleta, em duas safras 07/2008 e 08/2009. Da mesma forma, a caracterização molecular do evento piramidado MON 87701 x MON 89788 confirmam a inserção de uma cópia do cassete funcional e intacto do gene *cp4 epsps* em um único loco genômico, sendo que no evento piramidado não se observou qualquer alteração fenotípica ou rearranjo. Também, os níveis médios da proteína exógena não variaram substancialmente entre o evento único e o piramidado.

No entanto, foi observado em plantas e em outros organismos que pode haver grande variação nos níveis de expressão de um gene introduzido entre eventos. Também pode haver diferenças nos padrões espaciais ou temporais de expressão, por exemplo, diferenças na expressão de um transgene nos diferentes tecidos vegetais, que podem não corresponder aos padrões esperados presentes na construção do gene introduzido, ou seja, o gene poderá se expressar com uma característica distinta da qual foi esperada. Por esta razão é comum produzir centenas de milhares de eventos diferentes e rastreá-los para um único evento que tenha os níveis e padrões de expressão de transgenes desejáveis para fins comerciais (GAO et al.,2013).

Somente um número reduzido de eventos foram testados para a expressão em plantas, dos diversos eventos, com propriedades inseticidas, extraídos de *Bacillus thuringiensis*. Dentre eles, estão as proteínas *Cry1's*, *Cry3*, *VIP3A*, *Cry34*, *Cry35* e *Cry2Ab*, sendo que estes, para atingir altos

níveis de expressão na planta e possuir o padrão de transgene desejável, ou seja, ação inseticida sobre determinado grupo de insetos, teve que ser direcionada para o cloroplasto de modo a evitar efeitos fitotóxicos indesejáveis.

Tendo em vista a complexidade de expressão de genes inseridos em plantas por meio de transgenia e os efeitos provenientes destas tecnologias é imprescindível o estudo detalhado de cultivares que possuem genes piramidados devido ao alto potencial comercial.

## **2.2 Desempenho agrônômico da cultura da soja**

O desenvolvimento da planta de soja e a qualidade de sementes são altamente influenciados por elementos climáticos provenientes da radiação solar, como fotoperíodo e temperatura. E devido a estes fatores, a classificação quanto à maturidade ou ciclo de maturação é baseada na adaptabilidade da cultivar de soja em utilizar efetivamente a estação de crescimento de uma determinada região (VAN ROEKEL et al., 2015).

No entanto, o bom desempenho da cultura no campo é dependente não só do ambiente de cultivo como também do genótipo do material, e, devido a este fator, torna-se tão complexo o entendimento a respeito dos genes que são expressos mediante a um estímulo externo. Esta compreensão é ainda mais dificultada quando se trata de genes inseridos através de transgenia em regiões específicas do genoma, pois sabe-se que a expressão destes genes em plantas é influenciada pela sua posição cromossômica. Por esse motivo, muitas vezes, durante o processo de identificação e inserção do gene de interesse é necessário filtrar um grande número de eventos para identificar um evento caracterizado pela expressão ótima de um gene de interesse introduzido (NEPOMUCENO, 2018).

Foi observado em plantas e em outros organismos que pode haver grande variação nos níveis de expressão de um gene introduzido entre eventos. Também pode haver diferenças nos padrões espaciais ou temporais de expressão, por exemplo, diferenças na expressão de um transgene nos diferentes tecidos vegetais, que podem não corresponder aos padrões esperados presentes na construção do gene introduzido, ou seja, o gene poderá se expressar com uma característica distinta da qual foi esperada. Por esta razão é comum produzir centenas de milhares

de eventos diferentes e rastreá-los para um único evento que tenha os níveis e padrões de expressão de transgenes desejáveis para fins comerciais.

Somente um número reduzido de eventos foram testados para a expressão em plantas, dos diversos eventos, com propriedades inseticidas, extraídos de *Bacillus thuringiensis*. Dentre eles, estão as proteínas Cry1's, Cry3, VIP3A, Cry34, Cry35 e Cry2Ab, sendo que esta última, para atingir altos níveis de expressão na planta e possuir o padrão de transgene desejável, ou seja, ação inseticida sobre determinado grupo de insetos, teve que ser direcionada para o cloroplasto de modo a evitar efeitos fitotóxicos indesejáveis (GAO et al., 2013).

Os cloroplastos são organelas responsáveis pelo armazenamento dos pigmentos vegetais, tais como as clorofilas. A captura da energia luminosa utilizada na fotossíntese é realizada por clorofilas que são essenciais na conversão da radiação luminosa em energia química na formação de ATP e NADPH. Devido a isto, as clorofilas estão relacionadas à eficiência fotossintética das plantas, podendo ser estimada pela concentração do pigmento fotossintético, bem como ao crescimento e à adaptabilidade a diferentes ambientes (SORDI, et al., 2017; RIGON, et al., 2012).

Portanto, se caso o gene Cry2Ab inserido na região do cloroplasto apresentar um mal funcionamento ou incompatibilidade, o efeito negativo irá se manifestar na eficiência fotossintética da planta (GAO et al., 2013). Na cultura da soja, vários processos de formação da lavoura, tais como a fotossíntese, propriamente dita, alongação da haste principal, número de ramificações, expansão foliar, pegamento de flores e vagens, formação de sementes e fixação biológica de nitrogênio, são afetados pelas porcentagem de radiação ativa e eficiência energética do processo fotossintético (CÂMARA, 2016).

A fotossíntese é o processo vital de transformação de energia luminosa em energia química necessária ao crescimento e desenvolvimento de plantas, diretamente relacionado à produtividade e à qualidade de sementes. Isto porquê a maximização da produtividade vem em decorrência do transporte de fotoassimilados para os órgãos reprodutivos e, a qualidade de sementes, da maior eficiência na utilização da radiação solar pelos drenos prioritários das plantas na fase reprodutiva (TAIZ et al., 2017).

### 2.3 Composição química de sementes

A qualidade de sementes é uma característica que se alcança por meio de uma produção bem realizada. Sabe-se que para produzir sementes de qualidade é necessário conhecer todas as etapas de desenvolvimento de sementes de modo a aprimorar as tecnologias de produção e identificar as causas de comportamentos peculiares no desempenho de sementes.

Para tanto, o estudo da composição química das sementes é de extrema relevância, pois além de direcionar a produção de acordo com os objetivos almejados, seja para a produção de alimentos, matéria prima industrial, fármacos, entre outros, nos permite aliá-la a qualidade de sementes.

A concentração de lipídeos e proteínas em soja é um importante determinante no valor da soja nos mercados doméstico e global (ROTUNDO et al., 2009). Para atender as demandas dos padrões industriais, tem-se desenvolvido cultivares com elevado teor de proteína, no entanto, estudos demonstram que um aumento na concentração proteica da soja está associada a um menor rendimento e a uma correlação negativa na produção de sementes de qualidade (BERMAN ET AL., 2009). Portanto a descoberta de bases fisiológicas para a variação genotípica na composição de sementes é fundamental para superar esta restrição prática na melhoria do valor de mercado da soja.

Quando se trata de cultivares melhoradas geneticamente através de engenharia genética, cultivares transgênicas, a base genotípica se torna um grande ponto de gargalo na composição das sementes. Segundo os documentos apresentados para liberação das cultivares de soja transgênicas mais plantadas no mundo, MON 89788 e MON 87701 x MON 89788, não há diferenças composicionais entre os materiais. Os resultados das análises composicionais em grãos cultivados no país, indicaram que as sojas parentais MON 87701 e MON 89788, assim como a soja MON 87701 x MON 89788 são equivalentes em termos de composição de nutrientes e antinutrientes à soja convencional e às referências comerciais, com intervalos de dados de composição compatíveis com a literatura e bancos de dados internacionais. As análises de bioinformática demonstraram que as proteínas CRY1AC e CP4 EPSPS não compartilham similaridades estruturais e de seqüência com toxinas conhecidas ou proteínas biologicamente ativas que causam efeitos adversos à saúde

humana ou animal. As proteínas CRY1AC e CP4 EPSPS representam, respectivamente 0.0012% e 0.04% da composição total dos grãos (CTNBIO, 2010). Trabalhos realizados posteriormente comparando as sojas convencionais, MON 89788 e MON 87701, concluíram que não houve diferenças na composição química das sementes das cultivares, e, que qualquer eventual diferença é devida à interação genótipo x ambiente (BERMAN et al., 2010). Porém em termos de elementos químicos, sementes de soja trãngenica possuem uma maior fração dos elementos Cu, Fe, Mn, S e Zn (MATAVELI et al., 2010).

Sabe-se que a qualidade fisiológica de sementes é determinada pela composição química das sementes, pois a disponibilidade de nutrientes durante o processo de formação e a disponibilidade de compostos de pronta utilização para o embrião do indivíduo já formado podem afetar a germinação e os processos posteriores a este evento (DELARMELINO- FERRARES et al., 2014). E, embora a composição química de sementes seja controlada geneticamente, fatores bióticos e abióticos podem influenciar positiva ou negativamente nos teores de óleo e proteínas das sementes, tais como maturidade, estação de crescimento, localização geográfica e práticas agrônômicas, refletindo na qualidade fisiológica de sementes bem como no rendimento final da cultura (BELLALLOUI et al., 2015).

A maior parte dos estudos atribuem os entraves discutidos, principalmente os relacionados a concentração proteica das sementes, ao suprimento nutricional e assimilação fotossintética da planta durante o processo de formação e enchimento das sementes (EGLI & BRUNING, 2007; NAEVE et al., 2008; ROTUNDO et al., 2009). Enquanto outros discutem que as condições climáticas, determinadas pela época de semeadura, como temperatura e disponibilidade de água, e a posição da vagem na planta sujeita a um maior ou menor sombreamento, agem na modificação da concentração de óleo e proteína nas sementes (ALBRECHT et al., 2008; BARROS & SEDYAMA et al. 2009; BELLALLOUI & GILLEN, 2010; BRUNO et al., 2015; SALES et al., 2016; FINOTO et al., 2017).

Entretanto, faltam estudos que relacionem o baixo rendimento e a baixa qualidade fisiológica de sementes de soja a fatores externos que vão além das fases de formação e enchimento de sementes, tais como o ataque de insetos pragas no campo em decorrência da composição química de sementes.

## 2.4 Qualidade de sementes

A qualidade de sementes expressa o potencial de desempenho das sementes, após a semeadura, que só será identificada se for considerada a interação dos atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (MARCOS FILHO, 2005).

Sementes de alta qualidade garantem a sustentabilidade dos sistemas de produção de sementes e grãos. No entanto, esta qualidade elevada é dependente de uma pré-disposição genética para esta característica (MORENO et al., 2019). Sabe-se que o processo deteriorativo é atribuído tanto ao genótipo quanto à efeitos ambientais durante as fases de desenvolvimento, colheita, processamento, armazenamento e tratamento, assim como a qualidade fisiológica de sementes (GRIS et al., 2010).

Quando as sementes atingem sua máxima qualidade fisiológica, ou seja, atingem o ponto de maturidade fisiológico e se desligam da planta mãe, tem-se o maior acúmulo de matéria seca, vigor e germinação. No entanto, muitas situações desfavoráveis contribuem para a redução do desempenho máximo das sementes durante as etapas de produção de sementes (MORENO et al., 2019). E ainda, vale ressaltar, que a intensidade dos danos é variável com fatores genéticos intrínsecos de cada cultivar. Carvalho et al. (2014) e Gris et al. (2010), ao estudarem a relação do teor de lignina com a qualidade fisiológica de sementes, concluíram que a qualidade fisiológica das sementes depende de cada genótipo.

Portanto, a qualidade fisiológica de sementes pode ser associada ao fator genético pois há grande variação entre as cultivares, atentando que quanto maior a qualidade fisiológica de sementes maior o potencial de um estande uniforme e desejável (CAMARGOS et al., 2016).

Nota-se, em diversos estudos, que as cultivares de soja IPRO possuem características inadequadas sob o ponto de vista de desempenho agrônômico, tais como altura, número de nós e número de vagens, embora sejam mais produtivas. Rossi et al.(2017) estudando o desempenho de cultivares de soja RR e IPRO observou que a cultivar IPRO possui menor altura de plantas e menor número de racemos, porém com maior número de grãos, maior peso de grãos/planta e maior produtividade. Moreno et al.(2019) pesquisando diversas cultivares de soja observaram uma menor qualidade fisiológica de sementes de soja IPRO.

Estas situações implicam em um impasse sob o ponto de vista comercial pois as cultivares altamente produtivas permanecem no mercado mesmo apresentando baixa qualidade de sementes. A baixa qualidade das sementes aliada a fatores bióticos e abióticos que interagem entre si torna-se uma limitação para a exploração de áreas destinadas à produção de sementes, uma vez que nestas sementes a velocidade e a intensidade de deterioração são maiores mesmo ocorrendo a atividade de mecanismos de reparo a fim de retardar o declínio do desempenho das sementes (GAZOLLA et al., 2015; ÁVILA E ALBRENCHT, 2010).

Este processo de deterioração de sementes está diretamente relacionado a atividade enzimática. Muitos dos processos deletérios impostos pelas plantas submetidas a condições adversas, são mediados por espécies reativas de oxigênio (ERO's) geradas em diferentes compartimentos celulares, como consequência tanto do mau funcionamento de vias metabólicas como dos processos fisiológicos normais. O efeito sinalizador ou destrutivo das ERO's depende de suas concentrações, locais de produção e interação com compostos relacionados a outros tipos de estresse na planta, assim como do estágio de desenvolvimento da mesma (GECHEV et al., 2006).

Os compostos antioxidantes são substâncias que atuam em altas concentrações em substratos oxidáveis, inibindo ou atrasando significativamente a peroxidação lipídica e também influenciam na qualidade fisiológica das sementes. As sementes em geral são ricas em ácidos graxos essenciais, fibras e compostos fenólicos que exercem atividade antioxidante (HALLIWELL, 1995).

A destruição do maior número de radicais livres e atividades das ERO's ocorre por meio da oxidação e dos antioxidantes endógenos (LORENZI; MATOS, 2002). Uma vez formadas, as espécies reativas de oxigênio, atuam nos tecidos vegetais causando danos, tanto fisiológicos como bioquímicos. As espécies reativas de oxigênio, como superóxido ( $O_2^-$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e radical hidroxila ( $OH^\cdot$ ), são produzidas constantemente como subprodutos de várias vias metabólicas localizadas em diferentes compartimentos celulares (APEL; HIRT, 2004). Em células de plantas, as ERO's, principalmente a  $H_2O_2$  são geradas no citosol, cloroplastos, mitocôndrias, peroxissomas e espaço apoplástico. As espécies reativas de oxigênio ocorrem normalmente no metabolismo celular, porém, quando acumuladas tornam-se tóxicas (QUAN et al., 2008).

Enzimas removedoras de radicais livres também desempenham papel importante na qualidade de sementes. A enzima superóxido dismutase (SOD) é a primeira enzima do grupo que atua na linha de defesa contra formas reativas de oxigênio, uma vez que esta enzima anula a ação dos

superóxidos  $O_2^-$ , catalisando reações de transferência de dois elétrons para a produção de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (MCDONALD, 1999).

A remoção de radicais livres também é realizada pela catalase (CAT), uma enzima intracelular, encontrada nos glioxisomas, com capacidade de transformar formas reativas de oxigênio em formas inofensivas, bem como a decomposição do peróxido de hidrogênio (LEHNINGER, 2006).

Outras enzimas envolvidas no processo de respiração das sementes também podem estar relacionadas à qualidade fisiológica de sementes. A enzima Esterase (EST) está envolvida com o rompimento lipídico durante o processo de germinação. Este processo é relevante no desenvolvimento do eixo embrionário, especialmente em sementes ricas em lipídeos como no caso da soja (CARVALHO et al., 2014b).

A álcool desidrogenase (ADH) é uma enzima que está relacionada com a respiração anaeróbica, promovendo redução do acetaldeído e etanol. O acetaldeído acelera a deterioração das sementes, portanto, com o aumento da atividade da ADH as sementes ficam mais protegidas contra a ação deletéria deste composto (ZHANG et al., 2008). Convertido em  $CO_2$  e em um fragmento de dois carbonos (CAMPBELL, 2000).

Estudo da expressão enzimática relacionada à qualidade de sementes podem auxiliar na seleção de genótipos com sementes de alta qualidade fisiológica durante o desenvolvimento de novas cultivares. Desde a domesticação das plantas, a seleção de características de interesse tem sido realizada principalmente por meio do fenótipo. Com o desenvolvimento de técnicas biotecnológicas vislumbrou-se a possibilidade de seleção diretamente do genótipo, por meio de técnicas moleculares. Algum sucesso foi obtido, no entanto, é importante aprimorar os conhecimentos sobre os fatores que interferem na qualidade fisiológica, buscando a integração de informações geradas em níveis proteico e funcional.

Neste contexto, faz-se necessária a utilização de técnicas moleculares para elucidar as causas das diferenças na qualidade fisiológica de sementes de soja RR e IPRO que as mesmas vêm apresentando.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRASEM, Associação Brasileira de Sementes e Mudanças. **Estatísticas**. Disponível em: [http://www.abrasem.com.br/wp-content/uploads/2013/09/Anuario\\_ABRASEM\\_2015\\_2.pdf](http://www.abrasem.com.br/wp-content/uploads/2013/09/Anuario_ABRASEM_2015_2.pdf). Acesso em: 15 out. 2016.
- ALBRECHT, Leandro Paiola; BRACCINI, Alessandro de Lucca e; ÁVILA, Marizangela Rizzatti; SUZUKI, Letícia Sayuri; SCAPIM, Carlos Alberto; BARBOSA, Mauro Cezar. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, [s.l.], v. 67, n. 4, p. 865-873, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052008000400008>.
- APEL, Klaus; HIRT, Heribert. REACTIVE OXYGEN SPECIES: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review Of Plant Biology**, [s.l.], v. 55, n. 1, p. 373-399, 2 jun. 2004. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>.
- ÁVILA, Marizangela Rizzatti; ALBRECHT, Leandro Paiola. Isoflavonas e a qualidade das sementes de soja. Informativo Abrates. **Informativo Abrates**. Londrina, p. 15-29. ago. 2010.
- BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T; TEIXEIRA, R C. Produção de sementes. In: SEDIYAMA, T.. **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenias, 2009. p. 157-174.
- BELLALLOUI, Nacer; BRUNS, H. Arnold; ABBAS, Hamed K.; MENGISTU, Alemu; FISHER, Daniel K.; REDDY, Krishna N.. Agricultural practices altered soybean seed protein, oil, fatty acids, sugars, and minerals in the Midsouth USA. **Frontiers In Plant Science**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 1-31, 18 fev. 2015. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00031>.
- BELLALLOUI, Nacer; GILLEN, Anne M.. Soybean seed protein, oil, fatty acids, N, and S partitioning as affected by node position and cultivar differences. **Agricultural Sciences**, [s.l.], v. 01, n. 03, p. 110-118, 2010. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2010.13014>.
- BRUNO, J. L. *et al.* Acúmulo de óleo em sementes de soja cultivadas in vitro e in vivo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 5, p. 3085-3090, out. 2015.
- CÂMARA, Gil Miguel de Sousa. **Introdução ao agronegócio: soja**. Piracicaba: Esalq, 2016.
- CAMARGOS, A. E. *et al.* Qualidade fisiológica de sementes de soja em função de teste de germinação. **Ciência & Tecnologia: Fatec-JB, Jaboticabal**, v. 8, n. 1, p. 1-8, abr. 2016.
- CAMPBELL, M. K.. **Bioquímica**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000. 752 p.
- CARVALHO, Cristiane de; NOVEMBRE, Ana Dionísia Luz Coelho. Avaliação da qualidade de sementes de fumo, nuas e revestidas, pelo teste de condutividade elétrica. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 177-185, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222011000100020>.

CARVALHO, Everson Reis; MAVAIIE, Denilson Paulo da Rosa; OLIVEIRA, João Almir; CARVALHO, Marcos Vinícios de; VIEIRA, Antônio Rodrigues. Alterações isoenzimáticas em sementes de cultivares de soja em diferentes condições de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 49, n. 12, p. 967-976, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2014001200007>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2019/20 - terceiro levantamento**. Brasília: Conab, 2019.

DELARMELINO-FERRARESI, L.m.; VILLELA, F.a.; AUMONDE, T.z.. Desempenho fisiológico e composição química de sementes de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal Of Agricultural Sciences**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 14-18, 27 mar. 2014. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v9i1a2864>.

EGLI, D. B.; BRUENING, W. P.. Nitrogen accumulation and redistribution in soybean genotypes with variation in seed protein concentration. **Plant And Soil**, [s.l.], v. 301, n. 1-2, p. 165-172, 9 out. 2007. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9434-y>.

FAO, Food And Agriculture Organization. **Population Estimation and Projection**. 2014. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/550/DesktopDefault.aspx?PageID=550> \l“ ancor. Acesso em: 12 fev. 2015.

FERRÉ, Juan; VAN RIE, Jeroen. Biochemistry and Genetics of Insect Resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review Of Entomology**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 501-533, jan. 2002. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145234>.

FERREIRA, Thaís Francielle; FERREIRA, Valquíria de Fátima; OLIVEIRA, João Almir; CARVALHO, Marcos Vinícios de; MIGUEL, Leonardo de Souza. Isoenzyme activity in maize hybrid seeds harvested with different moisture contents and treated. **Journal Of Seed Science**, [s.l.], v. 37, n. 2, p. 139-146, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v37n2147183>.

FINOTO, Everton Luis; SEDIYAMA, Tuneo; ALBUQUERQUE, José de Anchieta Albes de; SOARES, Maria Beatriz Bernades; GALLI, Juliana Altafin; CORDEIRO JUNIOR, Paulo Sérgio; MENEZES, Pedro Henrique Santos de. Anticipation and harvest delay in oil and protein contents of soybean seeds, grow crops Valiosa RR. **Scientia Agropecuaria**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 99-107, 30 jun. 2017. Universidad Nacional de Tujillo. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.02>.

GAO, A. G. *et al.* **Soybean Plant And Seed Other Publications Corresponding To Transgenevent Mon87701 And Methods For Detection Thereof**. . US n. US 8455198. Depósito: 31 out. 2011. Concessão: 4 jun. 2013.

GAZOLLA NETO, A.; GADOTTI, G. I.. Estratégias para gestão de informações na produção de sementes. **Revista Seed News**, Londrina, v. 5, n. 1, p. 16-18, set. 2014.

GAZOLLA-NETO, Alexandre; FERNANDES, Marciabela Correa; GOMES, Aline Duarte; GADOTTI, Gizele Ingrid; VILLELA, Francisco Amaral. **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA QUALIDADE**

FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA EM CAMPO DE PRODUÇÃO. **Revista Caatinga**, [s.l.], v. 28, n. 3, p. 119-127, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n314rc>.

GECHEV, Tsanko S.; VAN BREUSEGEM, Frank; STONE, Julie M.; DENEV, Iliya; LALOI, Christophe. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. **Bioessays**, [s.l.], v. 28, n. 11, p. 1091-1101, 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/bies.20493>.

GOFFI, Mateus; TIRONI, Siumar; RADÜNZ, André; TRAMONTIN, Marco. PRODUTIVIDADE E RETORNO ECONOMICO DA CULTURA DA SOJA COM TECNOLOGIA INTACTA. **Agrarian Academy**, [s.l.], v. 4, n. 7, p. 380-391, 31 jul. 2017. Centro Cientifico Conhecer. [http://dx.doi.org/10.18677/agrarian\\_academy\\_2017a37](http://dx.doi.org/10.18677/agrarian_academy_2017a37).

GRIS, Cristiane Fortes; VON PINHO, Edila Vilela de Resende; ANDRADE, Thais; BALDONI, Alexana; CARVALHO, Maria Laene de Moreira. Qualidade fisiológica e teor de lignina no tegumento de sementes de soja convencional e transgênica RR submetidas a diferentes épocas de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 34, n. 2, p. 374-381, abr. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542010000200015>.

HALLIWELL, Barry. Antioxidant characterization. **Biochemical Pharmacology**, [s.l.], v. 49, n. 10, p. 1341-1348, maio 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0006-2952\(95\)00088-h](http://dx.doi.org/10.1016/0006-2952(95)00088-h).

LEHNINGER, A. L.. **Principios de bioquímica**. São Paulo: [s. N.], 2006.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A.. **Plantas medicinais no Brasil?: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.

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

MATAVELI, Lidiane Raquel Verola; POHL, Pawel; MOUNICOU, Sandra; ARRUDA, Marco Aurélio Zezzi; SZPUNAR, Joanna. A comparative study of element concentrations and binding in transgenic and non-transgenic soybean seeds. **Metallomics**, [s.l.], v. 2, n. 12, p. 800, 2010. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c0mt00040j>.

MCDONALD, M. B.. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science And Technology**, Zurich, v. 27, n. 1, p. 177-237, jan. 1999.

MIKLOS, John A.; ALIBHAI, Murtaza F.; BLEDIG, Stefan A.; CONNOR-WARD, Dannette C.; GAO, Ai -guo; HOLMES, Beth A.; KOLACZ, Kathryn H.; KABUYE, Victor T.; MACRAE, Ted C.; PARADISE, Mark S.. Characterization of Soybean Exhibiting High Expression of a Synthetic *Bacillus thuringiensis* cry1A Transgene That Confers a High Degree of Resistance to Lepidopteran Pests. **Crop Science**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 148-157, jan. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2006.07.0463>.

MORENO, Kiliany A. A.; PIRES, Raquel M. O.; CASTRO, Maria L. R.; VASCONCELLOS, Renato C. C.; SANTOS, Heloisa O.; PINHO, Édila V. R. V.. Gene Expression Related to Physiological Quality of

Soybean Seeds. **Journal Of Agricultural Science**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 370, 15 fev. 2019. Canadian Center of Science and Education. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n3p370>.

NAEVE, Seth L.; O'NEILL, Tracy A.; MILLER-GARVIN, Jill E.. Canopy Nitrogen Reserves: impact on soybean yield and seed quality traits in northern latitudes. **Agronomy Journal**, [s.l.], v. 100, n. 3, p. 681-689, maio 2008. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2007.0179>.

NEPOMUCENO, Alexandre Lima. Técnicas Inovadoras de Melhoramento de precisão. **Anuário Abrasem**. Londrina, p. 8-11. set. 2018.

PADGETTE, Stephen R.; TAYLOR, Nancy Biest; NIDA, Debbie L.; BAILEY, Michele R.; MACDONALD, John; HOLDEN, Larry R.; FUCHS, Roy L.. The Composition of Glyphosate-Tolerant Soybean Seeds Is Equivalent to that of Conventional Soybeans. **The Journal Of Nutrition**, [s.l.], v. 126, n. 3, p. 702-716, 1 mar. 1996. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jn/126.3.702>.

PESKE, S. T.; BARROS, A. C. S. A.; SCHUCH, L. O. B.. Produção de Sementes. **Revista Seed News**, Londrina, v. 1, n. 5, p. 16-18, abr. 2014.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E.. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: Ed. Universitária, 2012.

QUAN, Li-juan; ZHANG, Bo; SHI, Wei-wei; LI, Hong-yu. Hydrogen Peroxide in Plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network. **Journal Of Integrative Plant Biology**, [s.l.], v. 50, n. 1, p. 2-18, jan. 2008. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7909.2007.00599.x>.

RIGON, João Paulo Gonsiorkiewicz; CAPUANI, Silvia; BELTRÃO, Napoleão de Esberard Macêdo; BRITO NETO, José Félix; SOFIATTI, Valdinei; FRANÇA, Fabíola Vanessa. Non-destructive determination of photosynthetic pigments in the leaves of castor oil plants. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s.l.], v. 34, n. 3, p. 1-29, 3 maio 2012. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v34i3.13872>.

RNC - Registro Nacional de Cultivares. **Pesquisa de cultivares registradas**. 2019. Disponível em: [http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php). Acesso em: 12 dez. 2019.

ROSSI, Rubiana Falopa; CAVARIANI, Cláudio; FRANÇA-NETO, José de Barros. Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônômico de soja. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal Of Agricultural And Environmental Sciences**, [s.l.], v. 60, n. 3, p. 215-222, 2017. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2239>.

ROTUNDO, José L.; BORRÁS, Lucas; WESTGATE, Mark E.; ORF, James H.. Relationship between assimilate supply per seed during seed filling and soybean seed composition. **Field Crops Research**, [s.l.], v. 112, n. 1, p. 90-96, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2009.02.004>.

SALES, Victor Hugo Gomes; PELUZIO, Joenes Mucci; AFFÉRI, Flávio Sérgio; OLIVEIRA JUNIOR, Waldesse Piragé; SALES, Paulo Victor Gomes. Teor de óleo e proteína em grãos de soja em diferentes posições da planta. **Revista Agro@mbiente On-line**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 22, 7 jun. 2016. Universidade Federal de Roraima. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i1.2462>.

SANTOS, Elonha Rodrigues; SPEHAR, Carlos Roberto; CAPONE, Aristoteles; PEREIRA, Paulo Roberto. Estimativa de parâmetros de variação genética em progênes f2 de soja e genitores com presença e ausência de lipoxigenases. **Nucleus**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 61-70, 30 abr. 2018. Fundação Educacional de Ituverava. <http://dx.doi.org/10.3738/1982.2278.2169>.

SCHUCH, Luis Osmar Braga; KOLCHINSKI, Eliane Maria; FINATTO, Jonas Alex. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 144-149, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222009000100016>.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C.. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **The Journal Of Agricultural Science**, [s.l.], v. 153, n. 8, p. 1394-1411, 24 abr. 2015. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0021859615000313>.

SIGEF. **SISTEMA DE GESTÃO DA FISCALIZAÇÃO**. 2020. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sigef/#inicial>. Acesso em: 10 jan. 2020.

SORDI, André; SCHENEIDER, Fernando; PANIZZON, Luis Carlos; LAJÔS, Cristiano Reschke; CERICATO, Alceu; KLEIN, Claudia. EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DA CULTURA DA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill) SUBMETIDA A COINOCULAÇÃO. **Scientia Agraria**, [s.l.], v. 18, n. 4, p. 72, 20 dez. 2017. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i4.52047>.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 722 p.

THE AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION. **Soybean: production and technology**. production and technology. 2020. Disponível em: <https://soygrowers.com>. Acesso em: 12 jan. 2020.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Brazil Ships Soybeans At Record Pace. **Oilseeds: World Markets and Trade**. 2019. Disponível em: <https://www.usda.gov/>. Acesso em: 01 dez. 2019.

VAN ROEKEL, Ryan J.; PURCELL, Larry C.; SALMERÓN, Montserrat. Physiological and management factors contributing to soybean potential yield. **Field Crops Research**, [s.l.], v. 182, p. 86-97, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.05.018>.

ZHANG, Ming; MAEDA, Yutaka; FURIHATA, Yasunaga; NAKAMARU, Yasuo; ESASHI, Yohji. A mechanism of seed deterioration in relation to the volatile compounds evolved by dry seeds themselves. **Seed Science Research**, [s.l.], v. 4, n. 01, p. 49-56, mar. 1994. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0960258500001999>.

ZHAO, Jian-zhou; CAO, Jun; LI, Yaxin; COLLINS, Hilda L; ROUSH, Richard T; EARLE, Elizabeth D; SHELTON, Anthony M. Transgenic plants expressing two *Bacillus thuringiensis* toxins delay insect resistance evolution. **Nature Biotechnology**, [s.l.], v. 21, n. 12, p. 1493-1497, 9 nov. 2003. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nbt907>.

## **CAPÍTULO 2 - INSERÇÃO DO GENE CRY1AC E MODIFICAÇÕES NO DESEMPENHO AGRONÔMICO E NA EFICIÊNCIA FOTOSSÍNTÉTICA DE CULTIVARES DE SOJA**

**RESUMO:** A produtividade da cultura da soja e a produção de sementes de qualidade é reflexo do desempenho do genótipo da planta frente às respostas aos estímulos externos tais como a radiação solar e o uso eficiente dos fotoassimilados. Desta maneira, objetivou-se com esta pesquisa, identificar se a eficiência fotossintética e o desempenho agrônômico de cultivares de soja IPRO é afetada em função da inserção do gene cry1Ac, em relação à cultivares RR observando, concomitantemente, se o ciclo de maturação das cultivares interfere neste aspecto. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 3 repetições, sendo sete cultivares de soja transgênicas RR e sete IPRO. Foram realizadas as seguintes avaliações: altura de plantas, altura de inserção do primeiro legume, índice de acamamento, número de legumes, número de nós por planta, peso de 1000 sementes, produtividade, leitura do aparelho ClorofiLOG de clorofila a, b e total e a razão entre clorofila a/b e determinação dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, B, Zn, Fe e Mn. O nível de melhoramento genético das cultivares IPRO é insipiente em relação as cultivares RR. A capacidade fotossintética das cultivares IPRO pode ser afetada pela inserção do gene Cry1Ac refletindo nos componentes de produção: produtividade, número de vagens e número de nós. A utilização de nutrientes ligados ao processo fotossintético, N, Mg e Mn, pelo grupo de cultivares de soja IPRO é menos eficiente em comparação ao grupo de cultivares RR. As cultivares mais indicadas, levando-se em consideração o ciclo de maturação para clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, dentre os genótipos estudados, são cultivar 3 RR de ciclo precoce, cultivar 2 RR de ciclo médio e cultivar 9 IPRO de ciclo tardio. As cultivares 1 e 6 de tecnologia RR e ciclo médio e as cultivares 8 e 12 de tecnologia IPRO e ciclo tardio não são indicadas para o plantio em clima Cwa. A eficiência fotossintética das cultivares de ciclo precoce e médio é maior que a verificada nas cultivares de ciclo tardio.

Palavras chave: *Glycine max*, clorofila, ClorofiLOG, IPRO, Roudup Ready

## **CRY1AC GENE INSERTION AND MODIFICATIONS IN AGRONOMIC PERFORMANCE AND PHOTOSYNTHETIC EFFICIENCY OF SOYBEAN CULTIVARS**

**ABSTRACT** - The productivity of the soybean crop and the production of quality seeds is a reflection of the plant's genotype performance in response environmental such as solar radiation and the efficient use of photoassimilates. In this way, the objective of this research was to identify whether the photosynthetic efficiency and the agronomic performance of IPRO soybean cultivars is affected by the insertion of the cry1Ac gene, in relation to RR cultivars, observing, simultaneously, if the cultivation maturation cycle interferes with this aspect. The experimental design used was a randomized block with 3 replications, with seven transgenic soybean cultivars RR and seven IPRO. The following evaluations were carried out: height of plants, height of insertion of the first pods, lodging index, number of pods, number of nodes per plant, weight of 1000 seeds, productivity, reading of the Chlorophyll a, b total and a Chlorophyll device ratio between chlorophyll a / b and determination of nutrients N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, B, Zn, Fe and Mn. The level of genetic improvement of IPRO cultivars is insipient in relation to RR cultivars. The photosynthetic capacity of IPRO cultivars can be affected by the insertion of the Cry1Ac gene, reflecting in the production components: productivity, number of pods and number of nodes. The use of nutrients linked to the photosynthetic process, N, Mg and Mn, by the group of cultivars of IPRO soybean is less efficient compared to the RR cultivar group. The most suitable cultivars, taking into account the maturation cycle for humid temperate climate with dry winter and hot summer, among the studied genotypes, are to cultivate 3 RR of early cycle, cultivate 2 RR of medium cycle and cultivate 9 IPRO of cycle late. Cultivars 1 and 6 with RR technology and medium cycle and cultivars 8 and 12 with IPRO technology and late cycle are not suitable for planting in Cwa climate. The photosynthetic efficiency of early and medium cycle cultivars is greater than that observed in late cycle cultivars.

Keywords: Glycine max, chlorophyll, Chlorofilog, IPRO, Roudup Ready

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de soja está pautada na utilização de todos os recursos disponíveis de forma sustentável, ou seja, busca reunir as tecnologias disponíveis no mercado, tais como cultivares geneticamente modificadas com genes piramidados e a construção da fertilidade do solo através da rotação de culturas e plantio direto, a fim de reduzir o uso exacerbante de defensivos e os impactos ambientais, bem como os custos de produção, vislumbrando altas produtividades e qualidade final.

Atualmente, a maior parte da área cultivada de soja está focada no cultivo da soja Roundup Ready (RR) tolerante ao glifosato, cujo evento determinante é MON 89788 (THE AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION, 2019). Trata-se de uma segunda geração de soja tolerante ao herbicida glifosato que recebeu a denominação MON 89788, em adição ao evento aprovado pela CTNBio GTS 40-3-2. Este novo evento traz uma variante para a expressão do gene cp4 epsps através do uso do promotor do vírus mosaico da escrofulária (figwort), ou simplesmente promotor FMV, o que o difere do evento GTS 40-3-2. De forma distinta da modificação anterior, na qual se empregou biobalística, a transformação foi realizada por *Agrobacterium tumefaciens* em tecido de soja convencional A3244 (PADGETTE et al., 1996). O organismo doador do gene cp4 epsps, *Agrobacterium* sp., cepa CP4, é uma bactéria comum de solo e que teve este gene mutado naturalmente. Esta mutação fez com que este gene codificasse para a produção da enzima CP4 EPSPS tolerante ao glifosato. Esta enzima é estrutural e funcionalmente semelhante às enzimas EPSPS endógenas de plantas e microrganismos. A rápida adoção global da soja Roundup Ready está ligada à eficácia e eficiência de custo significativos no controle de plantas daninhas, que podem causar prejuízos no índice de produtividade, qualidade do produto e rendimento da colheita bem como aumento no consumo de herbicidas (MATAVELI et al., 2010).

Outra demanda do mercado a fim de reduzir os custos e facilitar o manejo das áreas implantadas com soja foi a resistência à insetos prejudiciais à cultura. Por meio da biotecnologia agrícola moderna, desenvolveu-se variedades de soja que contêm o gene derivado de *Bacillus thuringiensis*, cry1Ac, evento denominado MON 87701 (FERRE & VAN RIE, 2002; MIKLOS et al., 2007). A expressão da proteína Cry1Ac confere resistência a insetos. A soja MON 87701 foi

produzida pela metodologia de transformação mediada por *Agrobacterium* usando o plasmídeo PV-GMIR9, que é um vetor binário (CTNBIO, 2010).

Os eventos MON 89788 e MON 87701 são eventos distintos, expressos em organelas celulares diferentes, que conferem características importantes para o melhoramento genético e produtos multitrait. Mais recentemente, o evento MON 87701 foi piramidado ao MON 89788 dando origem a soja MON 87701 x MON 89788, que confere resistência a insetos e tolerância a herbicida. As cultivares de soja IPRO, denominadas MON 87701 x MON 89788, são resultantes do cruzamento, através do melhoramento genético clássico, dos parentais de soja geneticamente modificadas MON 87701 e MON 89788. A soja MON 87701 x MON 89788 apresenta características das sojas parentais, ou seja, é resistente a insetos (expressão da proteína Cry1Ac) e apresenta tolerância ao glifosato (expressão da proteína CP4 EPSPS) e sua utilização tem sido cada vez mais crescente por aliar duas características de interesse comercial (GAO et al., 2013). Este fato se comprova pelo número de cultivares registradas que possuem este evento, 897 cultivares, que ultrapassa o evento pioneiro GTS 40-3-2, com 737 cultivares registradas (RNC, 2020).

No entanto, o bom desempenho da cultura no campo é dependente não só do genótipo do material como também do ambiente de cultivo, e, devido a este fato, torna-se tão complexo o entendimento a respeito dos genes que são expressos mediante a um estímulo externo (NEPOMUCENO, 2018). Esta compreensão é ainda mais dificultada quando se trata de genes inseridos através de transgenia em regiões específicas do genoma, pois sabe-se que a expressão destes genes em plantas é influenciada pela sua posição cromossômica. Por esse motivo, muitas vezes, durante o processo de identificação e inserção do gene de interesse é necessário filtrar um grande número de eventos para identificar um evento caracterizado pela expressão ótima de um gene de interesse introduzido (GAO et al., 2013).

Somente um número reduzido de eventos foram testados para a expressão em plantas, dos diversos eventos, com propriedades inseticidas, extraídos de *Bacillus thuringiensis*. Dentre eles, estão as proteínas Cry1's, Cry3, VIP3A, Cry34, Cry35 e Cry2Ab, sendo que estas, para atingir altos níveis de expressão na planta e possuir o padrão de transgene desejável, ou seja, ação inseticida sobre determinado grupo de insetos, teve que ser direcionada para o cloroplasto de modo a evitar efeitos fitotóxicos indesejáveis. Os cloroplastos são organelas responsáveis pelo armazenamento dos pigmentos vegetais, tais como as clorofilas. A captura da energia luminosa utilizada na

foto-síntese é realizada por clorofilas que são essenciais na conversão da radiação luminosa em energia química na formação de ATP e NADPH. Devido a isto, as clorofilas estão relacionadas à eficiência fotossintética e ao desempenho agrônômico das plantas, podendo ser estimada pela concentração do pigmento fotossintético, bem como ao crescimento e à adaptabilidade a diferentes ambientes (SORDI, et al., 2017; RIGON, et al., 2012).

Portanto, se caso o gene inserido na região do cloroplasto apresentar um mal funcionamento ou incompatibilidade, o efeito negativo irá se manifestar na eficiência fotossintética da planta e consequentemente no desempenho desta planta no campo. Na cultura da soja, vários processos de formação da lavoura, tais como a fotossíntese, propriamente dita, alongação da haste principal, número de ramificações, expansão foliar, pegamento de flores e vagens, formação de sementes e fixação biológica de nitrogênio, são afetados mediante a porcentagem de radiação ativa e eficiência energética do processo fotossintético (CÂMARA, 2016). Além disso, fatores como fotoperíodo, temperatura, umidade, fertilidade do solo, época de semeadura, densidade de plantas, afetam diretamente fatores intrínsecos à cada genótipo tais como altura de plantas, inserção do primeiro legume, capacidade fotossintética e produtividade, essenciais ao desempenho da cultura (SILVA et al., 2017).

Mediante a isto, torna-se imprescindível o estudo do comportamento fotossintético e do desempenho agrônômico de cultivares transgênicas de soja. Portanto, objetivou-se com esta pesquisa, identificar se a eficiência fotossintética e o desempenho agrônômico de cultivares de soja IPRO é afetada em função da inserção do gene cry1Ac, em relação à cultivares RR observando, concomitantemente, se o ciclo de maturação das cultivares interfere neste aspecto.

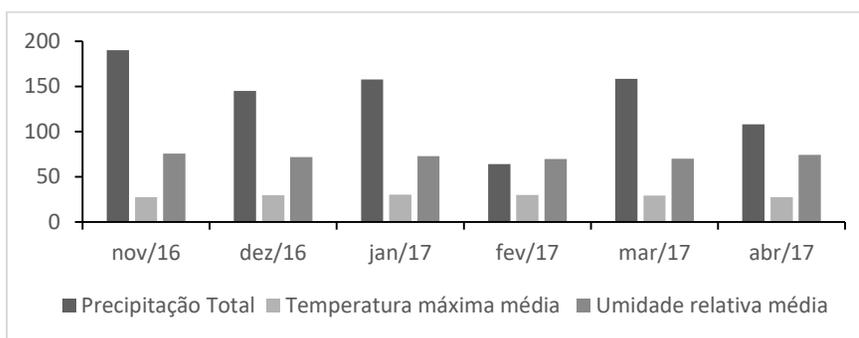
## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no campo experimental do Departamento de Agricultura e as análises e determinações foram realizadas no Laboratório Central de Análise de Sementes da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG.

A cidade está localizada na Região Sul do estado de Minas Gerais, Brasil, Latitude 21° 14'S e Longitude 40° 17'W e a 918,8 m de altitude. O clima de Lavras, segundo a classificação climática de Köppen, é Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso,

subtropical, temperatura do mês mais quente maior que 22°C (22,1°C em fevereiro). A precipitação anual normal é de 1.529,7 mm, sendo os maiores valores observados nos meses de dezembro (296 mm), janeiro (272 mm) e fevereiro (192 mm) (BRASIL, 1992; DANTAS et al., 2007). Para o período do plantio à colheita foram registrados dados de precipitação total, temperatura média, e umidade relativa apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Série Climatológica de Lavras de novembro de 2016 à abril de 2017, com dados de precipitação total, temperatura máxima média e umidade relativa



Fonte: INMET (2017)

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2016/17 em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico típico, com características físico químicas segundo a Análise de solo apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Análise química e física do solo da área experimental, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras-MG (Continua).

Propriedades Químicas		Resultados	
		0-20	20-40
pH	H <sub>2</sub> O	5,8	5,3
Ca <sup>++</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> )		3,69	1,89
Mg <sup>++</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> )		0,63	0,33
Al <sup>+++</sup>		0,10	2,20
H+Al	cmolc.dm <sup>-3</sup>	4,47	7,62
SB		4,44	2,32
T		4,54	4,52
T		8,91	9,94
K <sup>+</sup>		48,64	37,98
P	mg.dm <sup>-3</sup>	24,10	9,66
Zn		2,47	1,54
Fe		85,79	80,64

Mn		13,45	13,34
Cu		0,68	0,76
B		0,17	0,18
S		11,58	27,64
V		49,88	23,31
M	%	2,20	48,67
Prem	mg L <sup>-1</sup>	29,1	19,80
MO		3,11	2,63
Areia			16
Silte	dag.Kg <sup>-1</sup>		20
Argila			64

Fonte: Departamento de Ciência do Solo (2017)

A área escolhida para o plantio foi de fertilidade construída por meio de sistema de plantio direto. Utilizou-se adubação formulada N-P-K 02-20-18, segundo recomendação adequada para a cultura da soja no sulco de plantio (RIBEIRO,1999).

Foram utilizadas sementes de sete cultivares de soja transgênicas RR (1-7); e sete transgênicas IPRO (8-14) (TABELA 2). As cultivares de soja RR possuem o gene cp4-epsps, oriundo de *Agrobacterium* sp, que confere tolerância ao herbicida Roundup®. As cultivares de soja IPRO, denominadas MON 87701 x MON 89788, são resultantes do cruzamento, através do melhoramento genético clássico, dos parentais de soja geneticamente modificadas resistente a insetos, MON 87701 e tolerante a glifosato MON 89788. O evento MON 87701 possui o gene Cry1Ac, oriundo de *Bacillus thuringiensis* e o evento MON 89788 possui o gene cp4 epsps, oriundo de *Agrobacterium* sp. Todas estas cultivares são recomendadas para regiões de *clima* temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa), como é classificado o clima da cidade de Lavras. As sementes foram cedidas pela empresa Syngenta e Dow Agrosience.

Tabela 2 – Caracterização das cultivares segundo a tecnologia inserida, o grupo de maturação, a classificação do ciclo e colheita, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras-MG.

Cultivar	Tecnologia	Grupo de Maturação	Classificação de ciclo	Colheita (dias após a semeadura)
1	RR	6,4	Médio	120
2	RR	6,3	Médio	120
3	RR	5,9	Precoce	110
4	RR	6,4	Médio	120
5	RR	7-8	Tardio	130
6	RR	6-7	Médio	120
7	RR	5-6	Precoce	110
8	IPRO	7,1	Tardio	130

9	IPRO	7,3	Tardio	130
10	IPRO	6,3	Médio	120
11	IPRO	6,9	Médio	120
12	IPRO	7-8	Tardio	130
13	IPRO	6-7	Médio	120
14	IPRO	5-6	Precoce	110

Fonte: Do Autor (2020)

As sementes foram tratadas com Standak Top<sup>®</sup> (2 ml.Kg<sup>-1</sup>sementes). Para a aplicação do produto nas sementes foram utilizados sacos plásticos de 1 Kg de capacidade com 500g de sementes. Após o tratamento, as sementes foram dispostas à sombra, a uma temperatura de aproximadamente 25°C por 20 minutos, para que houvesse a secagem do produto na superfície das sementes. Logo após a secagem e no ato do plantio, as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, SEMIA 5079 e SEMIA 5080, utilizando-se inoculante turfoso Total Nitro na proporção de 1.200.000 bactérias por semente.

A semeadura foi realizada manualmente, na segunda quinzena de novembro. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 3 repetições para cada uma das 14 cultivares que compuseram os tratamentos. As parcelas experimentais foram constituídas por 6 linhas de 5 metros de comprimento espaçadas em 0,5 m, sendo as duas externas bordaduras e as quatro linhas centrais úteis, desconsiderando 0,5 m de cada extremidade, totalizando 15 m<sup>2</sup> de parcela, sendo 8 m<sup>2</sup> parcela útil.

O desbaste foi realizado 15 dias após emergência das plântulas, mantendo-se 15 plantas por metro. Os tratos culturais, aplicações de inseticidas e fungicidas, foram realizados uniformemente em todas as parcelas de acordo com as necessidades e recomendações para a cultura. Para controle de plantas invasoras foi utilizado o herbicida glifosato, com aplicação em bomba costal e utilização de chapéu de napoleão de modo a evitar a deriva (Roudup<sup>®</sup> 1 L.ha<sup>-1</sup>).

Durante o desenvolvimento da cultura foi realizada a avaliação da eficiência fotossintética dos materiais de forma indireta por meio da leitura de clorofila a,b, razão entre clorofila a e b e clorofila total do aparelho ClorofiLOG, modelo CFL 1030, segundo as recomendações do fabricante Falker, no estádio R1 de cada cultivar, obedecendo o ciclo de maturação de cada uma (FALKER, 2008). A leitura foi realizada na folha central do trifólio do terço médio da planta, em 10 plantas de cada parcela.

Logo após a leitura, foi realizada amostragem foliar para determinação dos teores de nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, B, Zn, Fe e Mn, coletando-se o terceiro trifólio à partir do ápice das plantas, com o pecíolo, em 20% das plantas das fileiras e acondicionados em caixas de isopor com gelo para análise foliar. As determinações foram realizadas no Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A colheita foi realizada manualmente em R8, de forma escalonada levando-se em consideração o ciclo de cada cultivar (FEHR et al., 1971), (Tabela 2). Em ocasião da colheita, foram retiradas 10 plantas aleatoriamente de cada parcela útil de modo a caracterizar as cultivares avaliando-se os seguintes parâmetros: altura de plantas: em que foi tomada a distância do colo da planta até a extremidade da haste principal, em cm; altura de inserção do primeiro legume, medindo-se a distância do colo da planta até o nó de inserção do primeiro legume, em cm, índice de acamamento: foi avaliado segundo Bernard et al. (1965), nota 1 todas plantas eretas, 2 algumas plantas inclinadas ou ligeiramente acamadas, 3 todas as plantas moderadamente inclinadas ou 25-50% acamadas, 4 todas as plantas severamente inclinadas ou 50-80% acamadas e 5 mais de 80% acamadas; número de legumes e número de nós por planta.

Assim como a colheita, a debulha também foi realizada manualmente. Após a debulha foi realizada a quantificação da produção por área determinando a produtividade, em que as sementes foram pesadas e os pesos obtidos foram corrigidos para 13% de umidade, com resultados expressos em kilogramas por hectares ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); e o peso de 1000 sementes, calculado segundo recomendações das Regras para Análise de sementes. Para a determinação do teor de água das sementes adotou-se o método de estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , durante 24 horas (BRASIL,2009).

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software RStudio, sendo aplicado o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade para comparação de médias das cultivares e o programa Sisvar para aplicação de Contrastos ortogonais para a comparação entre os grupos de cultivares RR e IPRO (RSTUDIO, 2015; FERREIRA, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No experimento foi constatada boa precisão com coeficiente de variação menor que 10% e significância para a fonte de variação estudada, cultivares, para todos os parâmetros estudados. Para os parâmetros índice de acamamento de plantas e umidade não foi detectada diferenças significativas entre os materiais (Tabela 3).

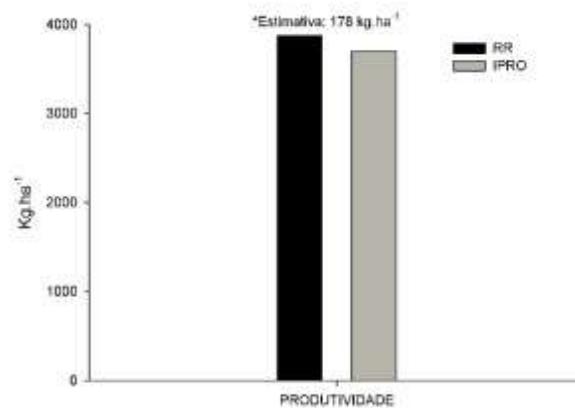
Tabela 3 - Resultados médios da produtividade (Prod), altura de planta, inserção do primeiro legume (Ins. 1º lg), número de vagens (nº vag), número de nós (nº nós) e peso de 1000 sementes (peso 1000) de cultivares de soja RR e IPRO, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras - MG.

Cultivares	Ciclo	Prod (kg.ha <sup>-1</sup> )	Altura (cm)	Ins 1º lg (cm)	Nº vag (u)	Nº nós (u)	Peso 1000 (g)
1 RR	Médio	3345,71 e	73,00 d	18,33 c	42 e	13 c	14,21 c
2 RR	Médio	3978,06 c	85,20 b	14,20 f	42 e	13 c	11,58 g
3 RR	Precoce	4441,71 b	73,86 d	16,46 d	45 d	20 a	12,74 f
4 RR	Médio	3690,51 d	78,73 c	15,40 e	48 c	21 a	12,85 f
5 RR	Tardio	4331,52 b	85,80 b	19,53 b	56 a	14 c	13,36 e
6 RR	Médio	3330,41 e	77,33 c	20,53 a	48 c	16 b	12,74 f
7 RR	Precoce	4015,14 c	60,86 e	11,26 h	52 b	14 c	12,65 f
8 IPRO	Tardio	3397,26 e	71,66 d	12,36 g	32 h	13 c	12,50 f
9 IPRO	Tardio	4787,10 a	86,23 b	14,16 f	49 c	14 c	14,97 b
10 IPRO	Médio	3599,55 d	97,11 a	20,91 a	35 g	12 c	14,59 c
11 IPRO	Médio	3741,30 d	75,14 c	17,51 c	39 f	12 c	13,69 d
12 IPRO	Tardio	3051,90 f	75,55 c	18,11 c	28 i	13 c	15,53 a
13 IPRO	Médio	3537,57 d	74,40 d	16,46 d	45 d	19 a	12,69 f
14 IPRO	Precoce	3772,31 d	75,60 c	12,53 g	43 d	13 c	12,39 f
<b>CV(%)</b>		3,94	2,24	2,63	4,09	6,22	2,29

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Do autor (2020)

Quando compara-se os grupos de cultivares RR e IPRO com relação à produtividade, observa-se um maior rendimento de grãos das cultivares RR com média de 3876,15 Kg.ha<sup>-1</sup> contra 3698,14 Kg.ha<sup>-1</sup> da IPRO, em que 4 cultivares RR obtiveram médias superiores às cultivares IPRO (FIGURA 2). A produtividade das cultivares IPRO foi ligeiramente menor do que as das cultivares RR, pelo fato da nova tecnologia não estar ainda incorporada às variedades de melhor desempenho.

Figura 2 – Contraste ortogonal entre os grupos de cultivares RR e IPRO para o parâmetro Produtividade, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras - MG. \*Significância à 1% de probabilidade.



Fonte: Do Autor (2020)

Este mesmo cenário foi observado a alguns anos quando as cultivares de soja convencionais eram mais produtivas e com caracteres desejados em comparação as cultivares RR, lançadas recentemente na época e que ainda não haviam passado por um processo de melhoramento acentuado, entre os anos de 1998 e 2005, principalmente no Brasil, em que a soja RR se sobressaiu a convencional após a aprovação da lei de Biossegurança em março de 2005, a qual autorizou a produção e comercialização de produtos geneticamente modificados e motivou as empresas produtoras de sementes a investir no melhoramento genético das cultivares transgênicas (BRASIL, 2005).

Neste período, as variedades convencionais possuíam uma vantagem relativa de desempenho de 100 a 200 kg/ha e à medida que os anos foram avançando e com eles as pesquisas e incorporação de caracteres desejáveis ao bom desempenho da cultura no campo estas diferenças passaram a ser mínimas, não detectadas estatisticamente e até mesmo positivas para cultivares RR (LIMA et al., 2008; LIMA et al., 2015; PELAEZ et al., 2004; NEVES et al., 2013). Em uma amostragem de 365 campos de cultivo, nos EUA, a produtividade média observada da soja RR foi de 2,96 t/ha, enquanto a da soja convencional foi de 3,07 t/ha, ou seja, 3,8% superior à variedade RR (DUFFY, 1999). Em 2000, esse estudo foi retomado, tendo sido observados 172 campos de cultivo, dos quais 108 (63% do total) utilizavam soja RR. A produtividade da soja RR foi de 2,9

t/ha, enquanto a da soja convencional atingiu 3,0 t/ha, o que corresponde a um valor 3,7% superior ao da GM. A diferença de produtividade manteve-se, assim, praticamente a mesma (DUFFY, 2001).

No Brasil, análises comparativas realizadas sobre potenciais resultados econômicos entre o cultivo de soja transgênica RR e soja convencional, em levantamentos realizados nas safras 2001/02 e 2003/04 nos estados do RS, PR, SP, MS, MT, GO e MG, representando um total de 4,95 milhões de hectares, indicaram produtividades de 2.826 e 2.914 kg/ha, respectivamente, para soja transgênica e convencional (DALL'AGNOL et al., 2007). Lima et al. (2015), comparando cultivares de soja convencionais com RR essencialmente derivadas, observaram diferenças entre as cultivares estudadas, pois a cultivar convencional M-SOY 6101, teve rendimento 31,9% superior quando comparado com a essencialmente derivada M-SOY 7211 RR. Enquanto a cultivar essencialmente derivada BRS Valiosa RR apresentou rendimento 28,5% superior em relação à cultivar convencional BRS/MG46 Conquista. Fonseca et al. (2013), concluíram os genótipos RR apresentaram valores superiores a genótipos convencionais para produtividade. Enquanto Lima et al. (2008), avaliando linhagens de soja no Estado do Paraná, não identificaram diferença para o desempenho produtivo entre linhagens de soja convencional e RR.

Além deste entrave, ao procurar avaliar o desempenho de duas tecnologias de melhoramento genético, uma grande limitação a esse tipo de estudo é a dificuldade de comparações baseadas em uma única safra, as quais tendem a dissimular o avanço dessas tecnologias em longo prazo. Para uma avaliação mais conclusiva, as comparações de desempenho deveriam ser feitas de forma a obter-se uma série temporal de dados de pelo menos 5 anos consecutivos. Comparações estáticas (em uma safra) oferecem um retrato de curto prazo, enquanto comparações dinâmicas apresentam o desempenho de médio e longo prazos, resultante de um processo de adaptação tecnológica (desenvolvimento de cultivares), de aprendizagem e de inovações (DALL'AGNOL et al., 2007).

O avanço do melhoramento pode ser comprovado quando se analisa as cultivares separadamente, visto que a cultivar 9 IPRO obteve a maior produtividade dentre as cultivares estudadas e as demais cultivares IPRO ficaram com médias iguais ou inferiores as cultivares RR (TABELA 3).

Quanto à produtividade, as cultivares 1 RR de ciclo médio, 6 RR de ciclo médio, 8 IPRO de ciclo tardio e 12 IPRO de ciclo tardio obtiveram produtividade média inferior a produtividade média do estado de Minas Gerais na safra 2016/2017, da qual se trata o experimento, 3480 Kg.ha<sup>-1</sup> (TABELA 3). Este comportamento pode estar relacionado a uma baixa média de precipitação no mês de fevereiro em que as cultivares estavam iniciando a fase reprodutiva.

A planta de soja necessita de precipitações adequadas tanto na fase vegetativa quanto na reprodutiva, no entanto, a definição da produtividade se dará com médias de precipitações adequadas desde o início do florescimento R1 se estendendo até R6 (VAN ROEKEL et al., 2015). Em R1 as plantas necessitam de cerca de 6,3 mm/dia de água (OLIVEIRA & TAVARES, 2017). Segundo os dados climatológicos de Lavras, em fevereiro a precipitação total foi de 64 mm o que representa uma média de 2,29 mm/dia somente (INMET, 2018). Isto provocou uma baixa taxa de fecundação e conseqüentemente menor rendimento destas cultivares especificamente, mostrando uma maior sensibilidade destes genótipos à seca, os quais seriam inadequados para plantio na região.

As demais cultivares ficaram acima da média alcançando até 4787,10 Kg.ha<sup>-1</sup>. É interessante observar que altas médias de produtividade na maior parte das cultivares, com ciclos de maturação distintos, viabiliza um sistema de escalonamento de colheita, o que auxilia em um planejamento mais adequado da colheita (REZENDE & CARVALHO, 2007). Dessa forma, nota-se que as cultivares mais indicadas dentro de cada ciclo de maturação são cultivar 3 RR de ciclo precoce, cultivar 2 RR de ciclo médio e cultivar 9 IPRO de ciclo tardio, uma vez que apresentam altas produtividades e parâmetros agrônômicos adequados ao plantio tais como altura, inserção do primeiro legume, índice de acamamento, número de vagens, número de nós e peso de 1000 sementes, como observa-se nos resultados (TABELA 3).

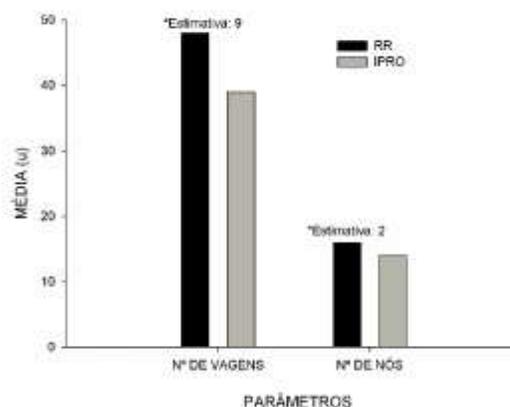
Embora sejam inúmeros os fatores que ditam um bom desempenho da cultura da soja a nível de campo, um dos parâmetros mais utilizados para indicação de uma cultivar e a sua inserção no mercado é a produtividade ou rendimento de grãos (LEMOS et al., 2012). Vale salientar que cultivares de diferentes grupos de maturação apresentam características fisiológicas distintas que determinam a resposta ao ambiente de produção e conseqüentemente a produtividade (SILVA et al., 2016). Dentre as cultivares estudadas observa-se esta responsividade quando compara-se as médias das cultivares de cada grupo de maturação. Aquelas classificadas como precoce para a

região de Lavras obtiveram média geral de 4076,39 kg.ha<sup>-1</sup>, enquanto que as classificadas como ciclo médio e tardio apresentaram 3603,30 kg.ha<sup>-1</sup> e 3891,95 kg.ha<sup>-1</sup> de média. Este resultado se assemelha aos resultados encontrados por Soares et al. (2017) que ao comparar cultivares de diferentes grupos de maturação concluíram que as cultivares com menor ciclo de maturação são mais produtivas em detrimento das cultivares de maior ciclo.

Além da produtividade outros parâmetros agrônômicos devem ser considerados para um bom desempenho da cultura no campo tais como os componentes de produção, número de vagens e número de nós, altura, inserção do primeiro legume, índice de acamamento e peso de mil sementes. Se caso somente a produtividade for levada em consideração no momento da escolha das cultivares em detrimento das demais características agrônômicas, poderão surgir problemas futuros tais como acamamento das cultivares excessivamente altas e a redução da altura de inserção do primeiro legume que acarretará em perdas no momento da colheita, uma vez que a produtividade média é um dado pouco detalhado sobre o comportamento de cada genótipo (ALLIPRANDINI et al., 2009).

Os parâmetros número de vagens e número de nós, que são diretamente relacionados à produtividade, indicam que 4 das cultivares RR, se sobressaem em relação às cultivares IPRO oferecendo um maior embasamento aos contrastes ortogonais apresentados em que o grupo de cultivares RR se sobressaiu em relação ao grupo IPRO com relação aos componentes de produção (FIGURA 3). Estes resultados podem estar relacionados ao nível de melhoramento genético distinto das cultivares, ou seja, as cultivares de soja RR já passaram por muitas gerações de melhoramento genético com o objetivo de aprimorar as características agrônômicas ligadas ao maior rendimento da cultura em comparação às cultivares IPRO, uma vez que a tecnologia foi lançada a mais tempo no mercado. Embora este resultado torne as cultivares RR potencialmente mais produtivas, pois além de poderem apresentar uma maior superfície fotossintetizante pela diferenciação em ramos, possuem um maior número de locais para o surgimento de gemas reprodutivas, o que pode ser comprovado pelo número de vagens, que também é superior em cultivares RR (MAUAD et al., 2010).

Figura 3 – Contraste ortogonal entre os grupos de cultivares RR e IPRO para os parâmetros Número de Vagens e Número de Nós, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras - MG. \*Significância à 1% de probabilidade.



Fonte: Do Autor (2020)

Assim como para a produtividade, foi observado para o número de vagens e para o número de nós que algumas cultivares do grupo IPRO se sobressaíram as demais assim como os resultados encontrados por Fonseca et al. (2013) em que as cultivares Bt estudadas apresentaram maiores valores comparados à cultivares de soja não-Bt em dois ambientes distintos para os atributos agronômicos, altura da planta, altura da primeira vagem, número de vagens por planta e rendimento de soja.

Os componentes de produção destacam-se pelo número de vagens por planta e pelo número de ramos ou nós por apresentarem as maiores correlações com a produção e produtividade (ALMEIDA et al., 2011; NOGUEIRA et al., 2012; VIANNA et al., 2013; PINCHINAT & ADAMS, 1966). Sendo assim, tais caracteres fazem parte dos componentes de produção, ou seja, quanto maior o valor destes, maior é o valor da produtividade de grãos do genótipo, o que facilita a seleção de genótipos superiores, com maior eficiência.

O número de nós relaciona-se diretamente com a competição que ocorre entre as plantas de soja pelos fatores de crescimento do ambiente, em especial a luz, que determina o maior ou menor número de ramificações (TORRES et al., 2015). Cultivares de tecnologia RR apresentaram média de 16 nós por planta em relação as cultivares de tecnologia IPRO com média de 14 nós por planta.

Acredita-se que um aumento na quantidade de nós poderia potencializar a produtividade devido há um maior número de inserção das estruturas reprodutivas (OHYAMA et al., 2013).

Estudos mostram que o ganho em produtividade em função do número de nós só seria eficiente se ocorresse um incremento no pegamento de flores e vagens o que iria acarretar um maior número de vagens e sementes (SOARES et al.,2017). Isto porque o número de sementes e vagens está associado a atividade fotossintética ou a taxa de crescimento da cultura entre os estádios de florescimento e enchimento de grãos (EGLI, 2010). Assim, a fotossíntese e a disponibilidade de água nestas fases se torna mais importante na determinação do número final de vagens do que o número de nós das plantas (EGLI, 2013). Foi observado um maior número de nós e vagens em cultivares RR em relação a cultivares IPRO, o que comprova a veracidade dos estudos citados (TABELA 4).

No entanto, observa-se que os genótipos que apresentaram maior número de vagens não possuem maior número de nós, embora possuam boa performance no rendimento de grãos. Silveira et al. (2006), visando a selecionar genótipos de soja para a região de Jaboticabal (SP), verificaram que o número de vagens por planta variou de 95 a 36, obtidas pelas linhagens JB-940201 e JAB-11, porém a produtividade de grãos foi de 2.800 kg ha<sup>-1</sup> e 3.883 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo a JAB-11 um dos genótipos com desempenho produtivo mais elevado e potencialmente útil para o cultivo na região. O número de vagens das cultivares estudadas variou de 56 a 28 vagens por planta. Da mesma forma como foi observado por Silveira et al. (2006), a cultivar com maior número de vagens, 56 vagens/planta, cultivar 5, não foi a mais produtiva dentre as cultivares, produzindo 4331,52 kg.ha<sup>-1</sup>. A cultivar 9, com produtividade de 4787,10 kg.ha<sup>-1</sup> apresentou média de 49 vagens/planta.

Estes resultados são um reflexo do que ocorreu durante todo o ciclo fisiológico da planta. Se durante o ciclo, houver um aproveitamento eficaz de luz, água e nutrientes, a planta corresponderá com altas taxas de crescimento e consequente direcionamento dos transportadores de fotoassimilados para os órgãos reprodutivos, o que auxilia na maximização da produtividade (COMAS et al., 2013; SOARES, et al., 2017). Assim, ao passo que ocorre um estímulo das células meristemáticas que formam as estruturas reprodutivas os componentes de produção, tais como número de vagens e nós, serão definidos, interferindo nos resultados de produtividade.

Outro caráter importante é a altura da planta na maturidade, pois exerce grande efeito indireto sobre a produtividade de grãos da soja por meio do número de vagens, podendo este ser utilizado na seleção indireta para produtividade de grãos (ALCANTARA NETO et al., 2018; ALMEIDA; PELUZIO; AFFERRI, 2010).

Durante os testes para liberação comercial da soja MON 87701 x MON 89788, valores médios das características fenotípicas e agronômicas em duas safras consecutivas com as sojas GM, a obtida por cruzamento e suas parentais mono modificadas, comparadas às sojas convencionais, controle e referências comerciais, não diferiram significativamente, exceto para a altura de plantas de soja MON 89788. No entanto, esta diferença manteve-se dentro do intervalo de variação estabelecido para este parâmetro em referências comerciais plantadas sob as mesmas condições. A diferença foi atribuída à variabilidade genética entre cultivares de soja, assim como pode-se observar para as cultivares em questão. E com isto concluíram que inexistem efeitos adversos nas características fenotípicas e agronômicas da soja com genes piramidados, MON 87701 x MON 89788, provenientes das modificações genéticas individuais após introdução de genes de resistência a insetos e de tolerância ao herbicida glifosato, bem como da presença dos dois fatores na mesma planta.

Apesar de ser característica do genótipo, o parâmetro altura de plantas sofre influência ambiental principalmente da época de semeadura, fertilidade e umidade do solo. Quando semeada na época recomendada tende a ter sistema radicular mais profundo, aumentando sua tolerância à seca, e uma altura menor, entre 60 e 120 cm, considerada adequada à colheita mecânica, assim como os resultados encontrados neste estudo, cuja média geral da altura de plantas foi 77,89 cm (PITOL & BROCH, 2012; GUIMARÃES et al., 2008). O ciclo também influencia na altura segundo alguns estudos que comprovam que cultivares de ciclo mais longo possuem maior altura em virtude de um período maior para desenvolvimento e crescimento vegetativo (MOTTA et al., 2000; LEMOS et al., 2011). Observa-se que os valores médios da altura de cultivares de cada ciclo corrobora com estes estudos, pois as cultivares precoces apresentaram altura média de 70,11 cm enquanto que as cultivares de ciclo médio e tardio apresentaram altura média de 80,13 cm e 79,81 cm (TABELA 3).

A altura também é influenciada pelo tamanho das sementes. Sementes menores, embora possuam atuação no aumento do rendimento da semeadura, originam plantas com menor altura e

menor produtividade segundo Pádua et al. (2010). Esta característica foi observada quando plantas mais baixas produziram sementes com menor peso de 1000 sementes neste trabalho a exemplo da cultivar 7 a qual com altura de 60,86, a menor dentre as cultivares, produziu sementes com 126,5g no peso de 1000 sementes.

Da mesma forma que os fatores ambientais interferem na altura de plantas, interferem também na inserção da primeira vagem, que embora possa ocorrer em grande variabilidade, obtendo-se valores com grande amplitude, é um parâmetro essencial no que diz respeito a colheita mecanizada. Para que a altura de inserção da primeira vagem não confira perdas à colheita, é ideal que esta esteja inserida a pelo menos 10 cm do solo (PÁDUA et al., 2014). Porém, para a maioria das lavouras de soja, a altura de inserção da vagem mais satisfatória está em torno de 15 cm, embora as colhedoras mais modernas possam efetuar a colheita com plantas apresentando altura de inserção em torno de 10 cm (HEIFFIG & CÂMARA, 2006). Segundo as análises, todas as cultivares estudadas estão aptas a serem colhidas mecanicamente, tanto pela altura das plantas quanto pelo inserção do primeiro legume, uma vez que esta foi acima de 11,26 cm.

Nas regiões com altitudes superiores a 800 m não há grandes limitações de porte de planta. Por outro lado, aumentam os problemas de acamamento. Nesse caso, sementeiras no início ou no final da época indicada para cada cultivar resultam em menor acamamento (CARVALHO E REZENDE, 2007). Embora a cidade de Lavras esteja situada à 918 metros de altitude, não houve significância do fator acamamento, as cultivares apresentaram notas 1, plantas totalmente eretas e 2, plantas levemente tombadas. Este resultado pode estar ligado ao fato do plantio ter sido realizado ao final do período indicado à sementeira das cultivares para o clima Cwa, ou seja, na última semana de novembro, e à tolerância das cultivares estudadas ao acamamento.

Alguns autores associam os componentes de produção ao ciclo de maturação ou ciclo reprodutivo pois acreditam que cultivares de diferentes grupos de maturação apresentam características fisiológicas distintas que determinam a resposta ao ambiente de produção e consequentemente a produtividade (SOARES et al., 2017). Neste estudo, quando se observa os resultados das cultivares classificadas como de ciclo precoce, médio e tardio nota-se que as cultivares de ciclo tardio apresentaram médias inferiores as demais nas variáveis produtividade, número de nós e vagens, assim como Soares et al. (2017) (TABELA 3).

Estes resultados contrapõem-se à premissa de que um maior período de produção de fotoassimilados resulte em um maior potencial produtivo, proposta por Van Roekel et al. (2015). Além disso, percebe-se, com estes valores, que o potencial fisiológico das plantas de soja não é induzido pela quantidade de luz ou maior exposição a ela em função do maior ou menor ciclo vegetativo e reprodutivo e sim pela qualidade da luz e resposta da planta aos estímulos da radiação, nutrição e disponibilidade de água. Isto é, o potencial fisiológico da planta de soja é dependente do genótipo e é induzido pela porcentagem de radiação ativa e eficiência do processo fotossintético nas diversas fases de desenvolvimento da planta, desde a alongação da haste principal e expansão foliar ao número de nós, ramos, pegamento de flores e vagens e formação de sementes (CÂMARA, 2016).

Tais explicações podem ser comprovadas com os dados de capacidade fotossintética das plantas através dos teores de clorofila a, b e total, da razão entre as clorofilas a e b, e dos teores de nutrientes das plantas.

Não houve diferenças significativas quando se analisou separadamente as clorofilas a e b, cujas médias gerais dos índices de clorofila Falker foram 351,19 e 141,99. No entanto, a análise da clorofila total e da razão entre as clorofilas a e b mostrou uma diferença significativa entre as cultivares, o que nos permite relacionar os dados obtidos através da leitura do clorofilômetro, que oferece o teor relativo de clorofila de forma rápida e não destrutiva, com a eficiência fotossintética das plantas, seu crescimento e adaptabilidade a diferentes ambientes (SORDI, et al., 2017). De acordo com os resultados, as cultivares 1 e 4 possuem um maior teor de clorofila total que esta diretamente correlacionado às propriedades de fluorescência das moléculas de clorofila (TABELA 4). Isto significa que a eficiência na captura de energia de excitação pelos centros de reação dos fotossistemas pode representar a eficiência quântica dos transportadores de elétrons através do fotossistema sendo um fator válido para danos inibitórios (CORREA & ALVES, 2010). Esta eficiência, uma vez prejudicada, seja pela ação de genes ou por estímulos externos, reduz o aproveitamento de fotoassimilados pelas clorofilas e carotenoides.

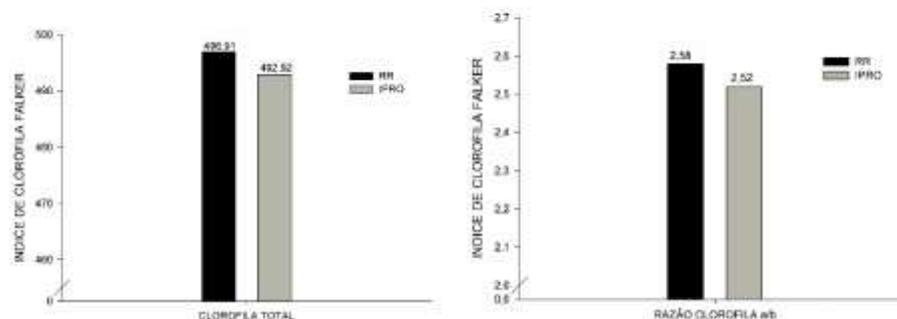
Tabela 4. Resultados médios da eficiência fotossintética: clorofila total (Clor. total) e Razão clorofila a/b (Razão Clor. a/b) de cultivares de soja RR e IPRO, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras - MG.

<b>Tecnologia</b>	<b>Cultivares</b>	<b>Clor, Total</b>	<b>Razão Clor. a/b</b>
RR	1	530,23 a	2,53 c
RR	2	486,80 c	2,67 b
RR	3	475,36 c	2,49 c
RR	4	530,6 a	2,40 c
RR	5	486,36 c	2,45 c
RR	6	491,23 c	2,62 b
RR	7	472,90 c	2,88 a
IPRO	8	503,63 b	2,38 c
IPRO	9	515,03 b	2,39 c
IPRO	10	475,60 c	2,61 b
IPRO	11	487,50 c	2,53 c
IPRO	12	484,90 c	2,66 b
IPRO	13	502,96 b	2,44 c
IPRO	14	480,83 c	2,62 b
<b>CV(%)</b>		2,20	13,78

\*As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Do Autor (2020)

Acredita-se que o baixo teor de clorofila das cultivares IPRO em relação as cultivares RR, segundo o contraste realizado para os grupos de cultivares RR e IPRO, apresentados na figura 4, é devido a inserção do gene Cry 1Ac derivado de *Bacillus thuringiensis* cuja expressão confere resistência a certos lepidopteros (BERMAN et al., 2009). No entanto alguns trabalhos não detectaram esta diferença, ao estudarem a eficiência fotossintética de plantas de soja Bt e não Bt, Fonseca et. al. (2013) concluíram que a tecnologia Bt não influenciou o teor de clorofila. Haja vista que o fator cultivar pode influenciar o teor de clorofila da planta, pois as folhas de uma dada cultivar tendem a ter certas características, como espessura, conteúdo de pigmento e estrutura interna, funções morfológicas que podem influenciar nas propriedades espectrais das folhas (MINOTTI et al., 1994).

Figura 4 - Contraste ortogonal entre os grupos de cultivares RR e IPRO para os parâmetros Teor de clorofila total (A) e Razão entre a clorofila a e b (B), ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras - MG. \*Significância à 1% de probabilidade.



Fonte: Do Autor (2020)

O gene foi inserido, segundo a patente, em uma região do cloroplasto, estrutura celular na qual são encontrados os pigmentos responsáveis pela absorção da energia luminosa (GAO et al., 2013). Este fato pode causar diferenças potenciais tanto na eficiência fotossintética quanto nutricionais das plantas. Quanto a eficiência fotossintética, pode-se observar nos resultados obtidos neste trabalho um menor desempenho das cultivares IPRO, cuja média de clorofila total e razão clorofila a/b das cultivares RR é de 496,91 e 2,58 e das cultivares IPRO 492,92 e 2,52 (FIGURAS 4 E 5). Embora a diferença seja mínima, a eficiência de absorção luminosa é comprometida, visto que apenas 1,3% da radiação incidente na Terra é utilizada pelas plantas para a fotossíntese e que, por ser uma planta C3, a soja é menos eficiente na utilização da radiação em comparação à plantas C4 (CASAROLI et al., 2007).

É importante salientar que a baixa eficiência fotossintética reflete nas características agrônomicas da planta, principalmente aquelas relacionadas aos componentes de produção: produtividade, número de vagens e número de nós (FIGURA 2 E 3). E que embora a capacidade produtiva de uma planta dependa de sua constituição genética, a externalização desse traço agrônomico está ligado às condições do ambiente do cultivo (ROCHA et al., 2012; AMORIM et al., 2011). Foi observado pelos resultados que as adversidades climáticas tais como irregularidades na distribuição de chuvas e oscilações de temperatura comprometem o desenvolvimento da cultura que juntamente com fatores genotípicos culminam na expressão do fenótipo. Por isso é necessário analisar as possibilidades que a região impõe no momento da escolha da cultivar bem como o

objetivo do produtor em relação à safra como, por exemplo, desocupação da área, evitar períodos de estiagem no momento da produção, logística operacional com relação ao escalonamento de colheita tanto na produção de grãos quanto na produção de sementes, ao escoamento da produção e à armazenabilidade dos grãos e sementes.

As diferenças nutricionais também são manifestadas no teor de clorofila. As clorofilas possuem uma estrutura de anel tipo porfirina com um íon de magnésio coordenado no centro e uma longa cauda de hidrocarbonetos hidrofóbicos que as ancora nas membranas fotossintéticas (TAIZ et al., 2017).

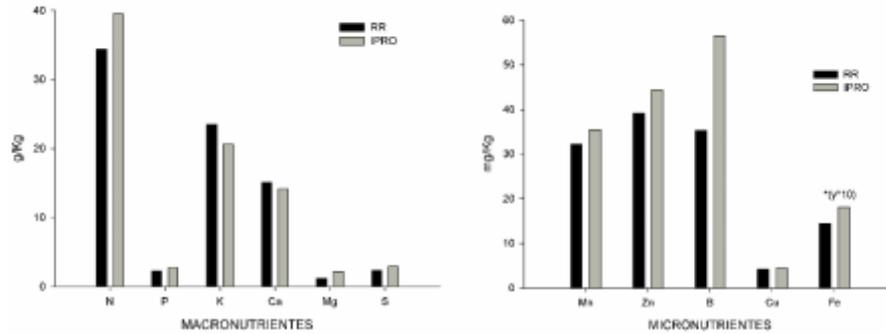
Cerca de 70% do nitrogênio, parte componente do anel tipo porfirina presente nas clorofilas, é incorporado nas enzimas do cloroplasto relacionadas à fotossíntese. Se este nitrogênio não é sintetizado na formação das clorofilas, a fotossíntese, a produção e transporte de fotoassimilados, as taxas de crescimento de folhas e raízes e a formação de raízes será influenciada negativamente (SCHLICHTING et al., 2015; BARBIERI JÚNIOR et al., 2012). Este fato pode ser observado pela análise dos níveis de N das cultivares IPRO, em que 6 das 7 cultivares IPRO estudadas possuem índices de N mais elevados em suas folhas em relação as cultivares RR (TABELA 5).

Tabela 5 - Resultados da Análise Foliar de cultivares de soja RR e IPRO, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras – MG.

Cultivares	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	B	Cu	Fe
	g/Kg						mg/Kg				
1	36,4	2,2	23,3	15,2	1,2	2,4	38,7	38,1	46,1	5,2	162,2
2	39,3	2,4	22,4	18,8	1,5	2,5	35,4	41,6	34,1	4,4	216,4
3	38,6	2,3	23,5	16	1,2	2,3	30	44	30,2	4,7	129,9
4	38,8	2,6	23,1	12,2	0,9	2,5	29,2	41,2	35,3	4,6	157
5	40,1	2,2	23,6	12,1	1,1	2,4	37,7	38,6	32,3	3,6	189,6
6	10,3	1,9	26,8	13	1,4	2,3	27,7	34,2	33	3,5	154,7
7	37,2	2,2	21,8	18,5	1,1	2,2	27,1	36,1	35,5	3,8	178,2
8	43	2,9	18,8	16,2	1,8	2,6	32,9	41,3	24	4,1	237,8
9	41	2,8	21	16,8	1,6	2,5	35,3	52,3	26,1	4,5	182,2
10	41,5	2,9	19,5	2	2,0	2,6	34,9	42,9	40,8	4,4	153,6
11	43,3	2,8	21,2	16,6	1,6	2,6	33,9	36	121,3	4,1	151,5
12	39,6	2,6	19,3	17,5	2,0	2,5	42,1	51	59,4	5,3	163,6
13	27,8	2,7	22,0	16,5	1,5	2,4	35,9	44,4	89,8	4,7	176,6
14	40,3	2,4	22,8	13,5	1,2	2,4	33,5	42,6	34,4	4,0	205,1

Fonte: Departamento de Ciência do solo (2017)

Figura 5 - Resultado da Análise Foliar para macro e micronutrientes de cultivares de soja RR e IPRO, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras – MG.



Fonte: Do Autor (2020)

Embora haja maior teor de N no grupo de cultivares RR, a eficiência fotossintética é menor, ou seja, este composto está sendo transportado para o cloroplasto porém não está havendo a síntese em clorofila. Este fato pode estar ligado à presença do gene que confere à resistência à insetos, o qual pode estar tanto direcionando a síntese do N para a formação de outros compostos das folhas, tais como proteínas estruturais e enzimas, quanto reduzindo a translocação deste nutriente e dos demais, o que explica também a menor produtividade e desempenho de algumas cultivares IPRO, que ainda não passaram por um refinamento de características no melhoramento genético, já que alguns autores relatam a interdependência entre os compostos nitrogenados, a clorofila e o desempenho produtivo da cultura (FIGURA 5) (SOUZA et al., 2015).

O mesmo comportamento do nitrogênio foi notado para o magnésio (Figura 5). Segundo Taiz et al. (2017), a concentração de nutrientes de uma amostra é dependente do balanço entre a absorção e a diluição do nutriente ao longo do crescimento vegetal o que irá influenciar na produtividade e desempenho da planta no campo. No caso das plantas cujo gene Cry1Ac foi inserido, este balanço está comprometido devido a possíveis distúrbios fisiológicos da planta.

O manganês também desempenha importante papel na fotossíntese das plantas, mais precisamente na síntese de clorofila e na cadeia de transporte de elétrons (DECHEN; NCHTIGALL, 2006). O fato das cultivares IPRO apresentarem um maior teor de Mn nas folhas indica uma menor translocação via floema deste composto nestas plantas devido a alterações genéticas (LOCKER et al., 2010), porém, pode também estar condicionado a uma menor

concentração deste nutriente em genótipos de soja RR, como sugerem alguns autores que indagam a possibilidade do glifosato formar compostos insolúveis com o manganês reduzindo a absorção e disponibilidade deste composto, bem como um aumento da oxidação do Mn na presença do glifosato (FIGURA 5)(BERNARDS et al., 2005; BARRETT; MCBRIDE, 2005).

#### **4 CONCLUSÕES**

O nível de melhoramento genético das cultivares IPRO é insipiente em relação as cultivares RR.

A capacidade fotossintética das cultivares IPRO pode ser afetada pela inserção do gene Cry1Ac refletindo nos componentes de produção: produtividade, número de vagens e número de nós.

A utilização de nutrientes ligados ao processo fotossintético, N, Mg e Mn, pelo grupo de cultivares de soja IPRO é menos eficiente em comparação ao grupo de cultivares RR.

As cultivares mais indicadas, levando-se em consideração o ciclo de maturação para clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, dentre os genótipos estudados, são cultivar 3 RR de ciclo precoce, cultivar 2 RR de ciclo médio e cultivar 9 IPRO de ciclo tardio.

As cultivares 1 e 6 de tecnologia RR e ciclo médio e as cultivares 8 e 12 de tecnologia IPRO e ciclo tardio não são indicadas para o plantio em clima Cwa.

A eficiência fotossintética das cultivares de ciclo precoce e médio é maior que a verificada nas cultivares de ciclo tardio.

**AGRADECIMENTOS:** À CAPES, ao CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA NETO, Francisco de; TAVARES, Silvana de Oliveira; LEITE, Wallace de Sousa; SILVA, José Algaci Lopes da; MATOS FILHO, Carlos Humberto Aires; GRAVINA, Geraldo de Amaral. Grain yield, adaptability and stability of soybean genotypes in different Cerrado environments of Piauí, Brazil. **Comunicata Scientiae**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 226-234, 1 ago. 2018. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/cs.v9i2.2674>.

ALLIPRANDINI, Luís Fernando; ABATTI, Claudiomir; BERTAGNOLLI, Paulo Fernando; CAVASSIM, José Elzevir; GABE, Howard Lewis; KUREK, Andreomar; MATSUMOTO, Marcos Norio; OLIVEIRA, Marco Antonio Rott de; PITOL, Carlos; PRADO, Luís Cláudio. Understanding Soybean Maturity Groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. **Crop Science**, [s.l.], v. 49, n. 3, p. 801-808, maio 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2008.07.0390>.

ALMEIDA, Ricardo Dias de; PELUZIO, Joênes Mucci; AFFÉRI, Flávio Sérgio. Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no sul do estado Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, [s.l.], v. 42, n. 1, p. 108-115, mar. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902011000100014>.

AMORIM, Flavia Aparecida; HAMAWAKI, Osvaldo Toshiyuki; SOUSA, Larissa Barbosa de; LANA, Regina Maria Quintao; HAMAWAKI, Cristina Divina Lemes. Época de semeadura no Potencial produtivo de Soja em Uberlândia-MG. **Semina: Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 32, n. , p. 1793-1802, 6 dez. 2011. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32suplp1793>.

BARBIERI JUNIOR, Élio; ROSSIELLO, Roberto Oscar Pereyra; SILVA, Rosani Valéria Marcelina Matoso; RIBEIRO, Roberta Cristiane; MORENZ, Mirton José Frota. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 42, n. 12, p. 2242-2245, 9 out. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782012005000109>.

BARRETT, K. A.; MCBRIDE, M. B.. Oxidative Degradation of Glyphosate and Aminomethylphosphonate by Manganese Oxide. **Environmental Science & Technology**, [s.l.], v. 39, n. 23, p. 9223-9228, dez. 2005. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es051342d>.

BERMAN, Kristina H.; HARRIGAN, George G.; RIORDAN, Susan G.; NEMETH, Margaret A.; HANSON, Christy; SMITH, Michelle; SORBET, Roy; ZHU, Eddie; RIDLEY, William P.. Compositions of Seed, Forage, and Processed Fractions from Insect-Protected Soybean MON 87701 Are Equivalent to Those of Conventional Soybean. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [s.l.], v. 57, n. 23, p. 11360-11369, 9 dez. 2009. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf902955r>.

BERNARD, R. L. *et al.* **Results of the cooperative uniform soybeans tests**. Washington: Usda, 1965. 134 p.

BERNARDS, Mark L.; THELEN, Kurt D.; PENNER, Donald; MUTHUKUMARAN, Rajendra B.; MCCRACKEN, John L.. Glyphosate interaction with manganese in tank mixtures and its effect on glyphosate absorption and translocation. **Weed Science**, [s.l.], v. 53, n. 6, p. 787-794, nov. 2005. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1614/ws-05-043r.1>.

BRASIL. Constituição (2005). Lei nº 11105, de 24 de março de 2005. Dispõe sobre Regulamenta os incisos II, IV e V do parágrafo 1º do art. 225 da Constituição Federal e dá outras providências. **Lei de Biossegurança**. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil., 24 mar. 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DA REFORMA AGRÁRIA. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília: Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395 p.

CÂMARA, Gil Miguel de Sousa. **Introdução ao agronegócio: soja**. Piracicaba: Esalq, 2016.

CASAROLI, Derblai *et al.* Radiação Solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja: uma revisão. **Revista da Fzva**, Uruguaiana, v. 14, n. 2, p. 102-120, jan. 2007.

COMAS, Louise H. *et al.* Root traits contributing to plant productivity under drought. **Frontiers In Plant Science**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 1-12, 5 nov. 2013. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2013.00442>.

CORRÊA, Maria José Pinheiro; ALVES, Pedro Luís da Costa Aguiar. Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 34, n. 5, p. 1136-1145, out. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542010000500009>.

DALL'AGNOL, Amélio. **O complexo agroindustrial da soja brasileira**. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

DANTAS, Antonio Augusto Aguiar; CARVALHO, Luiz Gonsaga de; FERREIRA, Elizabeth. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 31, n. 6, p. 1862-1866, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542007000600039>.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R.. MICRONUTRIENTES. In: DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R.. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

DUFFY, Mike. Who benefits from biotechnology? **American Seed Trade Association Meeting**. Chicago, p. 5-7. dez. 2001.

DUFFY, Mike; ERNST, Matt. Does planting GMO seed boost farmers' profits? **Leopold Letter: A NEWSLETTER OF THE LEOPOLD CENTER FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE**. Iowa, p. 4-5. abr. 1999.

EGLI, D. B.. Soybean Reproductive Sink Size and Short-term Reductions in Photosynthesis during Flowering and Pod Set. **Crop Science**, [s.l.], v. 50, n. 5, p. 1971-1977, set. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2009.09.0518>.

EGLI, D. B.. The Relationship between the Number of Nodes and Pods in Soybean Communities. **Crop Science**, [s.l.], v. 53, n. 4, p. 1668-1676, jul. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2012.11.0663>.

FALKER, Automação Agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker, 2008. 33 p.

FAO, Food And Agriculture Organization. **Population Estimation and Projection**. 2014. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/550/DesktopDefault.aspx?PageID=550> \l“ancor. Acesso em: 12 fev. 2015.

FERRÉ, Juan; VAN RIE, Jeroen. Biochemistry and Genetics of Insect Resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review Of Entomology**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 501-533, jan. 2002. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145234>.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 38, n. 2, p. 109-112, abr. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542014000200001>.

FONSECA, Paulo Rogério Beltramin da; FERNANDES, Marcos Gino; JUSTINIANO, Wagner; CAVADA, Leonardo Hiroito; SILVA, João Alfredo Neto da. Leaf Chlorophyll Content and Agronomic Performance of Bt and Non-Bt Soybean. **Journal Of Agricultural Science**, [s.l.], v. 5, n. 12, p. 1-32, 14 nov. 2013. Canadian Center of Science and Education. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n12p117>.

GAO, A. G. *et al.* **Soybean Plant And Seed Other Publications Corresponding To Transgenevent Mon87701 And Methods For Detection Thereof**. . US n. US 8455198. Depósito: 31 out. 2011. Concessão: 4 jun. 2013.

GUIMARÃES, Fabrício de Souza; REZENDE, Pedro Milanez de; CASTRO, Evaristo Mauro de; CARVALHO, Eudes de Arruda; ANDRADE, Messias José Bastos de; CARVALHO, Everson Reis. Cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para cultivo de verão na região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 32, n. 4, p. 1099-1106, ago. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542008000400010>.

HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. de. **Soja: colheita e perdas**. Piracicaba: Esalq, 2006. 37 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA INMET. **Série climatológica**. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 12 jun. 2018.

LEMONS, L. B. *et al.* Desempenho agrônômico e produtivo de cultivares de soja em diferentes safras. **Cientifica**, Jaboticabal, v. 39, n. 1/2, p. 44-51, out. 2011.

LIMA, Isabela Pereira de; BRUZI, Adriano Teodoro; BOTELHO, Flávia Barbosa Silva; ZAMBIAZZI, Everton Vinicius; SOARES, Igor Oliveri; ZUFFO, Alan Mario. Performance of Conventional and Transgenic Soybean Cultivars in the South and Alto Paranaíba Regions of Minas Gerais,

Brazil. **American Journal Of Plant Sciences**, [s.l.], v. 06, n. 09, p. 1385-1390, 2015. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.69138>.

LIMA, Wilmar Ferreira; PÍPOLO, Antonio Eduardo; MOREIRA, José Ubirajara Vieira; CARVALHO, Claudio Guilherme Portela de; PRETE, Cássio Egídio Cavenaghi; ARIAS, Carlos Alberto Arrabal; OLIVEIRA, Marcelo Fernandes de; SOUZA, Geraldo Estevam de; TOLEDO, José Francisco Ferraz de. Interação genótipo-ambiente de soja convencional e transgênica resistente a glifosato, no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 43, n. 6, p. 729-736, jun. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2008000600009>.

LOECKER, Jami L.; NELSON, Nathan O.; GORDON, W. Barney; MADDUX, Larry D.; JANSSEN, Keith A.; SCHAPAUGH, William T.. Manganese Response in Conventional and Glyphosate Resistant Soybean. **Agronomy Journal**, [s.l.], v. 102, n. 2, p. 606-611, mar. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2009.0337>.

MATAVELI, Lidiane Raquel Verola; POHL, Pawel; MOUNICOU, Sandra; ARRUDA, Marco Aurélio Zezzi; SZPUNAR, Joanna. A comparative study of element concentrations and binding in transgenic and non-transgenic soybean seeds. **Metallomics**, [s.l.], v. 2, n. 12, p. 800, 2010. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c0mt00040j>.

MAUAD, M. *et al.* Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 9, p. 175-181, ago. 2010.

MCDONALD, M. B.. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science And Technology**, Zurich, v. 27, n. 1, p. 177-237, jan. 1999.

MIKLOS, John A.; ALIBHAI, Murtaza F.; BLEDIG, Stefan A.; CONNOR-WARD, Dannette C.; GAO, Ai -guo; HOLMES, Beth A.; KOLACZ, Kathryn H.; KABUYE, Victor T.; MACRAE, Ted C.; PARADISE, Mark S.. Characterization of Soybean Exhibiting High Expression of a Synthetic Bacillus thuringiensis cry1A Transgene That Confers a High Degree of Resistance to Lepidopteran Pests. **Crop Science**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 148-157, jan. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2006.07.0463>.

MINOTTI, P.I.; HALSETH, D.e.; SIECZKA, J.b.. Field Chlorophyll Measurements to Assess the Nitrogen Status of Potato Varieties. **Hortscience**, [s.l.], v. 29, n. 12, p. 1497-1500, dez. 1994. American Society for Horticultural Science. <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci.29.12.1497>.

MOTTA, I.s.; BRACCINI, A.I.; SCAPIM, C.a.; GONÇALVES, A.c.a.; BRACCINI, M.c.l.. Características agronômicas e componentes da produção de sementes de soja em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 22, n. 2, p. 153-162, 30 dez. 2000. Revista Brasileira de Sementes. <http://dx.doi.org/10.17801/0101-3122/rbs.v22n2p153-162>.

NEPOMUCENO, Alexandre Lima. Técnicas Inovadoras de Melhoramento de precisão. **Anuário Abrasem**. Londrina, p. 8-11. set. 2018.

NEVES, Josynaria Araújo; SILVA, José Algaci Lopes da; BARBOSA, Douglas Rafael e Silva; SEDIYAMA, Tuneo; TEIXEIRA, Rita de Cássia; ROCHA, Renato Santos. Agronomic Performance of Soybean Genotypes in Low Latitude in Teresina-PI, Brazil. **Journal Of Agricultural Science**, [s.l.], v. 5,

n. 3, p. 243-253, 17 fev. 2013. Canadian Center of Science and Education. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n3p243>.

OHYAMA, Takuji; MINAGAWA, Ritsuko; ISHIKAWA, Shinji; YAMAMOTO, Misaki; HUNG, Nguyen van Phi; OHTAKE, Norikuni; SUEYOSHI, Kuni; SATO, Takashi; NAGUMO, Yoshifumi; TAKAHASHI, Yoshihiko. Soybean Seed Production and Nitrogen Nutrition. **A Comprehensive Survey Of International Soybean Research - Genetics, Physiology, Agronomy And Nitrogen Relationships**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 20-32, 2 jan. 2013. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/52287>.

OLIVEIRA, K. G. *et al.* EFEITO DOS FATORES CLIMÁTICOS NO COMPORTAMENTO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DA SOJA: um estudo nas principais cidades produtoras brasileiras no período de 2005 a 2015. **Revista Conhecimento Contábil**, Mossoró, v. 4, n. 1, p. 38-61, jan. 2017.

PADGETTE, Stephen R.; TAYLOR, Nancy Biest; NIDA, Debbie L.; BAILEY, Michele R.; MACDONALD, John; HOLDEN, Larry R.; FUCHS, Roy L.. The Composition of Glyphosate-Tolerant Soybean Seeds Is Equivalent to that of Conventional Soybeans. **The Journal Of Nutrition**, [s.l.], v. 126, n. 3, p. 702-716, 1 mar. 1996. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jn/126.3.702>.

PÁDUA, Gilda Pizzolante de; FRANÇA-NETO, José de Barros; ROSSI, Rubiana Falopa; CÂNDIDO, Humberto Gois. Agroclimatic zoning of the state of Minas Gerais for the production of high quality soybean seeds. **Journal Of Seed Science**, [s.l.], v. 36, n. 4, p. 413-418, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v36n41023>.

PÁDUA, Gilda Pizzolante de; ZITO, Roberto Kazuhiko; ARANTES, Neylson Eustáquio; FRANÇA NETO, José de Barros. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 32, n. 3, p. 9-16, set. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222010000300001>.

PELAEZ, V.; ALBERGONI, L.; GUERRA, M. P.. Soja transgênica versus soja convencional:: uma análise comparativa de custos e benefícios.. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 279-309, Não é um mês valido! 2004.

PINCHINAT, A. M.; ADAMS, M. W.. Yield Components in beans, as affected by intercrossing and neutron irradiation. **Agriculture**, Turrialba, v. 16, n. 3, p. 247-252, jan. 1966.

PITOL, C.; BROCH, D. L.. Soja: lavoura mais produtiva e tolerante à seca. **Fundação MS: Boletim técnico**, Mato Grosso do Sul, v. 6, n. 1, p. 140-146, abr. 2012.

REZENDE, Pedro Milanez de; CARVALHO, Eudes de Arruda. Avaliação de cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill] para o sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 31, n. 6, p. 1616-1623, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542007000600003>.

RIBEIRO, A. C.; GUMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H.. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RIGON, João Paulo Gonsiorkiewicz; CAPUANI, Silvia; BELTRÃO, Napoleão de Esberard Macêdo; BRITO NETO, José Félix; SOFIATTI, Valdinei; FRANÇA, Fabíola Vanessa. Non-destructive determination of photosynthetic pigments in the leaves of castor oil plants. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s.l.], v. 34, n. 3, p. 1-29, 3 maio 2012. Universidade Estadual de Maringa. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v34i3.13872>.

RNC - Registro Nacional de Cultivares. **Pesquisa de cultivares registradas**. 2019. Disponível em: [http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php). Acesso em: 12 dez. 2019.

ROCHA, Renato Santos; SILVA, José Algaci Lopes da; NEVES, Josynaria Araújo; SEDIYAMA, Tuneo; TEIXEIRA, Rita de Cássia. Desempenho agrônômico de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI. **Revista Ciência Agronômica**, [s.l.], v. 43, n. 1, p. 154-162, mar. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902012000100019>.

RSTUDIO. **RStudio: Integrated Development for R. RStudio**. 2015. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 25 nov. 2017.

SCHLICHTING, Alessana F.; BONFIM-SILVA, Edna M.; SILVA, Matheus de C.; PIETRO-SOUZA, William; SILVA, Tonny J. A. da; FARIAS, Lorraine do N.. Efficiency of portable chlorophyll meters in assessing the nutritional status of wheat plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 19, n. 12, p. 1148-1151, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1148-1151>.

SILVA, K.b.; BRUZI, A.t.; ZUFFO, A.m.; ZAMBIAZZI, E.v.; SOARES, I.o.; REZENDE, P.m. de; FRONZA, V.; VILELA, G.d.l.; BOTELHO, F.b.s.; TEIXEIRA, C.m.. Adaptability and phenotypic stability of soybean cultivars for grain yield and oil content. **Genetics And Molecular Research**, [s.l.], v. 15, n. 2, p. 1-15, 2016. Genetics and Molecular Research. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr.15026756>.

SILVA, K.b.; BRUZI, A.t.; ZAMBIAZZI, E.v.; SOARES, I.o.; PEREIRA, J.l.a.r.; CARVALHO, M.l.m.. Adaptability and stability of soybean cultivars for grain yield and seed quality. **Genetics And Molecular Research**, [s.l.], v. 16, n. 2, p. 1-15, 2017. Genetics and Molecular Research. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16029646>.

SILVEIRA, G. D. da et al. Seleção de genótipos de soja para a região de Jaboticabal (SP): ano agrícola 2003-2004. *Científica, Jaboticabal*, v. 34, n. 1, p. 92-98, ago. 2006.

SOARES, Luís Henrique; DOURADO NETO, Durval; FAGAN, Evandro Binotto; TEIXEIRA, Walquíria Fernanda; PEREIRA, Isabella Sabrina. Physiological, phenometric and productive changes in soybean crop due to the use of kinetin. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 80-86, mar. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632016v4742790>.

SORDI, André; SCHENEIDER, Fernando; PANIZZON, Luis Carlos; LAJÕS, Cristiano Reschke; CERICATO, Alceu; KLEIN, Claudia. EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DA CULTURA DA SOJA (Glycine max (L.) Merrill) SUBMETIDA A COINOCULAÇÃO. **Scientia Agraria**, [s.l.], v. 18, n. 4, p. 72, 20 dez. 2017. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i4.52047>.

SOUSA, Ricardo; CARVALHO, Mayani; SILVA, Maria Doroteia; GOMES, Sulimary; GUIMARAES, Wilon; ARAUJO, Ademir. LEITURAS DE CLOROFILA E TEORES DE N EM FASES FENOLÓGICAS DO MILHO. **Colloquium Agrariae**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 57-63, 10 jun. 2015. Associação Prudentina de Educação e Cultura (APEC). <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2015.v11.n1.a118>.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 722 p.

THE AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION. **Soybean: production and technology**. production and technology. 2020. Disponível em: <https://soygrowers.com>. Acesso em: 12 jan. 2020.

TORRES, F. E. *et al.* Desempenho agrônômico e dissimilaridade genética entre genótipos de soja. **Revista de Ciências Agrárias de Portugal**, Lisboa, v. 38, n. 1, p. 111-117, set. 2015.

VAN ROEKEL, Ryan J.; PURCELL, Larry C.; SALMERÓN, Montserrat. Physiological and management factors contributing to soybean potential yield. **Field Crops Research**, [s.l.], v. 182, p. 86-97, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.05.018>.

### **CAPÍTULO 3 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ATRATIVIDADE À INSETOS, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA DE DIFERENTES CULTIVARES TRÂNSGENICAS.**

**RESUMO** - A composição química de sementes é um fator genético que sofre influência de diversos fatores ambientais. Além dos fatores ambientais, a inserção de genes através de transgenia pode causar modificações na composição química das sementes e torná-las mais atrativas ao ataque de insetos que se alimentam das sementes. Objetivou-se avaliar a correlação entre a composição química de sementes de soja RR e IPRO e a porcentagem de danos causados por percevejos nas sementes diante do rendimento final da cultura e da qualidade fisiológica das sementes. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com 3 repetições para cada uma das 14 cultivares que compuseram os tratamentos, sendo 7 RR e 7 IPRO. Após a colheita determinou-se a produtividade, a viabilidade das sementes, pelo teste de germinação, e o vigor, pelo teste de tetrazólio. A composição química das sementes foi determinada pela análise centesimal das sementes, na qual foram medidos umidade, extrato etéreo, proteínas, carboidratos (fibras + fração glicídica) e minerais (cinzas). Para a quantificação das sementes atacadas por percevejos foi realizado o teste de tetrazólio. Maiores teores de proteína nas sementes proporcionam maior germinação e vigor, ao contrário de maiores teores de óleo. Há uma menor incidência de danos por percevejos em sementes com alta concentração proteica e maior ocorrência em sementes com altas concentrações de carboidratos. Cultivares IPRO são mais susceptíveis à incidência de percevejos quando comparadas a cultivares RR.

Palavras Chave: Glycine max, IPRO, Roundup Ready, tetrazólio.

## **CHEMICAL COMPOSITION, ATTRACTIVENESS TO INSECTS, PRODUCTION AND QUALITY OF SOYBEAN SEEDS FROM DIFFERENT TRANSGENIC CULTIVARS**

**ABSTRACT** - The chemical composition of seeds is a genetic factor that is influenced by several environmental factors. In addition to environmental factors, the insertion of genes through transgenics can cause changes in the chemical composition of the seeds and make them more attractive to attack by insects that feed on the seeds. The objective of this study was to evaluate the correlation between the chemical composition of RR and IPRO soybean seeds and the percentage of damage caused by bedbugs in the seeds given the final yield of the crop and the physiological quality of the seeds. A randomized block design with 3 replications was used for each of the 14 cultivars that composed the treatments, 7 RR and 7 IPRO. After the harvest, the productivity, the viability of the seeds were determined, through the germination test, and the vigor, through the tetrazolium test. The chemical composition of the seeds was determined through the centesimal analysis of the seeds, in which moisture, ether extract, proteins, carbohydrates (fibers + glycidic fraction) and minerals (ash) were measured. For the quantification of seeds attacked by bedbugs, the tetrazolium test was performed. Higher levels of protein in the seeds provide greater germination and vigor, in contrast to higher levels of oil. There is a lower incidence of damage by bedbugs in seeds with a high protein concentration and a higher occurrence in seeds with high concentrations of carbohydrates. IPRO cultivars are more susceptible to the incidence of bedbugs when compared to RR cultivars.

Keywords: Glycine max, IPRO, Roundup Ready, tetrazolium.

## 1 INTRODUÇÃO

A representatividade da cultura da soja na produção de alimentos e energia renovável, a torna indispensável para o abastecimento da agricultura mundial (SENTELHAS et al., 2015). Os altos teores de óleo e proteína somados aos níveis de produtividade de grãos, nos mais diversos ambientes, faz da soja uma das espécies mais importantes do mundo (PATIL et al.; 2017). A concentração de proteína e lipídeos na soja tem se tornado um fator determinante do valor da soja nos mercados doméstico e global, isto porque, o direcionamento dos programas de melhoramento genético tem sido feito com base na crescente demanda por cultivares a serem utilizadas na alimentação humana, com altos padrões industriais e alta palatabilidade, buscando teores elevados de metionina e cisteína, e reduzindo fatores antinutricionais tais como as lipoxigenases (ROTUNDO et al., 2009; SANTOS et al., 2018, MAHMOUD et al., 2016).

No entanto, estudos comprovam que um alto teor de proteína na composição da soja está associado a um menor rendimento da cultura e a uma correlação negativa com a produção de sementes, em que um aumento na concentração de proteína das sementes pode implicar na redução de cerca de 50% do número de sementes por planta e na baixa qualidade fisiológica das sementes produzidas (ROTUNDO, et al., 2009; FINOTO, et al., 2017).

Sabe-se que a qualidade fisiológica de sementes é determinada pela composição química das sementes, pois a disponibilidade de nutrientes durante o processo de formação e a disponibilidade de compostos de pronta utilização pelo embrião do indivíduo já formado podem afetar a germinação e os processos posteriores a este evento (DELARMELINO- FERRARES et al., 2014). E, embora a composição química de sementes seja controlada geneticamente, fatores bióticos e abióticos podem influenciar positiva ou negativamente nos teores de óleo e proteínas das sementes, tais como maturidade, estação de crescimento, localização geográfica e práticas agronômicas, refletindo na qualidade fisiológica de sementes bem como no rendimento final da cultura (BELLALLOUI et al., 2015).

A maior parte dos estudos atribuem os entraves discutidos, principalmente os relacionados a concentração proteica das sementes, ao suprimento nutricional e assimilação fotossintética da planta durante o processo de formação e enchimento das sementes (EGLI & BRUNING, 2007; NAEVE et al., 2008; ROTUNDO et al., 2009). Enquanto outros discutem que as condições

climáticas, determinadas pela época de semeadura, como temperatura e disponibilidade de água, e a posição da vagem na planta sujeita a um maior ou menor sombreamento, agem na modificação da concentração de óleo e proteína nas sementes (ALBRECHT et al., 2008; BARROS & SEDYAMA, 2009; BELLALLOUI & GILLEN, 2010; BRUNO et al., 2015; SALES et al., 2016; FINOTO et al., 2017).

Entretanto, faltam estudos que relacionem o baixo rendimento e a baixa qualidade fisiológica de sementes de soja a fatores externos que vão além das fases de formação e enchimento de sementes, tais como o ataque de insetos pragas no campo em decorrência da composição química de sementes de cultivares de soja melhoradas por meio da transgenia.

Atualmente, a maior parte da área cultivada de soja está focada no cultivo da soja Roundup Ready (RR) tolerante ao glifosato, cujo evento determinante é MON 89788 (THE AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION, 2019). A rápida adoção global da soja Roundup Ready está ligada à eficácia e eficiência de custo significativos no controle de plantas daninhas. Por meio da biotecnologia agrícola moderna, desenvolveu-se variedades de soja que contêm o cry1Ac, gene derivado de *Bacillus thuringiensis*, evento denominado MON 87701 (FERRE & VAN RIE, 2002; MIKLOS et al., 2007). A expressão da proteína Cry1Ac confere resistência a insetos. Ambos os eventos conferem características importantes para o melhoramento genético e produtos multitrait. Mais recentemente, o evento MON 87701 foi piramidado ao MON 89788 dando origem a soja MON 87701 x MON 89788 (RR2IPRO), que confere resistência a insetos e tolerância a herbicida.

A hipótese é que, devido à inserção do gene de interesse que confere tal resistência a insetos, houve uma diferenciação na composição química das sementes e consequente aumento da palatabilidade em cultivares de soja que causa uma maior atratividade de insetos que se alimentam das sementes, principalmente percevejos (BELORTE et al., 2003).

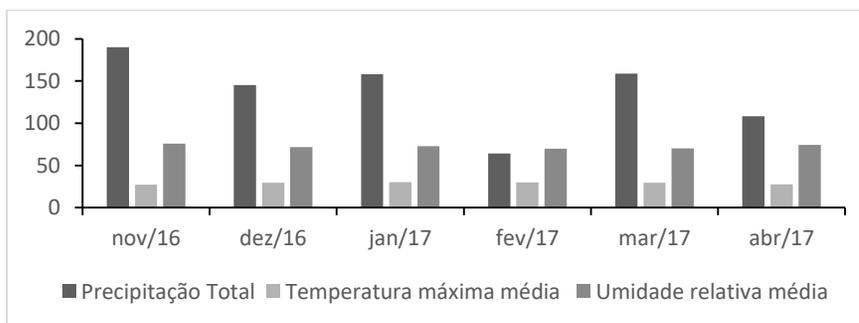
Diante do exposto, objetivou-se avaliar a correlação entre a composição química de sementes de soja RR e IPRO e a porcentagem de danos causados por percevejos nas sementes diante do rendimento final da cultura e da qualidade fisiológica das sementes.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Lavras, cuja produção de sementes foi realizada no campo experimental da universidade e as demais análises foram realizadas no Laboratório Central de Sementes do Departamento de Agricultura e no Laboratório de Análises Bromatológicas do Departamento de Ciência dos Alimentos, em Lavras, MG.

A cidade está localizada na Região Sul do estado de Minas Gerais, Brasil, Latitude 21° 14'S e Longitude 40° 17'W e a 918,8 m de altitude. O clima de Lavras, segundo a classificação climática de Köppen, é Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, temperatura do mês mais quente maior que 22°C (22,1°C em fevereiro). A precipitação anual normal é de 1.529,7 mm, sendo os maiores valores observados nos meses de dezembro (296 mm), janeiro (272 mm) e fevereiro (192 mm) (BRASIL, 1992; DANTAS et al., 2007). Para o período do plantio à colheita foram registrados dados de precipitação total, temperatura média, e umidade relativa apresentados na Figura 1.

Figura 1: Série Climatológica de Lavras de novembro de 2016 à abril de 2017, com dados de precipitação total, temperatura máxima média e umidade relativa.



Fonte: INMET (2017)

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2016/17 em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, com características físico químicas segundo a Análise de solo apresentados na Tabela 1. A área escolhida para o plantio foi de fertilidade construída por meio de sistema de plantio direto. Utilizou-se adubação formulada N-P-K 02-20-18, segundo recomendação adequada para a cultura da soja no sulco de plantio (RIBEIRO, 1999).

Tabela 1 - Análise química e física do solo da área experimental, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras-MG.

Propriedades Químicas		Resultados	
		0-20	20-40
pH	H <sub>2</sub> O	5,8	5,3
Ca <sup>++</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> )		3,69	1,89
Mg <sup>++</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> )		0,63	0,33
Al <sup>+++</sup>		0,10	2,20
H+Al	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	4,47	7,62
SB		4,44	2,32
T		4,54	4,52
T		8,91	9,94
K <sup>+</sup>		48,64	37,98
P		24,10	9,66
Zn		2,47	1,54
Fe	mg.dm <sup>-3</sup>	85,79	80,64
Mn		13,45	13,34
Cu		0,68	0,76
B		0,17	0,18
S		11,58	27,64
V		49,88	23,31
M	%	2,20	48,67
Prem	mg L <sup>-1</sup>	29,1	19,80
MO		3,11	2,63
Areia			16
Silte	dag.Kg <sup>-1</sup>		20
Argila			64

Fonte: Departamento de Ciência do Solo (2017)

Foram utilizadas sementes de sete cultivares de soja transgênicas RR (1-7); e sete transgênicas IPRO (8-14) (Tabela 2). As cultivares de soja RR possuem o gene cp4-epsps, oriundo de *Agrobacterium* sp, que confere tolerância ao herbicida Roundup<sup>®</sup>. As cultivares de soja IPRO, denominadas MON 87701 x MON 89788, são resultantes do cruzamento, através do melhoramento genético clássico, dos parentais de soja geneticamente modificadas resistente a insetos, MON 87701 e tolerante a glifosato MON 89788. O evento MON 87701 possui o gene Cry1Ac, oriundo de *Bacillus thuringiensis* e o evento MON 89788 possui o gene cp4 epsps, oriundo de *Agrobacterium* sp. Todas estas cultivares são recomendadas para regiões de clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa), como é classificado o clima da cidade de Lavras. As sementes foram cedidas pela empresa Syngenta e Dow Agrosience.

Tabela 2 – Caracterização das cultivares segundo a tecnologia inserida, o grupo de maturação, a classificação do ciclo e colheita, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras-MG.

Cultivar	Tecnologia	Grupo de Maturação	Classificação de ciclo	Colheita (dias após a semeadura)
1	RR	6,4	Médio	120
2	RR	6,3	Médio	120
3	RR	5,9	Precoce	110
4	RR	6,4	Médio	120
5	RR	7-8	Tardio	130
6	RR	6-7	Médio	120
7	RR	5-6	Precoce	110
8	I PRO	7,1	Tardio	130
9	I PRO	7,3	Tardio	130
10	I PRO	6,3	Médio	120
11	I PRO	6,9	Médio	120
12	I PRO	7-8	Tardio	130
13	I PRO	6-7	Médio	120
14	I PRO	5-6	Precoce	110

Fonte: Do Autor (2020)

As sementes foram tratadas com Standak Top® (2 ml.Kg<sup>-1</sup>sementes). Para a aplicação do produto nas sementes foram utilizados sacos plásticos de 1 Kg de capacidade com 500g de sementes. Após o tratamento, as sementes foram dispostas à sombra, a uma temperatura de aproximadamente 25°C por 20 minutos, para que houvesse a secagem do produto na superfície das sementes. Logo após a secagem as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, SEMIA 5079 e SEMIA 5080, utilizando-se inoculante turfoso Total Nitro na proporção de 1.200.000 bactérias por semente.

A semeadura foi realizada manualmente, na segunda quinzena de novembro. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 3 repetições para cada uma das 14 cultivares que compuseram os tratamentos. As parcelas experimentais foram constituídas por 6 linhas de 5 metros de comprimento espaçadas em 0,5 m, sendo as duas externas bordaduras e as quatro linhas centrais úteis, desconsiderando 0,5 m de cada extremidade, totalizando 15 m<sup>2</sup> de parcela, sendo 8 m<sup>2</sup> parcela útil.

O desbaste foi realizado 15 dias após emergência das plântulas, mantendo-se 15 plantas por metro. Os tratos culturais, aplicações de inseticidas e fungicidas, foram realizados uniformemente em todas as parcelas de acordo com as necessidades e recomendações para a cultura. Para controle

de plantas invasoras foi utilizado o herbicida glifosato, com aplicação em bomba costal e utilização de chapéu de napoleão de modo a evitar a deriva (Roudup® 1 L.ha<sup>-1</sup>).

A colheita foi realizada manualmente em R8, de forma escalonada levando-se em consideração o ciclo de cada cultivar (FEHR et al., 1971), (Tabela 2). Assim como a colheita, a debulha também foi realizada manualmente. Após a debulha foi realizada a quantificação da produção por área determinando a produtividade, em que as sementes foram pesadas e os pesos obtidos foram corrigidos para 13% de umidade, com resultados expressos em kilogramas por hectares (kg.ha<sup>-1</sup>).

Para a análise centesimal, a qual determina umidade, extrato etéreo, proteínas, fibras, cinzas e fração glicídica, foram retiradas amostras de sementes de cada cultivar, seguindo os parâmetros técnicos da amostragem de sementes.

As sementes foram moídas em moinho refrigerado, com nitrogênio líquido e PVP (polivinilpirrolidona), e armazenadas a -86°C até o momento das análises.

A umidade das amostras foi determinada pelo método gravimétrico, no qual 10 g de amostra foram pesadas em cápsula previamente seca e tarada que foi submetida, antecipadamente, à estufa a 105°C por cerca de 3 h, acondicionada num dessecador hermético por cerca de 30 minutos e, em seguida, pesada. A cápsula com a amostra foi levada à estufa à 105°C, até peso constante. O teor de umidade da amostra foi calculado de acordo com a fórmula: Umidade (%) =  $\{[(\text{cápsula} + \text{amostra integral}) - (\text{cápsula} + \text{amostra seca})] / \text{amostra integral}\} \times 100$ .

A fração lipídica ou extrato etéreo foi determinada pelo método de Soxhlet. Foram pesados cerca de 3 g de amostra seca em cartucho celulósico vedado com algodão para evitar a perda de amostra, quando da adição do éter. O cartucho contendo a amostra seca foi acondicionada em reboiler previamente seco e tarado. Adicionou-se éter ao reboiler até submergir a amostra contida no cartucho. Logo em seguida acoplou-se o reboiler ao bloco aquecedor do aparelho de "Soxhlet", acionando-se a temperatura de 35°C e deixando em refluxo por cerca de 2 horas. O reboiler com o extrato etéreo foi levado para a estufa à 105°C até peso constante. O cálculo do teor de extrato etéreo da amostra foi realizado de acordo com a fórmula: Extrato etéreo (%) =  $\{[(\text{reboiler} + \text{extrato etéreo}) - (\text{reboiler})] / \text{amostra seca}\} \times 100$ .

A fração protéica foi determinada segundo o método de "Kjeldahl" que se fundamenta em três etapas básicas: Digestão; Destilação e Titulação. Para tanto, foram pesadas 100 mg de matéria

seca e desengordurada (amostra remanescente da determinação de extrato etéreo, presente no cartucho), envolvendo a amostra em papel manteiga a qual foi transferida para o tubo de digestão contendo 600 mg de  $K_2SO_4$ , 300 mg de  $CuSO_4$  e 5 mL de  $H_2SO_4$ . O tubo foi levado ao bloco digestor, em que elevou-se a temperatura de 50 em  $50^\circ C$ , até atingir a temperatura de  $400^\circ C$ , para que a amostra se tornasse incolor. Acoplou-se o tubo com a amostra digerida ao aparelho de Kjeldhal. De forma a evitar a perda da amônia destilada por volatilização, adaptou-se um erlenmeyer com 10 mL de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) à saída de condensado, de modo que a ponta do condensador ficasse imersa no ácido bórico. Foram adicionados 15 mL de NaOH ao reservatório apropriado, vertendo lentamente dentro do tubo previamente acoplado. Foram coletados 75 mL de condensado no erlenmeyer que foi levado para a titulação com HCl até viragem de cor (verde para vermelho). O teor de nitrogênio da amostra foi calculado através da fórmula Nitrogênio (%) =  $(V \times N \times 14 \times 100) / A$  (N = normalidade da solução de HCl = 0,02N; V = volume gasto de HCl 0,02 N na titulação; A = peso da amostra em mg), transformando para proteína, através do fator 5,71 específico para soja: Proteína (%) = % Nitrogênio x 5,71.

A quantidade de cinzas de cada amostra foi determinada pesando-se 2 g de matéria seca e desengordurada em cadinho previamente seco em mufla a  $550^\circ C$  e tarado. Logo em seguida incinerou-se a amostra com auxílio do bico de bunsen até que se cessou a emanação de fumaça. O cadinho com a amostra foi conduzido para a mufla a  $550^\circ C$ , por um período suficiente para queima de toda matéria orgânica, ou seja, até a visualização da ausência de pontos de carvão na amostra. Realizou-se a pesagem da amostra e realizou-se o cálculo através da fórmula: Cinza (%) =  $\{[(\text{Cadinho} + \text{cinza}) - \text{cadinho}] / \text{tomada de ensaio}\} \times 100$ .

Os carboidratos foram determinados por diferença do total, consistindo da fração glicídica e de fibras: Carboidratos =  $100 - (\text{umidade} + \text{extrato etéreo} + \text{proteínas} + \text{cinzas})$ .

Para a determinação da porcentagem de danos por percevejos foi realizado o teste de tetrazólio em que foram utilizadas 200 sementes, em 4 subamostras de 50 sementes para cada parcela experimental. As sementes foram pré-umedecidas entre papel úmido por 16h a  $25^\circ C$ . Para a coloração foi utilizada a solução de sal 2, 3, 5 trifenil cloreto ou brometo de tetrazólio a 0,075%, onde a semente permaneceu embebida por 3h a  $40^\circ C$ , na ausência de luz. Ao final do período de coloração, a solução foi descartada e as sementes foram lavadas em água corrente e mantidas submersas até o final da avaliação para evitar o ressecamento. O resultado do teste de tetrazólio foi

obtido pela porcentagem média de sementes atacadas por percevejo e sementes vigorosas seguindo a classificação proposta por França Neto et al. (1998).

O teste de germinação foi efetuado com duas repetições de 50 sementes por repetição de campo (bloco). A semeadura foi realizada em papel toalha, marca Germitest, na forma de rolo, umedecido com água na quantidade de 2,5 vezes o peso do papel. A seguir, as sementes foram colocadas para germinar em aparelho previamente regulado à temperatura de 25° C. As avaliações foram realizadas aos 5 dias após a semeadura, seguindo as prescrições contidas nas Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009), considerando o número de plântulas normais. Os resultados foram expressos em porcentagem.

Foi realizada a análise estatística através do software Sisvar, utilizou-se o Delimitamento Inteiramente Casualizado, com 3 repetições e comparação entre médias de cultivares pelo teste de Scott-Knott, com probabilidade de 5% e aplicação de Contrastes ortogonais para a comparação entre as tecnologias RR e IPRO (FERREIRA, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes à composição centesimal das sementes de soja das 14 cultivares estudadas são apresentadas na Tabela 3. O teor de umidade das sementes das cultivares não diferiram entre si, o que demonstra maior confiabilidade no momento de se discutir as demais diferenças na composição das sementes uma vez que todas foram colhidas no mesmo ponto de maturidade fisiológica. Estudos comprovam que a heterogeneidade nos padrões de senescência das cultivares no momento da colheita explicam diferenças na quantidade de compostos químicos disponíveis nas sementes, mostrando, portanto que as diferenças encontradas neste estudo não se baseiam nesta premissa (ROTUNDO et al.,2009).

Tabela 3 - Resultados médios de umidade (U%), proteína (PTN%), lipídeos (LIP%), carboidratos (CHO%) e minerais (MINERAIS%) obtidos através de análise centesimal de sementes de cultivares de soja RR e IPRO, ano agrícola 2016/17,UFLA, Lavras - MG.(Continua)

CULTIVARES	U(%)	PTN (%)	LIP(%)	CHO (%)	MINERAIS(%)
1RR	9,47 a	37,50 c	25,00 a	21,46 e	6,55 c
2RR	9,61 a	39,35 a	25,22 a	17,36 f	8,43 a
3RR	9,92 a	39,17 a	21,55 c	24,79 c	4,54 e
4RR	9,42 a	34,76 d	23,22 b	26,80 b	5,77 d
5RR	9,33 a	37,22 c	18,77 e	29,77 a	4,89 e

6RR	9,47 a	38,53 b	20,50 d	23,08 d	8,41 a
7RR	9,40 a	39,19 a	17,50 f	28,00 b	5,88 d
8IPRO	9,23 a	39,21 a	20,00 d	24,01 c	7,53 b
9IPRO	9,42 a	36,11 d	20,66 d	30,31 a	4,47 e
10IPRO	9,42 a	39,65 a	19,00 e	23,35 d	8,56 a
11IPRO	9,71 a	36,86 c	20,66 d	27,97 b	4,78 e
12IPRO	9,14 a	37,43 c	21,88 c	25,22 c	6,30 c
13IPRO	9,52 a	37,92 b	15,14 g	30,78 a	6,62 c
14IPRO	9,47 a	36,43 c	18,5 e	28,18 b	7,40 b
CV(%)	2,29	1,28	2,66	3,51	5,93

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Do Autor (2020)

Observa-se que houve diferenças significativas para os teores de proteínas, lipídeos, carboidratos e minerais quando se comparou as cultivares, germinação e vigor das sementes (TABELAS 3 e 4).

A equiparação da composição química das sementes com a germinação e o vigor é importante pois a germinação e o vigor são fatores de produção enquanto que a composição química é um fator de comercialização e consumo, portanto, o progresso contínuo no sentido de satisfazer o mercado com cultivares de alto rendimento não pode sacrificar a eficiência reprodutiva (BELLALLOUI et al., 2017, ROTUNDO, et al., 2009).

Tabela 4 - Resultados médios da qualidade de sementes: germinação (G%) e vigor (V%) pelo teste de tetrazólio de cultivares de soja RR e IPRO, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras - MG.

Cultivares	G(%)	V(%)
1RR	65 e	59 d
2RR	94 a	89 a
3RR	89 b	88 a
4RR	88 b	83 b
5RR	70 d	65 d
6RR	84 c	85 b
7RR	96 a	92 a
8IPRO	85 c	88 a
9IPRO	82 c	82 b
10IPRO	80 c	73 c
11IPRO	73 d	75 c
12IPRO	56 f	63 d
13IPRO	86 b	84 b
14IPRO	93 a	90 a
CV(%)	3,94	3,32

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Do Autor (2020)

A concentração de proteínas nas sementes das cultivares estudadas variou de 39,65 a 34,76 %, teores abaixo do que são encontrados na literatura, os quais variam de 38 a 42% (BELLALLOUI et al., 2015; FINOTO et al., 2017). As sementes com maiores teores de proteína foram das cultivares 2, 3, 7, 8, 10. Nota-se, que a maioria destas cultivares também apresentaram maior germinação e maior vigor pelo teste de tetrazólio (TABELA 4). Um alto teor de proteína melhora o valor nutricional e a qualidade de sementes de soja e otimiza o desenvolvimento de plântulas no campo (BELLALLOUI et al., 2015). Os teores de óleo e proteínas possuem relação direta com a composição química e a qualidade das sementes. Estudos apontam que maior quantidade de proteína possibilitam um maior teor de metionina e cisteína que refletem na redução de fatores antinutricionais e conseqüentemente na qualidade das sementes, pois a maior parte dos componentes antinutricionais da soja são compostos de fácil oxidação (MAHMOUD et al., 2016).

Quando analisa-se os teores de óleo, observa-se que as sementes com maiores teores de lipídeos foram das cultivares 1 e 2 e que a cultivar 1 também retratou uma baixa germinação e vigor, o que comprova o que foi dito anteriormente. Este fato pode ser explicado pela redução da estabilidade oxidativa em função da maior concentração de óleos nas sementes desta cultivar, o que causa decréscimos à qualidade e ao período de armazenamento das sementes (PATIL et al., 2017). O alto teor de óleo também implica em uma menor aceitação ao consumo humano devido à alta ação de enzimas lipoxigenases que agem na oxidação de lipídeos e conferem o “beany flavor” ou “grassy flavor” aos grãos (OFFICE OF BIOTECHNOLOGY, 2013). Em sementes, o alto teor desta enzima causa redução na qualidade fisiológica das mesmas.

A composição química das sementes pode influenciar na qualidade das sementes e na quantidade e disponibilidade de compostos passíveis de serem utilizados pelo embrião, afetando a germinação de forma direta (DELARMELINO-FERRARES et al., 2014). Observa-se uma analogia positiva entre a concentração de proteínas e a germinação de sementes em que as cultivares com valores superiores de proteína apresentaram germinação acima de 80%. As sementes com menores concentrações de lipídios em sua composição foram das cultivares 7 e 13 que também obtiveram germinação e vigor acima de 80%. Alguns autores indagam que o desenvolvimento de cultivares de soja com altos teores proteicos tem sido dificultada pela correlação negativa entre o teor de proteína e a produção de sementes (ROTUNDO et al., 2009).

Esta correlação não está condicionada à qualidade das sementes e sim à produtividade de tais cultivares que não se sobressaem as cultivares com menores teores de proteínas.

De acordo com alguns estudos, a redução da produtividade de cultivares de soja com altas concentrações de proteínas em sua composição está ligada a danos causados por percevejos que iniciam a colonização das plantas logo após a floração, se reproduzem no processo de formação das vagens (R3), e aumentam a população no início do enchimento das sementes (R5), período em que a soja está mais susceptível. Com isto há uma menor produção e menor potencial germinativo das sementes produzidas devido aos danos causados pelo inseto e pelo ataque de patógenos nos ferimentos (BELORTE et al., 2003). Nota-se, pois, que as cultivares com teor de proteína expressivo, tais como as cultivares 2 e 7, possuem uma menor incidência de percevejos (TABELA 5).

Tabela 5 - Resultados médios de sementes atacadas por percevejo pelo teste de tetrazólio de cultivares de soja RR e IPRO, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras - MG.

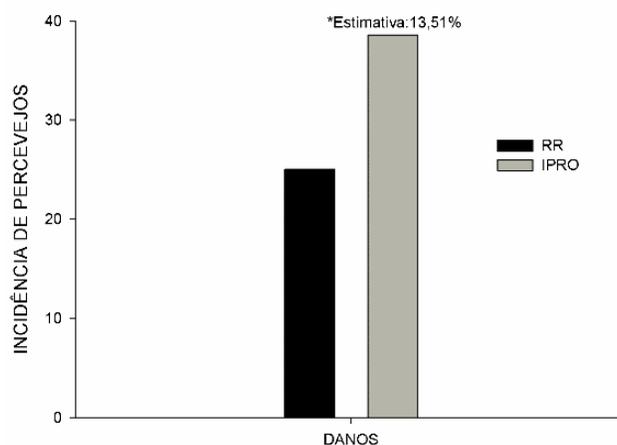
CULTIVARES	INCIDÊNCIA DE DANOS POR PERCEVEJOS (%)
1RR	35,42 d
2RR	20,54 b
3RR	31,35 c
4RR	29,29 c
5RR	47,27 e
6RR	37,24 d
7RR	11,67 a
8IPRO	34,24 d
9IPRO	36,80 d
10IPRO	47,38 e
11IPRO	37,85 d
12IPRO	61,39 f
13IPRO	34,44 d
14IPRO	18,01 b
CV(%)	5,27

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Do Autor (2020)

Todavia, ao analisar os teores de carboidratos, as sementes com maiores concentrações foram das cultivares 5, 9, 13 nas quais apresentaram maior incidência de percevejo, com 34 a 47 % de sementes lesionadas. Observa-se ainda que cultivares IPRO possuem menor concentração de

lipídeos, maior concentração de carboidratos e maior susceptibilidade ao ataque de percevejos com relação às cultivares de tecnologia RR com diferença de 13,51% (FIGURA 2).

Figura 2 – Contrastes ortogonais para incidência de percevejos (%) pelo teste de tetrazólio de sementes de soja com tecnologia RR e IPRO, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras - MG. \*Significância à 1% de probabilidade.

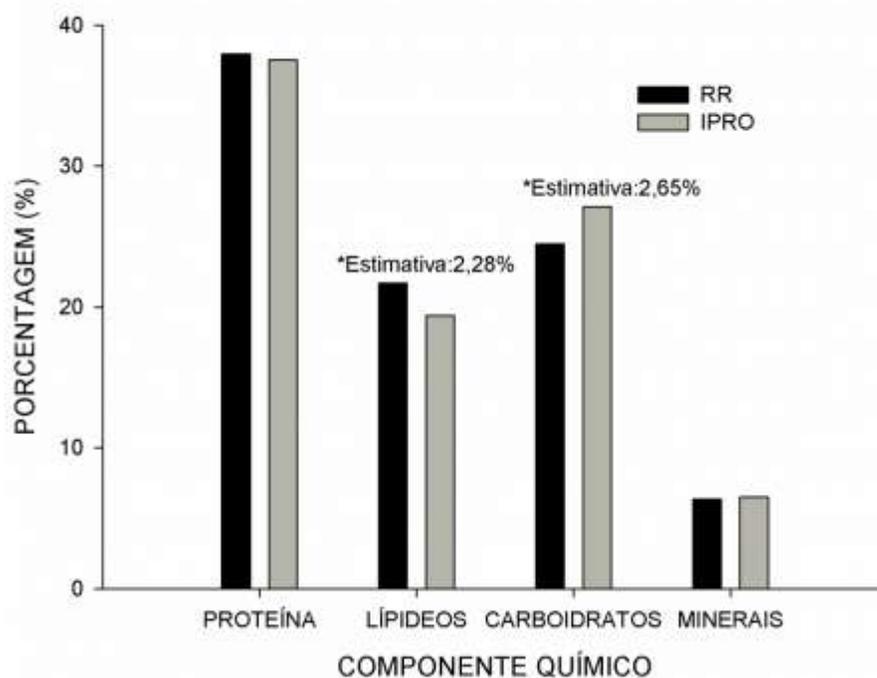


Fonte: Do Autor (2020)

Além disso, não houve diferenças significativas entre as tecnologias para os teores de proteínas e minerais (FIGURA 3). Desta forma, considera-se que a variação está na concentração de óleos e carboidratos e não na concentração de proteínas, como afirmaram alguns autores que ao estudarem a composição química de sementes de soja concluíram que o teor de óleo e proteínas nas sementes são inversamente proporcionais (ARSLANOGLU et al., 2011).

Segundo alguns autores, a concentração de óleo e proteína varia segundo o genótipo, o ambiente, principalmente a temperatura, a posição da vagem nas plantas, o ciclo e até a exposição a situações de estresse (BRUNO et al., 2015; BELLALOUI & GILLEN, 2010; ALBRECHT et al., 2008; BARROS & SEDYAMA, 2009; SING et al., 2016). Ao analisar o gráfico com os dados climatológicos de Lavras durante o período de produção das sementes, nota-se que a temperatura máxima ocorreu em janeiro, atingindo 30,31°C (FIGURA 1). Sabendo-se que a soja tolera temperaturas de até 35°C, portanto, descarta-se a possibilidade do aumento do teor de óleo em função deste parâmetro (SALEM et al., 2007).

Figura 3 – Contrastes ortogonais para os componentes químicos: proteína (PTN%), lipídeos (LIP%), carboidratos (CHO%) e minerais (MINERAIS%) obtidos através de análise centesimal de sementes de soja com tecnologia RR e IPRO, ano agrícola 2016/17,UFLA, Lavras - MG.\*Significancia à 1% de probabilidade.



Fonte: Do Autor (2020)

#### 4 CONCLUSÕES

Maiores teores de proteína nas sementes proporcionam maior germinação e vigor, ao contrário de maiores teores de óleo.

Há um menor incidência de danos por percevejos em sementes com alta concentração proteica e maior ocorrência em sementes com altas concentrações de carboidratos.

Cultivares IPRO são mais susceptíveis à incidência de percevejos quando comparadas a cultivares RR.

**AGRADECIMENTOS:** À CAPES, ao CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, Leandro Paiola; BRACCINI, Alessandro de Lucca e; ÁVILA, Marizangela Rizzatti; SUZUKI, Letícia Sayuri; SCAPIM, Carlos Alberto; BARBOSA, Mauro Cezar. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, [s.l.], v. 67, n. 4, p. 865-873, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052008000400008>.

ARSLANOGLU, Funda. Effect of genotype and environment interaction on oil and protein content of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seed. *African Journal Of Biotechnology*, [s.l.], v. 10, n. 80, p. 409-417, 14 dez. 2011. Academic Journals. <http://dx.doi.org/10.5897/ajb10.1879>.

BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T; TEIXEIRA, R C. Produção de sementes. In: SEDIYAMA, T.. **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenas, 2009. p. 157-174.

BELLALLOUI, Nacer; BRUNS, H. Arnold; ABBAS, Hamed K.; MENGISTU, Alemu; FISHER, Daniel K.; REDDY, Krishna N.. Agricultural practices altered soybean seed protein, oil, fatty acids, sugars, and minerals in the Midsouth USA. **Frontiers In Plant Science**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 1-31, 18 fev. 2015. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00031>.

BELLALLOUI, Nacer; SMITH, James R.; MENGISTU, Alemu; RAY, Jeffery D.; GILLEN, Anne M.. Evaluation of Exotically-Derived Soybean Breeding Lines for Seed Yield, Germination, Damage, and Composition under Dryland Production in the Midsouthern USA. *Frontiers In Plant Science*, [s.l.], v. 8, p. 1-14, 27 fev. 2017. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.00176>.

BELLALLOUI, Nacer; GILLEN, Anne M.. Soybean seed protein, oil, fatty acids, N, and S partitioning as affected by node position and cultivar differences. **Agricultural Sciences**, [s.l.], v. 01, n. 03, p. 110-118, 2010. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2010.13014>.

BELORTE, L. C. *et al.* Danos causados por percevejos (Hemiptera: Pentatomidae) em cinco cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill, 1917) no município de Araçatuba, SP. **Arquivo do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 70, n. 2, p. 169-175, jun. 2003.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DA REFORMA AGRÁRIA. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília: Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395 p.

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

DANTAS, Antonio Augusto Aguilar; CARVALHO, Luiz Gonsaga de; FERREIRA, Elizabeth. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 31, n. 6, p. 1862-1866, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542007000600039>.

DELARMELINO-FERRARESI, L.m.; VILLELA, F.a.; AUMONDE, T.z.. Desempenho fisiológico e composição química de sementes de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal Of Agricultural Sciences**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 14-18, 27 mar. 2014. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v9i1a2864>.

EGLI, D. B.; BRUENING, W. P.. Nitrogen accumulation and redistribution in soybean genotypes with variation in seed protein concentration. **Plant And Soil**, [s.l.], v. 301, n. 1-2, p. 165-172, 9 out. 2007. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9434-y>.

FERRÉ, Juan; VAN RIE, Jeroen. Biochemistry and Genetics of Insect Resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review Of Entomology**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 501-533, jan. 2002. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145234>.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 38, n. 2, p. 109-112, abr. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542014000200001>.

FINOTO, Everton Luis; SEDIYAMA, Tuneo; ALBUQUERQUE, José de Anchieta Albes de; SOARES, Maria Beatriz Bernades; GALLI, Juliana Altafin; CORDEIRO JUNIOR, Paulo Sérgio; MENEZES, Pedro Henrique Santos de. Anticipation and harvest delay in oil and protein contents of soybean seeds, grow crops Valiosa RR. **Scientia Agropecuaria**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 99-107, 30 jun. 2017. Universidad Nacional de Tujillo. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.02>.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; COSTA, N. P.. O teste de tetrazólio em sementes de soja. Londrina: Embrapa-cnpso, 1998. 72 p.

MAHMOUD, Ahmed A.; NATARAJAN, Savithiry S.; BENNETT, John O.; MAWHINNEY, Thomas P.; WIEBOLD, William J.; KRISHNAN, Hari B.. Effect of Six Decades of Selective Breeding on Soybean Protein Composition and Quality: a biochemical and molecular analysis. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, [s.l.], v. 54, n. 11, p. 3916-3922, maio 2006. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf060391m>.

MIKLOS, John A.; ALIBHAI, Murtaza F.; BLEDIG, Stefan A.; CONNOR-WARD, Dannette C.; GAO, Ai -guo; HOLMES, Beth A.; KOLACZ, Kathryn H.; KABUYE, Victor T.; MACRAE, Ted C.; PARADISE, Mark S.. Characterization of Soybean Exhibiting High Expression of a Synthetic *Bacillus thuringiensis cry1A* Transgene That Confers a High Degree of Resistance to Lepidopteran Pests. **Crop Science**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 148-157, jan. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2006.07.0463>.

NAEVE, Seth L.; O'NEILL, Tracy A.; MILLER-GARVIN, Jill E.. Canopy Nitrogen Reserves: impact on soybean yield and seed quality traits in northern latitudes. **Agronomy Journal**, [s.l.], v. 100, n. 3, p. 681-689, maio 2008. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2007.0179>.

NEPOMUCENO, Alexandre Lima. Técnicas Inovadoras de Melhoramento de precisão. **Anuário Abrasem**. Londrina, p. 8-11. set. 2018.

NEVES, Josynaria Araújo; SILVA, José Algaci Lopes da; BARBOSA, Douglas Rafael e Silva; SEDIYAMA, Tuneo; TEIXEIRA, Rita de Cássia; ROCHA, Renato Santos. Agronomic Performance of Soybean Genotypes in Low Latitude in Teresina-PI, Brazil. **Journal Of Agricultural Science**, [s.l.], v. 5, n. 3, p. 243-253, 17 fev. 2013. Canadian Center of Science and Education. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n3p243>.

OFFICE OF BIOTECHNOLOGY. Iowa State University. **Soybean**. 2013. Disponível em: <https://www.biotech.iastate.edu/>. Acesso em: 12 nov. 2017.

PATIL, Gunvant; CHAUDHARY, Juhi; VUONG, Tri D.; JENKINS, Brian; QIU, Dan; KADAM, Suhas; SHANNON, Grover J.; NGUYEN, Henry T.. Development of SNP Genotyping Assays for Seed Composition Traits in Soybean. *International Journal Of Plant Genomics*, [s.l.], v. 2017, p. 1-12, 2017. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/6572969>.

RIBEIRO, A. C.; GUMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H.. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

ROTUNDO, José L.; BORRÁS, Lucas; WESTGATE, Mark E.; ORF, James H.. Relationship between assimilate supply per seed during seed filling and soybean seed composition. **Field Crops Research**, [s.l.], v. 112, n. 1, p. 90-96, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2009.02.004>.

SALEM, Mohammed A.; KAKANI, Vijaya Gopal; KOTI, Sailaja; REDDY, K. Raja. Pollen-Based Screening of Soybean Genotypes for High Temperatures. *Crop Science*, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 219-231, jan. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2006.07.0443>.

SALES, Victor Hugo Gomes; PELUZIO, Joenes Mucci; AFFÉRI, Flávio Sérgio; OLIVEIRA JUNIOR, Waldesse Piragé; SALES, Paulo Victor Gomes. Teor de óleo e proteína em grãos de soja em diferentes posições da planta. **Revista Agro@mbiente On-line**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 22, 7 jun. 2016. Universidade Federal de Roraima. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i1.2462>.

SANTOS, Elonha Rodrigues; SPEHAR, Carlos Roberto; CAPONE, Aristoteles; PEREIRA, Paulo Roberto. Estimativa de parâmetros de variação genética em progênes f2 de soja e genitores com presença e ausência de lipoxigenases. **Nucleus**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 61-70, 30 abr. 2018. Fundacao Educational de Ituverava. <http://dx.doi.org/10.3738/1982.2278.2169>.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C.. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **The Journal Of Agricultural Science**, [s.l.], v. 153, n. 8, p. 1394-1411, 24 abr. 2015. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0021859615000313>.

SINGH, Shardendu K.; BARNABY, Jinyoung Y.; REDDY, Vangimalla R.; SICHER, Richard C.. Varying Response of the Concentration and Yield of Soybean Seed Mineral Elements, Carbohydrates, Organic Acids, Amino Acids, Protein, and Oil to Phosphorus Starvation and CO2 Enrichment. *Frontiers In Plant Science*, [s.l.], v. 7, p. 1-15, 27 dez. 2016. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2016.01967>.

THE AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION. **Soybean:** production and technology. production and technology. 2020. Disponível em: <https://soygrowers.com>. Acesso em: 12 jan. 2020.

## **CAPÍTULO 4 - RELAÇÃO EVENTOS TRÂNSGÊNICOS (RR E IPRO) E A QUALIDADE FISIOLÓGICA E EXPRESSÃO ENZIMÁTICA DE SEMENTES DE SOJA**

**RESUMO:** O incentivo à adoção de cultivares transgênicas com genes piramidados baseia-se na facilidade de manejo da cultura, redução do custo de produção e aumento de produtividade. No entanto, efeito da inserção de um gene em uma cultivar pode acarretar diversas modificações na planta, previstas ou não, em alguns casos, principalmente quando se trata de sementes. Objetivou-se comparar o potencial fisiológico de sementes de soja RR e IPRO e a relação com a expressão enzimática nas sementes. Foram utilizadas sementes de sete cultivares RR e sete cultivares IPRO, produzidas no campo experimental da Universidade Federal de Lavras em delineamento de blocos casualizados, com 3 blocos. A avaliação da qualidade fisiológica de sementes foi realizada por meio dos testes de germinação, emergência de plântulas, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e atividade enzimática das enzimas ADH, SOD, CAT e EST. Em relação às cultivares RR, a inserção do gene Cry1Ac em cultivares IPRO apresenta indícios de afetar a qualidade fisiológica das sementes. Não há diferenças entre os padrões de expressão enzimática de cultivares RR e IPRO. As sementes das cultivares 7 e 14 possuem maior viabilidade e vigor que as sementes das demais cultivares estudadas.

**Palavras chave:** *Bacillus thuringiensis*, cry1Ac, atividade enzimática, piramidação de genes.

## **TRANSGENIC EVENT (RR AND IPRO) RELATIONSHIP AND PHYSIOLOGICAL QUALITY AND ENZYMATIC EXPRESSION OF SOYBEAN SEEDS**

**ABSTRACT:** The incentive for the adoption of transgenic cultivars with pyramid genes is based on the ease of management of the crop, reduction of the production cost and increase of productivity. However, the effect of inserting a gene in a cultivar can lead to several changes in the plant, predicted or not, in some cases, especially when it comes to seeds. The objective was to compare the physiological potential of RR and IPRO soybean seeds and the relationship with the enzymatic expression in the seeds. Seeds of seven RR cultivars and seven IPRO cultivars were used, produced in the experimental field of the Federal University of Lavras in a randomized block design with 3 blocks. The evaluation of the physiological quality of seeds was carried out by means of germination tests, seedling emergence, accelerated aging, electrical conductivity and enzymatic activity of the enzymes ADH, SOD, CAT and EST. Regarding RR cultivars, the insertion of the Cry1Ac gene in IPRO cultivars shows signs of affecting the physiological quality of seeds. There are no differences between the patterns of enzymatic expression of RR and IPRO cultivars. The seeds of cultivars 7 and 14 have greater viability and vigor than the seeds of the other cultivars studied.

**Keywords:** *Bacillus thuringiensis*, cry1Ac, enzymatic activity, gene pyramidation.

## 1 INTRODUÇÃO

A soja é referenciada como uma commodity de relevância social, econômica e comercial diante do contexto desta cultura nos diferentes setores do agronegócio. Para assumir este papel mercadológico é necessário a produção de um elevado volume de grãos. Em 1968, a produção de grãos de soja era de 600 mil toneladas/safra. Hoje, a previsão para a safra 2019/2020, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (2019) será de aproximadamente 121 milhões de toneladas.

Estes ganhos em produtividade são devidos aos investimentos em novas alternativas e tecnologias para melhor aproveitamento da área agrícola, redução do uso de insumos e consequentemente do custo de produção (GAZOLLA-NETO E GADOTTI, 2014). As tecnologias são veiculadas por meio das sementes que carregam os avanços do melhoramento genético e da biotecnologia, agregando valor ao produto final através de características desejáveis como a adaptação a diferentes ambientes e tipos de estresses abióticos, resistência a pragas e doenças, altas produtividades, além de atender as demandas dos produtores que visam menor custo e maior lucro (FERREIRA et al., 2016; ROSSI, 2012).

O avanço tecnológico proporcionado por eventos transgênicos tem alavancado grandes vantagens durante o cultivo da soja, principalmente ganhos em produtividade. Cerca de 97% da soja plantada no país é transgênica (ISAAA, 2019). Das 2411 cultivares de soja registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 1819 cultivares, ou seja, 75% são referentes a cultivares geneticamente modificadas, com 11 eventos distintos registrados (RNC – Registro Nacional de Cultivares, 2019).

Atualmente, a maior parte da área cultivada de soja está focada no cultivo da soja Roundup Ready (RR) tolerante ao glifosato, que reduziu sobremaneira os custos no controle de plantas daninhas durante o cultivo, cujo evento determinante é MON 89788 (MATAVELI et al., 2010; THE AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION, 2019). Trata-se de uma segunda geração de soja tolerante ao herbicida glifosato que recebeu a denominação MON 89788, em adição ao evento aprovado pela CTNBio GTS 40-3-2.

Outra demanda do mercado a fim de reduzir os custos e facilitar o manejo das áreas implantadas com soja foi a resistência à insetos prejudiciais à cultura. Por meio da biotecnologia

agrícola moderna, desenvolveu-se variedades de soja que contêm o gene derivado de *Bacillus thuringiensis*, cry1Ac, evento denominado MON 87701 (FERRE & VAN RIE, 2002; MIKLOS et al., 2007).

Os eventos MON 89788 e MON 87701 são eventos distintos, expressos em organelas celulares diferentes, que conferem características importantes para o melhoramento genético e produtos multitraít. Mais recentemente, o evento MON 87701 foi piramidado ao MON 89788 dando origem a soja MON 87701 x MON 89788, que confere resistência a insetos e tolerância a herbicida. As cultivares de soja IPRO, denominadas MON 87701 x MON 89788, são resultantes do cruzamento, através do melhoramento genético clássico, dos parentais de soja geneticamente modificadas MON 87701 e MON 89788. A soja MON 87701 x MON 89788 apresenta características das sojas parentais, ou seja, é resistente a insetos (expressão da proteína Cry1Ac) e apresenta tolerância ao glifosato (expressão da proteína CP4 EPSPS) e sua utilização tem sido cada vez mais crescente por aliar duas características de interesse comercial (GAO et al., 2013). Este fato se comprova pelo número de cultivares registradas que possuem este evento, 897 cultivares, que ultrapassa o evento pioneiro GTS 40-3-2, com 737 cultivares registradas (RNC, 2020).

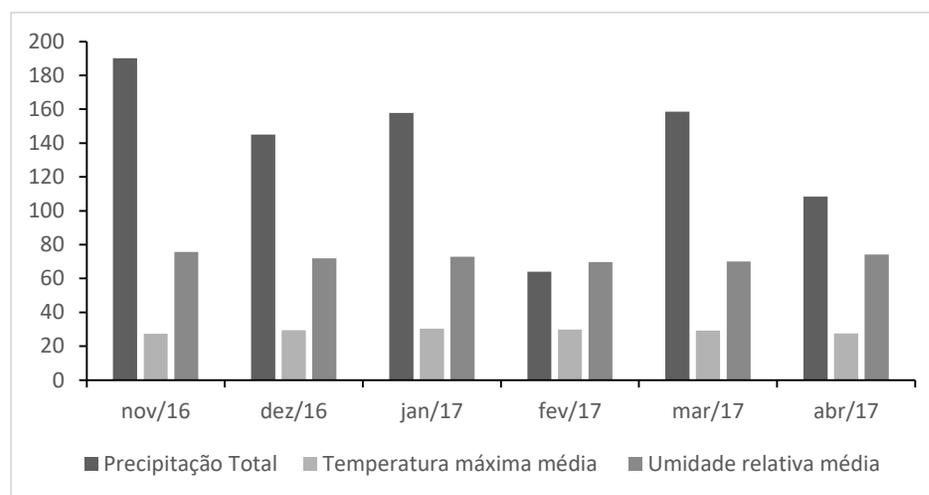
No entanto, a piramidação de genes pode refletir de forma negativa à certas características da cultura, tais como a qualidade das sementes produzidas que podem apresentar um baixo potencial fisiológico (PESKE et al., 2012; CARVALHO & NOVEMBRE, 2011). Moreno et al.(2019) pesquisando diversas cultivares de soja observaram uma menor qualidade fisiológica de sementes de soja IPRO. Esta característica tem sido levantada por produtores de sementes de soja IPRO que indagam se a baixa qualidade das sementes é proveniente da inserção do gene Cry1Ac ou pelo refinamento do melhoramento genético o qual, para as cultivares em questão, se ocupou em características intrínsecas ao cultivo, como a produtividade e se eximiu da produção de sementes de alta performance. Sob o ponto de vista comercial gera-se um impasse, pois as cultivares altamente produtivas permanecem no mercado mesmo apresentando baixa qualidade de sementes.

Diante desta fatalidade, a identificação das relações entre o potencial fisiológico e o desempenho das sementes constitui prioridade para o setor produtivo e um desafio permanente para os pesquisadores. Neste sentido, objetivou-se comparar o potencial fisiológico de sementes de soja RR e IPRO e a relação com a expressão enzimática nas sementes.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório Central de Análise de Sementes do Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras, em Lavras/MG. A cidade está localizada na Região Sul de Minas Gerais, Latitude 21° 14'S e Longitude 40° 17'W e a 918,8 m de altitude. Os dados relativos precipitação pluviométrica, temperatura máxima média, e umidade relativa registrados no período de produção das sementes são apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Série Climatológica de Lavras de novembro de 2016 à abril de 2017, com dados de precipitação total, temperatura máxima média e umidade relativa.



Fonte: INMET (2017)

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2016/17 em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico típico, com características físico químicas segundo a Análise de solo (TABELA 1). A área escolhida para o plantio foi de fertilidade construída por meio de sistema de plantio direto. Utilizou-se adubação formulada 02-20-18, segundo recomendação adequada para a cultura da soja no sulco de plantio.

Tabela 1 - Análise química e física do solo da área experimental, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras-MG.

Propriedades Químicas		Resultados	
		0-20	20-40
pH	H <sub>2</sub> O	5,8	5,3
Ca <sup>++</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> )		3,69	1,89
Mg <sup>++</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> )		0,63	0,33
Al <sup>+++</sup>		0,10	2,20
H+Al	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	4,47	7,62
SB		4,44	2,32
T		4,54	4,52
T		8,91	9,94
K <sup>+</sup>		48,64	37,98
P		24,10	9,66
Zn		2,47	1,54
Fe	mg.dm <sup>-3</sup>	85,79	80,64
Mn		13,45	13,34
Cu		0,68	0,76
B		0,17	0,18
S		11,58	27,64
V		49,88	23,31
M	%	2,20	48,67
Prem	mg L <sup>-1</sup>	29,1	19,80
MO		3,11	2,63
Areia			16
Silte	dag.Kg <sup>-1</sup>		20
Argila			64

Fonte: Departamento de Ciência do Solo(2020)

Foram utilizadas sementes de sete cultivares de soja transgênicas (RR) resistentes ao herbicida glifosato (1-7); e sete transgênicas (IPRO) resistentes ao glifosato e com o gene cry1Ac (8-14) (Tabela 2). Todas estas cultivares são recomendadas à cidade de Lavras. As sementes foram cedidas pela empresa Syngenta e Dow Agrosience.

Tabela 2 – Caracterização das cultivares segundo a tecnologia inserida, o grupo de maturação, a classificação do ciclo e colheita, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras-MG.(Continua)

Cultivar	Tecnologia	Grupo de Maturação	Classificação de ciclo	Colheita (dias após a semeadura)
<b>1</b>	<b>RR</b>	6,4	Médio	120
<b>2</b>	<b>RR</b>	6,3	Médio	120
<b>3</b>	<b>RR</b>	5,9	Precoce	110
<b>4</b>	<b>RR</b>	6,4	Médio	120
<b>5</b>	<b>RR</b>	7-8	Tardio	130
<b>6</b>	<b>RR</b>	6-7	Médio	120
<b>7</b>	<b>RR</b>	5-6	Precoce	110
<b>8</b>	<b>IPRO</b>	7,1	Tardio	130
<b>9</b>	<b>IPRO</b>	7,3	Tardio	130

<b>10</b>	<b>IPRO</b>	6,3	Médio	120
<b>11</b>	<b>IPRO</b>	6,9	Médio	120
<b>12</b>	<b>IPRO</b>	7-8	Tardio	130
<b>13</b>	<b>IPRO</b>	6-7	Médio	120
<b>14</b>	<b>IPRO</b>	5-6	Precoce	110

Fonte: Do Autor (2020)

As sementes foram tratadas com Standak Top<sup>®</sup> (2 ml.Kg<sup>-1</sup>sementes) e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, SEMIA 5079 e SEMIA 5080, utilizando-se inoculante turfoso Total Nitro na proporção de 1.200.000 bactérias por semente. A semeadura foi realizada manualmente, na segunda quinzena de novembro. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 3 repetições para cada uma das 14 cultivares que compuseram os tratamentos. As parcelas experimentais foram constituídas por 6 linhas de 5 metros de comprimento espaçadas em 0,5 m, sendo as duas externas bordaduras e as quatro linhas centrais úteis, desconsiderando 0,5 m de cada extremidade, totalizando 17,5 m<sup>2</sup> de parcela, sendo 10m<sup>2</sup> parcela útil. O desbaste foi realizado 15 dias após emergência das plântulas, mantendo-se 15 plantas por metro. Os tratamentos culturais, aplicações de inseticidas e fungicidas, foram realizados uniformemente em todas as parcelas de acordo com as necessidades e recomendações para a cultura. Para controle de plantas invasoras foi utilizado o herbicida glifosato, com aplicação em bomba costal e utilização de chapéu de napoleão de modo a evitar a deriva (Roudup<sup>®</sup> 1 L.ha<sup>-1</sup>).

A colheita foi realizada manualmente em R9, (Ritchie et al., 1996), de forma escalonada levando-se em consideração o ciclo de cada cultivar (TABELA 2). A debulha também foi realizada manualmente.

Para a avaliação da qualidade das sementes das diferentes cultivares foi determinado o grau de umidade das sementes, avaliado por meio do método de estufa a 105+3°C durante 24 horas. Foi realizado o Teste de germinação, no qual foram utilizadas 4 repetições de 50 sementes por cultivar, por bloco, semeadas em duas folhas de papel tipo *gemitest* e cobertas por uma folha, umedecidas com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco; os rolos montados foram mantidos em germinador a 25°C e as avaliações foram efetuadas com cinco dias após a semeadura baseado nas Regras para Análise de Sementes, com resultados expressos em porcentagem (BRASIL, 2009).

O vigor foi avaliado pelos testes de emergência de plântulas, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica.

No teste de emergência, a semeadura foi realizada em bandejas plásticas contendo como substrato, solo + areia na proporção 2:1. Foram semeadas quatro repetições de 50 sementes. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em câmara de crescimento vegetal à temperatura de 25°C, em regime alternado de luz e escuro (12 horas). A contagem do número de plantas emergidas foi realizada aos 14 dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas.

No teste de envelhecimento acelerado, amostras de 250 sementes foram acondicionadas sobre telas metálicas em caixas plásticas tipo "gerbox" contendo 40 mL de água destilada. Essas caixas foram mantidas em incubadora, a 42°C por 48 horas, em câmara tipo BOD (MARCOS FILHO, 1999). Em seguida, procedeu-se o teste de germinação com quatro subamostras de 50 sementes. A avaliação ocorreu aos cinco dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem média de plântulas normais para cada tratamento (BRASIL, 2009).

Para o teste de condutividade elétrica, foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes por repetição de campo (bloco). As sementes foram pesadas e em seguida, colocadas em copos plásticos descartáveis com 75 mL de água deionizada. Após 24 horas de embebição a uma temperatura de 25°C, a condutividade elétrica foi determinada com auxílio de um condutivímetro com resultados expressos em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ , de acordo com o método descrito por Vieira (1994).

Também foi avaliado a atividade enzimática sendo utilizadas 50 sementes de cada cultivar as quais foram maceradas em moinho refrigerado com nitrogênio líquido e o antioxidante PVP (Polivinilpirrolidona) e armazenadas à temperatura de -86°C. Subamostras de 100 mg do material macerado, foram acrescidas de 300 $\mu\text{L}$  de éter etílico e 300 $\mu\text{L}$  de água, homogeneizadas em agitador vórtex, permanecendo em repouso por 30 minutos em gelo antes de serem centrifugadas em MPW-350R (MPW Med. Instruments, Varsóvia, Polônia) a 18.000 g por 30 minutos, à 4°C (CARVALHO et al., 2014).

Após a centrifugação descartou-se o sobrenadante e adicionou-se 300 $\mu\text{L}$  do tampão de extração (Tris HCl 0,2M pH 8,0) e 0,1% de  $\beta$ -mercaptoetanol. O material foi colocado em geladeira por 12 horas e depois centrifugado a 18000 rpm por 30 minutos a 4°C. A eletroforese em géis de poli-acrilamida NATIVA-PAGE foi desenvolvida em sistema descontínuo (7,5% gel de separação

e 4,5% gel de concentração). O sistema tampão gel/eletrodo utilizado foi o Tris-glicina pH 8,9. Para proceder a corrida eletroforética foram aplicados na canaleta do gel 50µL do sobrenadante e a corrida realizada a 4°C, a 150V, por 6 horas. Ao término da corrida, os géis foram revelados para as enzimas SOD (Superóxido dismutase), CAT (Catalase), EST (Esterase), ADH (Alcool desidrogenase (ALFENAS et al., 2006). A avaliação dos perfis enzimáticos foi realizada de acordo com a presença ou ausência de bandas e a intensidade delas. Além a utilização do software Image J para a quantificação das bandas em pixels.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado avaliando-se separadamente as cultivares e as tecnologias. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo software R-Studio, a 5% de probabilidade pelo teste de F. As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. O programa Sisvar foi utilizado para aplicação de Contrastes ortogonais (RSTUDIO, 2015; FERREIRA, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram observadas diferenças significativas para o grau de umidade das sementes, o qual variou de 9,73 a 11,72, estes valores semelhantes caracterizam a uniformidade de colheita dando subsídios para a padronização das avaliações e obtenção de resultados consistentes (MARCOS-FILHO et al., 1987). Os demais testes de qualidade detectaram diferenças entre as cultivares estudadas (TABELA 3).

Tabela 3 - Resultados médios da qualidade de sementes: germinação (G%), emergência (E%) envelhecimento acelerado (EA%) e condutividade elétrica (CE) de cultivares de soja RR e IPRO, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras - MG. (Continua)

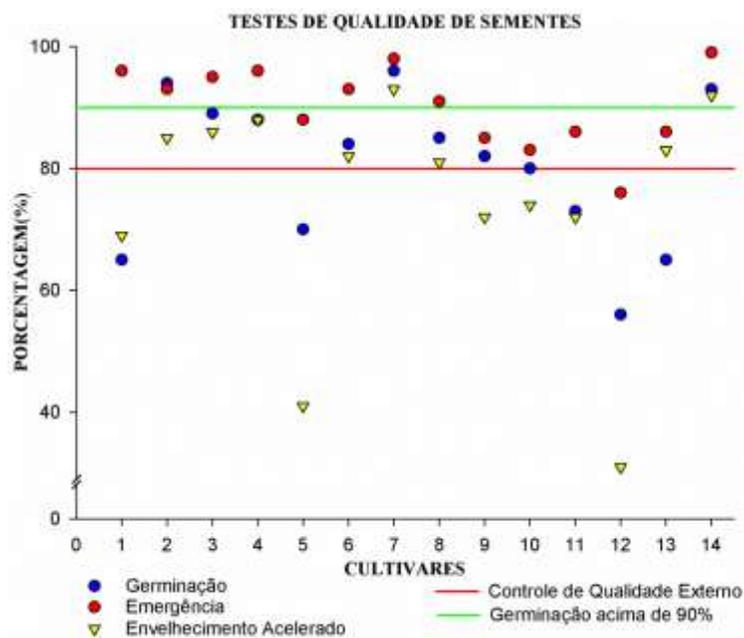
CULTIVARES	G(%)	E(%)	EA(%)	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ )
1RR	65 e	96 a	69 d	66,57 b
2RR	94 a	93 b	85 b	52,41 a
3RR	89 b	95 b	86 b	54,95 a
4RR	88 b	96 a	88 a	71,33 c
5RR	70 d	88 c	41 e	85,36 e
6RR	84 c	93 b	82 b	79,09 d
7RR	96 a	98 a	93 a	79,17 a
8IPRO	85 c	91 b	81 b	81,81 e
9IPRO	82 c	85 c	72 d	53,21 a

10IPRO	80 c	83 c	74 c	65,79 b
11IPRO	73 d	86 c	72 d	73,63 c
12IPRO	56 f	76 d	31 f	109,0 f
13IPRO	65 e	86 c	83 b	76,42 c
14IPRO	93 a	99 a	92 a	67,02 b
CV(%)	3,48	3,12	4,56	5,32

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Do Autor (2020)

Pelo padrão exigido pelo controle de qualidade externo, realizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, as cultivares 1, 11, 12 e 13 não poderiam ser comercializadas, pois a germinação das sementes ficou abaixo de 80% (TABELA 3, FIGURA 2) (BRASIL, 2003). Os maiores valores de porcentagem de germinação foram encontrados para as cultivares 2, 7 e 14, variando de 93 a 96% de sementes germinadas. Estas são as únicas cultivares cuja porcentagem de germinação mínima esta pautada em 90% (FIGURA 2).

Figura 2 - Gráfico de dispersão para os testes fisiológicos de cultivares de soja RR e IPRO, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras – MG.

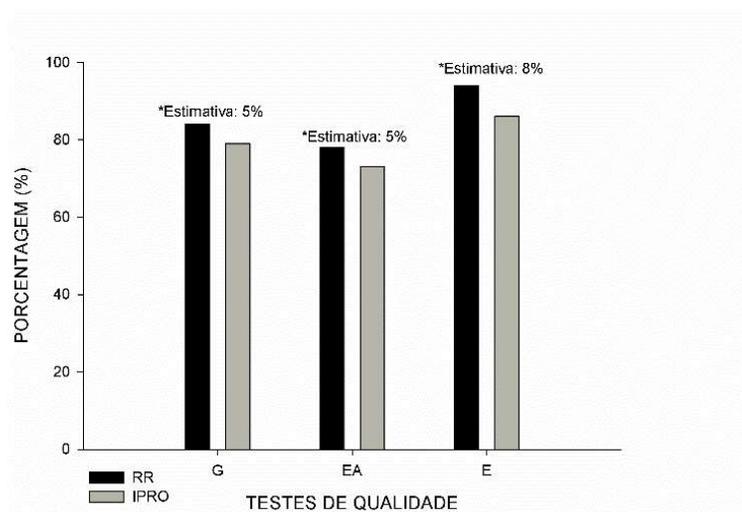


Fonte: Do Autor (2020)

As cultivares 7 RR e 14 IPRO apresentaram maiores médias de germinação enquanto , as cultivares 5 RR e 12 IPRO apresentaram as menores médias de germinação. O mesmo ocorreu quando avaliou-se o vigor das sementes por meio dos testes de envelhecimento acelerado e emergência de plântulas. Estes resultados podem estar ligados ao nível de melhoramento destas cultivares para a característica de qualidade de sementes. A alguns anos, estas características também distinguem as cultivares de soja convencionais e as cultivares RR, as quais não haviam passado por um processo de melhoramento acentuado, entre os anos de 1998 e 2005, principalmente no Brasil, que somente após a aprovação da lei de Biossegurança em março de 2005, a qual autorizou a produção e comercialização de produtos geneticamente modificados, motivou as empresas produtoras de sementes a investir no melhoramento genético das cultivares transgênicas (BRASIL, 2005).

Nota-se que 4 das cultivares IPRO apresentaram baixa germinação. Com este resultado, a média de germinação das cultivares RR foi superior à média de germinação das cultivares IPRO (FIGURA 3).

Figura 3 - Contraste ortogonal e Resultados médios da qualidade de sementes:germinação (G%), emergência (E%) envelhecimento acelerado (EA%) de tecnologias de soja RR e IPRO, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras - MG. \*Significancia à 1% de probabilidade.



Fonte: Do Autor (2020)

Carvalho et al. (2012) comparando a soja convencional com sua versão transgênica RR verificaram o mesmo comportamento pelo teste de germinação em que, mesmo não havendo diferença significativa para o início da germinação entre os dois materiais, a soja convencional apresentou germinação e vigor superior em relação a sua versão transgênica.

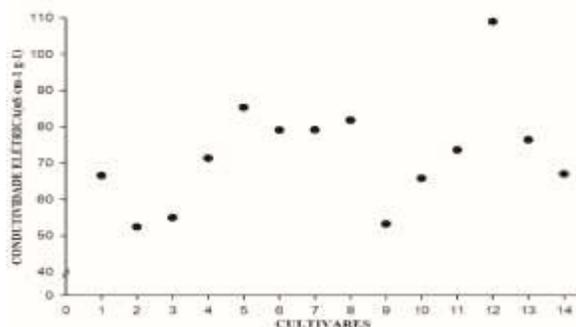
Pelos testes de vigor as mesmas cultivares que apresentaram alta viabilidade pelo teste de germinação se sobressaíram (FIGURA 1). O teste de emergência retrata um melhor desempenho das cultivares, em que 8 das cultivares estudadas apresentaram média de plântulas emergidas acima de 90% (TABELA 1). Vale salientar que 7 delas são pertencentes ao grupo de tecnologia RR, que obteve média de 94% de plântulas emergidas em relação à 86% às de tecnologia IPRO (FIGURA 4), demonstrando uma maior superioridade das cultivares RR em relação as cultivares IPRO. Observou-se que o teste de emergência de plântulas para as sementes das cultivares RR e IPRO apresentou médias superiores às observadas no teste de germinação (TABELA 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho et al. (2012) e Braccini et al. (1994), que também observaram valores significativamente superiores de viabilidade das sementes de diferentes genótipos de soja, no teste de emergência de plântula em relação aos obtidos no de germinação. Esse resultado pode estar relacionado à infecção das sementes por *Phomopsis* spp. (FRANÇA NETO et. al 1992), visto que a presença do fungo, na maioria dos casos, ocorre apenas no tegumento das sementes de soja, causando variações nos resultados obtidos entre os testes de germinação e o conduzido na areia.

O teste de envelhecimento acelerado é um teste utilizado para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de soja, altamente empregado pelo controle de qualidade interno das empresas produtoras de sementes uma vez que fornece um parâmetro de qualidade fisiológica mais sensível que o teste de germinação e é capaz de identificar genótipos com alta qualidade fisiológica de sementes (MORENO et al., 2019). Pelo teste de envelhecimento acelerado somente as cultivares 7 e 14 apresentaram médias de sementes germinadas acima de 90% isto aconteceu porque sementes de baixa qualidade deterioram-se mais rapidamente do que as mais vigorosas, apresentando queda acentuada de sua viabilidade, após serem submetidas ao envelhecimento acelerado (MARCOS FILHO, 1999). Aquelas sementes que apresentaram bom desempenho pelo teste de germinação e no entanto estavam com o sistema de membranas desestruturado, apresentaram redução na germinação após serem expostas a níveis elevados de temperatura e umidade relativa do ar,

considerados os fatores ambientais preponderantes na intensidade e velocidade de deterioração, como é o caso das cultivares com germinação acima de 80% e que após o envelhecimento ficaram abaixo desta faixa (FIGURA 1). Pelos resultados, verifica-se que este teste não foi capaz de diferenciar as cultivares com relação as tecnologias (TABELA 2).

O teste de condutividade elétrica confirma a desintegridade das membranas das sementes com altos valores de exsudatos para aquelas de baixo desempenho nos testes anteriores e nos revela um menor desempenho de cultivares IPRO em relação à cultivares RR (TABELA 4). Os valores de condutividade elétrica variaram de 52,41  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  para a cultivar 2 a 109  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  para a cultivar 12 a qual, dentre as cultivares, foi a que apresentou maior condutividade elétrica e demonstrou baixos índices de vigor (FIGURA 3). Os valores padrões de condutividade, segundo Vieira & Krzyzanowski (1999), devem estar na faixa de 70-80  $\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$  para lotes de sementes de soja de alto vigor, porém com forte tendência a apresentarem médio vigor. Verifica-se que 3 das 14 cultivares estudadas, 5, 8 e 12, fogem deste limiar e são caracterizadas como de baixo vigor pelos testes fisiológicos (FIGURA 4). É importante ressaltar que cada cultivar possui características próprias em seu sistema de membranas o que causa esta grande variação no teste de condutividade elétrica que se torna mais eficiente na comparação de lotes de uma mesma cultivar.

Figura 4. Gráfico de dispersão de condutividade elétrica de cultivares de soja RR e IPRO, ano agrícola 2016/17, UFLA, Lavras – MG.



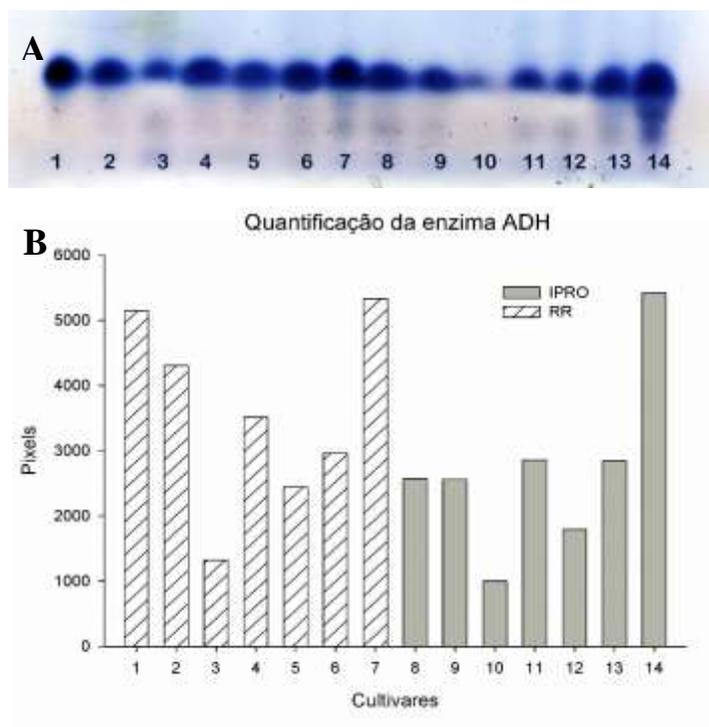
Fonte: Do Autor (2020)

Como foi observado, as cultivares apresentaram variabilidade quanto a qualidade fisiológica de sementes quando submetidas aos testes de vigor e germinação. Houve também diferentes padrões de expressão de enzimas em sementes das cultivares avaliadas e grande correlação com os resultados dos testes fisiológicos.

Houve uma maior expressão da enzima ADH em cultivares RR em comparação as cultivares IPRO (FIGURA 5). Um maior teor de álcool desidrogenase nas células das sementes indica uma menor concentração de acetaldeído, produto resultante da respiração anaeróbica das células que causa maior deterioração (MORENO et al., 2019).

Isto indica que uma maior expressão da enzima ADH reflete em uma maior proteção contra a deterioração e conseqüentemente maior vigor, como foi comprovado pelos testes fisiológicos em que as cultivares 7 e 14 obtiveram a maior porcentagem de sementes germinadas bem como maior vigor pelos testes de envelhecimento acelerado e emergência de plântulas (FIGURA 2). Estes resultados corroboram com os resultados encontrados por Carvalho et al. (2014) que constataram maiores expressões de ADH em sementes de cultivares com qualidade fisiológica superior. As cultivares 1,2,4,7 e 14 com maior expressão de ADH apresentaram médias superiores nos testes de emergência e envelhecimento acelerado (TABELA 3).

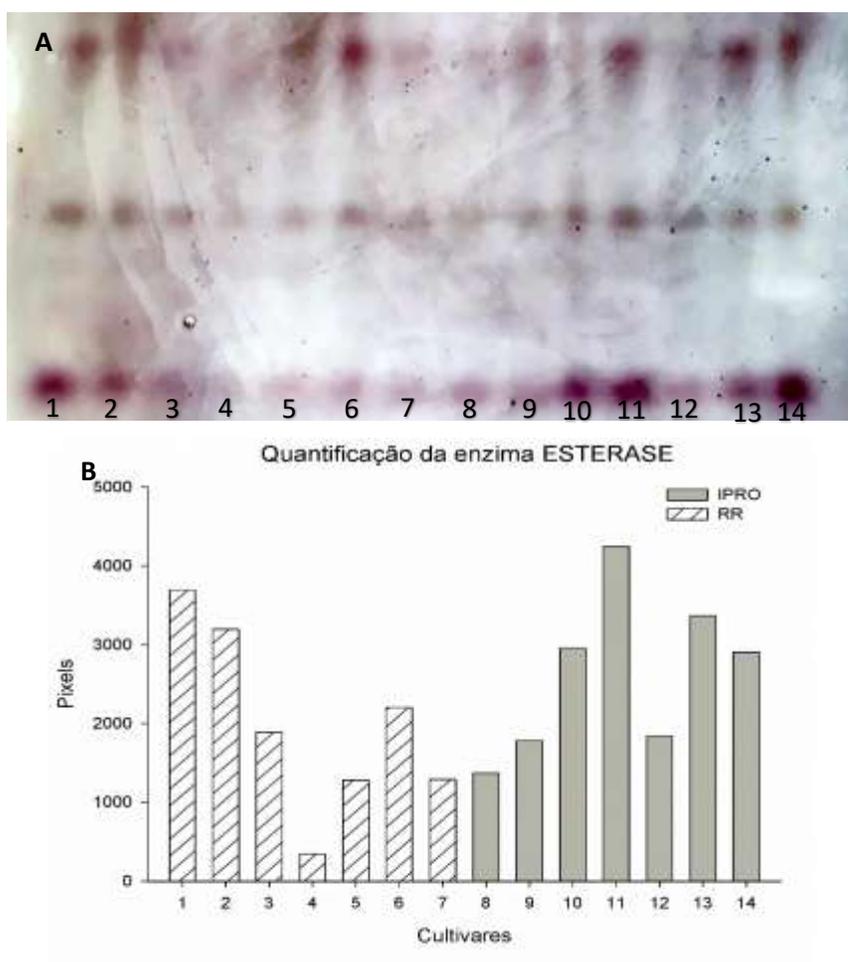
Figura 5 – Padrão enzimático da Álcool desidrogenase de cultivares RR e IPRO. A) Análise visual da ADH; B) Análise quantitativa da ADH.



Fonte: Do Autor (2020)

Para a enzima esterase, no geral houve uma maior expressão em sementes de cultivares que apresentaram baixa germinação, sendo as cultivares 11, 1 e 13 com os maiores índices de expressão da enzima (FIGURA 6). É uma enzima que possui uma relação inversa a qualidade de sementes.

Figura 6 – Padrão enzimático da esterase de cultivares RR e IPRO. A) Análise visual da esterase; B) Análise quantitativa da esterase.



Fonte: Do Autor (2020)

Trata-se de uma enzima deteriorativa a qual age na hidrólise de ésteres, promovendo a desestabilização da bicamada lipídica acentuando o processo de deterioração (Vieira et al., 2013). Desta forma, pode-se associá-la a uma menor qualidade de sementes. Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira et al. (2015) que ao submeter sementes de milho com 45% de umidade ao processo de secagem notaram uma redução na qualidade fisiológica das sementes e

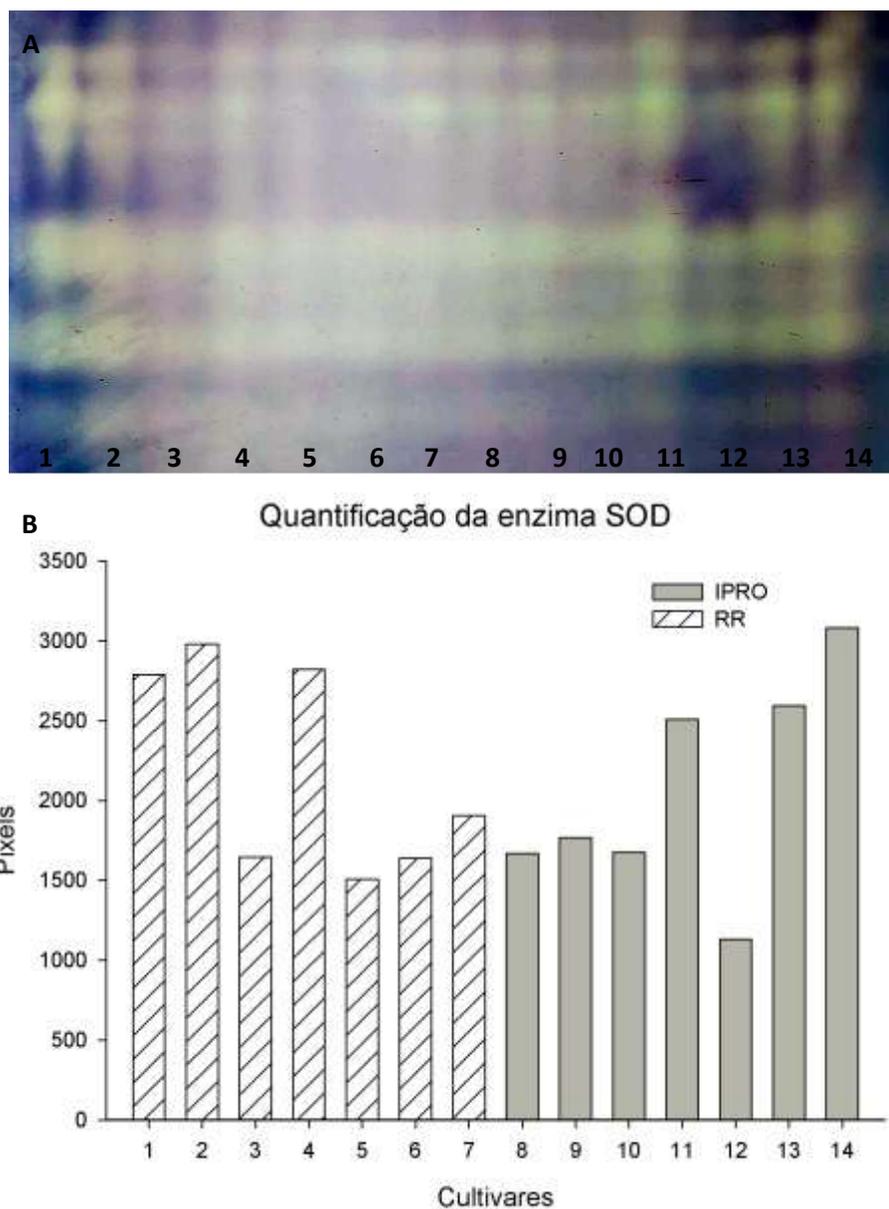
consequente aumento da expressão de esterase. Em sementes com alto grau de deterioração a expressão desta enzima passa a decair, tornando-se quase nulo como é o caso da cultivar 12 que pelos testes fisiológicos demonstrou baixíssima qualidade fisiológica e uma alta desestruturação de membranas uma vez que a leitura do teste de condutividade elétrica demonstrou um alto valor de condutividade do exsudato.

Vieira et al. (2013) ao estudar o armazenamento de sementes de soja, verificaram a redução da qualidade fisiológica das sementes ao longo do armazenamento e diminuição da atividade da esterase a partir do sexto mês, tendo ocorrido o desaparecimento das bandas aos nove e doze meses de armazenamento.

As enzimas superóxido dismutase e catalase (FIGURAS 7 E 8) constituem eficientes mecanismos de desintoxicação, atuando na remoção e redução de radicais livres, ou seja, possuem ação antioxidante atuando nas espécies reativas do oxigênio que causam danos celulares (MOLLER et al., 2007; DEUNER et al., 2011).

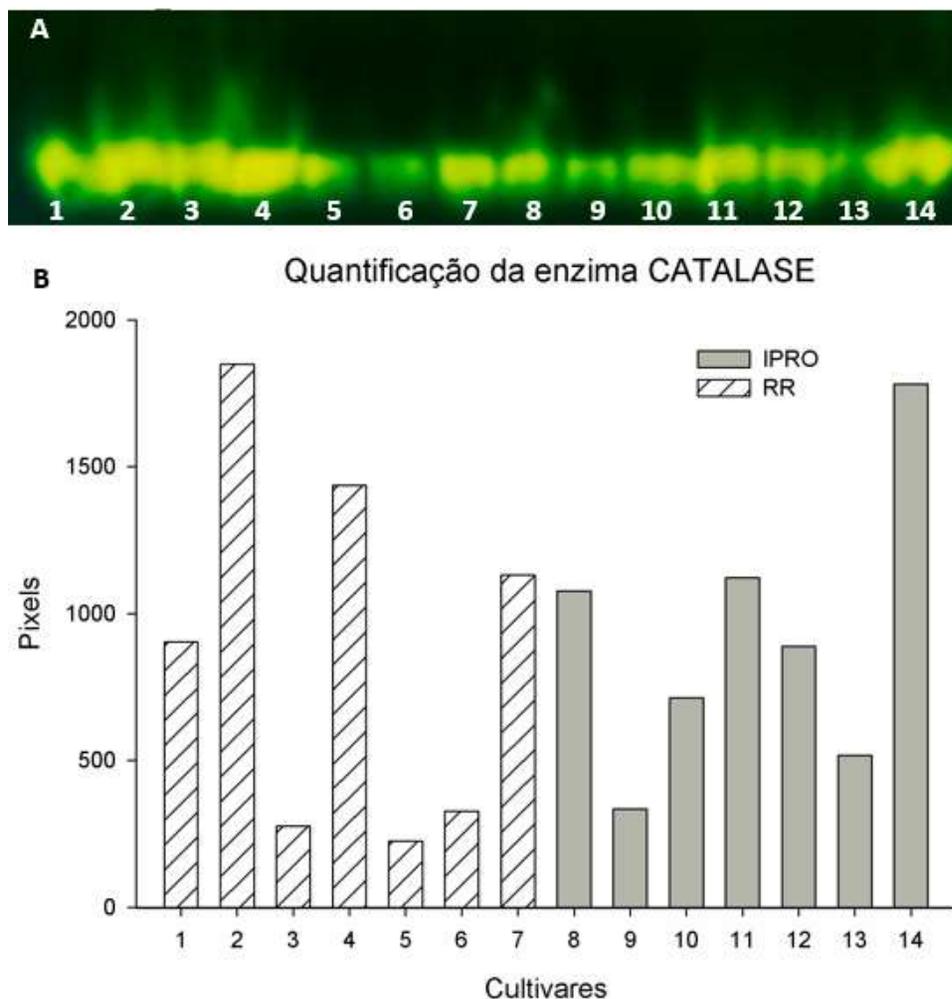
A SOD é a primeira enzima do grupo a trabalhar, atuando na linha de defesa contra formas reativas de oxigênio, uma vez que esta enzima anula a ação dos superóxidos ( $O_2^-$ ), catalisando reações de transferência de dois elétrons para produzir peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (MCDONALD, 1999).

Figura 7 – Padrão enzimático da Superóxido dismutase de cultivares RR e IPRO. A) Análise visual da SOD; B) Análise quantitativa da SOD.



Fonte: Do Autor (2020)

Figura 8 – Padrão enzimático da catalase de cultivares RR e IPRO. A) Análise visual da catalase; B) Análise quantitativa da catalase.



Fonte: Do Autor (2020)

A catalase, por sua vez age na remoção do peróxido de hidrogênio produzido, altamente tóxico as sementes. Diante disso, para o mecanismo estar de acordo e em ótima funcionalidade, essas duas enzimas devem possuir comportamentos semelhantes, já que uma finaliza o trabalho da outra. A atividade da CAT apresentou resultado coerente com a SOD, uma vez que a atividade de ambas foi maior em sementes de maior viabilidade e vigor, como é o caso das cultivares 2, 4, 7 e 14 (FIGURAS 6 E 7). Ferreira et al. (2015) também verificaram tal coerência em seu trabalho.

## 4 CONCLUSÕES

Em relação às cultivares RR, a inserção do gene Cry1Ac em cultivares IPRO apresenta indícios de afetar a qualidade fisiológica das sementes.

Não há diferenças entre os padrões de expressão enzimática de cultivares RR e IPRO

As sementes das cultivares 7 e 14 possuem maior viabilidade e vigor que as sementes das demais cultivares estudadas.

**AGRADECIMENTOS:** À CAPES, ao CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFENAS, Acelino Couto *et al.* **Eletroforese e marcadores bioquímicos em plantas e microorganismos.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006.

BRACCINI, A.I.; REIS, M.s.; SEDIYAMA, C.s.; SEDIYAMA, T.. Avaliação da qualidade fisiológica e sanitária da semente de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com diferentes graus de impermeabilidade do tegumento. *Revista Brasileira de Sementes*, [s.l.], v. 16, n. 2, p. 195-200, 30 dez. 1994. *Revista Brasileira de Sementes*. <http://dx.doi.org/10.17801/0101-3122/rbs.v16n2p195-200>.

BRASIL. Constituição (2003). Lei nº 10711, de 05 de agosto de 2003. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudanças e dá outras providências.. **Nova Lei de Sementes.** Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil., 05 ago. 2003.

BRASIL. Constituição (2005). Lei nº 11105, de 24 de março de 2005. Dispõe sobre Regulamenta os incisos II, IV e V do parágrafo 1º do art. 225 da Constituição Federal e dá outras providências. **Lei de Biossegurança.** Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil., 24 mar. 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Regras para análise de sementes.** Brasília, 2009. 395 p.

CARVALHO, Cristiane de; NOVENBRE, Ana Dionísia Luz Coelho. Avaliação da qualidade de sementes de fumo, nuas e revestidas, pelo teste de condutividade elétrica. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 177-185, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222011000100020>.

CARVALHO, Everson Reis; MAVAIEIE, Denilson Paulo da Rosa; OLIVEIRA, João Almir; CARVALHO, Marcos Vinícios de; VIEIRA, Antônio Rodrigues. Alterações isoenzimáticas em sementes de cultivares de soja em diferentes condições de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 49, n. 12, p. 967-976, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2014001200007>.

CARVALHO, Tereza Cristina de; GRZYBOWSKI, Camila Ribeiro de Souza; OHLSON, Osvaldo de Castro; PANOBIANCO, Maristela. Comparação da qualidade fisiológica de sementes de soja convencional e de sua derivada transgênica. *Revista Brasileira de Sementes*, [s.l.], v. 34, n. 1, p. 164-170, 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222012000100020>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2019/20 - terceiro levantamento**. Brasília: Conab, 2019.

DEUNER, Cristiane; MAIA, Manoel de Souza; DEUNER, Sidnei; ALMEIDA, Andréia da Silva; MENEGHELLO, Géri Eduardo. Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. *Revista Brasileira de Sementes*, [s.l.], v. 33, n. 4, p. 711-720, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222011000400013>.

FERRÉ, Juan; VAN RIE, Jeroen. Biochemistry and Genetics of Insect Resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review Of Entomology**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 501-533, jan. 2002. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145234>.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 38, n. 2, p. 109-112, abr. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542014000200001>.

FERREIRA, Thaís Francielle; FERREIRA, Valquíria de Fátima; OLIVEIRA, João Almir; CARVALHO, Marcos Vinícios de; MIGUEL, Leonardo de Souza. Isoenzyme activity in maize hybrid seeds harvested with different moisture contents and treated. **Journal Of Seed Science**, [s.l.], v. 37, n. 2, p. 139-146, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v37n2147183>.

FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A.. **Diagnóstico completo da qualidade de semente de soja**. Londrina: Embrapa, 1992. 22 p.

GAO, A. G. *et al.* **Soybean Plant And Seed Other Publications Corresponding To Transgenevent Mon87701 And Methods For Detection Thereof**. . US n. US 8455198. Depósito: 31 out. 2011. Concessão: 4 jun. 2013.

GAZOLLA-NETO, Alexandre; FERNANDES, Marciabela Correa; GOMES, Aline Duarte; GADOTTI, Gizele Ingrid; VILLELA, Francisco Amaral. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA EM CAMPO DE PRODUÇÃO. **Revista Caatinga**, [s.l.], v. 28, n. 3, p. 119-127, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n314rc>.

INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGY APPLICATIONS. BIOTECHNOLOGY. 2020. Disponível em: [www.isaaa.org](http://www.isaaa.org). Acesso em: 10 jan. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA INMET. **Série climatológica**. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 12 jun. 2018.

MARCOS FILHO, J.. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B.. **Vigor de sementes: conceitos e testes. conceitos e testes.** Londrina: Abrates, 1999. p. 1-24.

MARCOS FILHO, J.; CÍCERO, S. M.; SILVA, W. R.. **Avaliação da qualidade das sementes.** Piracicaba: Esalq, 1987. 230 p.

MATAVELI, Lidiane Raquel Verola; POHL, Pawel; MOUNICOU, Sandra; ARRUDA, Marco Aurélio Zezzi; SZPUNAR, Joanna. A comparative study of element concentrations and binding in transgenic and non-transgenic soybean seeds. **Metallomics**, [s.l.], v. 2, n. 12, p. 800, 2010. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c0mt00040j>.

MCDONALD, M. B.. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science And Technology**, Zurich, v. 27, n. 1, p. 177-237, jan. 1999.

MIKLOS, John A.; ALIBHAI, Murtaza F.; BLEDIG, Stefan A.; CONNOR-WARD, Dannette C.; GAO, Ai -guo; HOLMES, Beth A.; KOLACZ, Kathryn H.; KABUYE, Victor T.; MACRAE, Ted C.; PARADISE, Mark S.. Characterization of Soybean Exhibiting High Expression of a Synthetic Bacillus thuringiensis cry1A Transgene That Confers a High Degree of Resistance to Lepidopteran Pests. **Crop Science**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 148-157, jan. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2006.07.0463>.

MINOTTI, P.I.; HALSETH, D.e.; SIECZKA, J.b.. Field Chlorophyll Measurements to Assess the Nitrogen Status of Potato Varieties. **Hortscience**, [s.l.], v. 29, n. 12, p. 1497-1500, dez. 1994. American Society for Horticultural Science. <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci.29.12.1497>.

MØLLER, Ian M.; JENSEN, Poul Erik; HANSSON, Andreas. Oxidative Modifications to Cellular Components in Plants. **Annual Review Of Plant Biology**, [s.l.], v. 58, n. 1, p. 459-481, jun. 2007. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.58.032806.103946>.

MORENO, Kiliany A. A.; PIRES, Raquel M. O.; CASTRO, Maria L. R.; VASCONCELLOS, Renato C. C.; SANTOS, Heloisa O.; PINHO, Édila V. R. V.. Gene Expression Related to Physiological Quality of Soybean Seeds. **Journal Of Agricultural Science**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 370, 15 fev. 2019. Canadian Center of Science and Education. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n3p370>.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E.. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos.** Pelotas: Ed. Universitária, 2012.

RNC - Registro Nacional de Cultivares. **Pesquisa de cultivares registradas.** 2019. Disponível em: [http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php). Acesso em: 12 dez. 2019.

ROSSI, Rubiana Falopa; CAVARIANI, Cláudio; FRANÇA-NETO, José de Barros. Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônômico de soja. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal Of Agricultural And Environmental Sciences**, [s.l.], v. 60, n. 3, p. 215-222, 2017. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2239>.

RSTUDIO. **RStudio: Integrated Development for R. RStudio**. 2015. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 25 nov. 2017.

THE AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION. **Soybean: production and technology**. production and technology. 2020. Disponível em: <https://soygrowers.com>. Acesso em: 12 jan. 2020.

VIEIRA, R. D.. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M.. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: Funep, 1994. p. 103-132.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C.. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B.. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999. p. 1-26.

VIEIRA, Bruno Guilherme Torres Licursi et al. Biochemical alterations in soybean seeds with harvesting time and storage temperature. *Journal Of Food, Agriculture & Environment*, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 887-891, out. 2013.