

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MATHEUS HENRIQUE TODESCHINI**

**PROGRESSO GENÉTICO DA SOJA NO BRASIL QUANTO À  
CARACTERES FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2018**

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MATHEUS HENRIQUE TODESCHINI**

**PROGRESSO GENÉTICO DA SOJA NO BRASIL QUANTO À  
CARACTERES FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2018**

MATHEUS HENRIQUE TODESCHINI

**PROGRESSO GENÉTICO DA SOJA NO BRASIL QUANTO À  
CARACTERES FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Benin  
Coorientador: Prof. Dr José Abramo Marchese

PATO BRANCO

2018

T567p Todeschini, Matheus Henrique.  
Progresso genético da soja no Brasil quanto à caracteres fisiológicos e  
agronômicos / Matheus Henrique Todeschini . -- 2018.  
49 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Benin  
Coorientador: Prof. Dr. José Abramo Marchese  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2018.  
Bibliografia: f. 40 – 49.

1. Ganho genético. 2. *Glycine max*. 3. Rendimento de grãos. 4. Taxa  
fotossintética. I. Benin, Giovani, orient. II. Marchese, José Abramo.  
coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD 22. ed. 630



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Pato Branco  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**Programa de Pós-Graduação em Agronomia**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título da dissertação n° XXX**

### **PROGRESSO GENÉTICO DA SOJA NO BRASIL QUANTO À CARACTERES FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS**

por

**MATHEUS HENRIQUE TODESCHINI**

Dissertação apresentada às 13 horas 50 min. do dia 05 de março de 2018 como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

---

**Prof. Dr. Lindolfo Storck**  
UFSM

---

**Prof. Dr. Michelangelo Muzell Trezzi**  
UTFPR

---

**Dr. Jair Rogerio Unfried**  
GDM Seeds

---

**Prof. Dr. Giovani Benin**  
UTFPR  
Orientador

---

**Prof. Dr. Moeses Andriago Danner**  
Coordenador do PPGA

“O Termo de Aprovação, devidamente assinado, encontra-se arquivado na Coordenação do Programa”

Dedico a realização desta dissertação a toda minha família e as pessoas que, de uma forma ou outra, contribuíram na execução deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e oportunidades encontradas.

Ao apoio de meus pais Miraldo Todeschini e Roseli T. Vendruscolo Todeschini e da minha irmã Isabella Todeschini, pela educação, valores familiares e auxílio nas tomadas de decisão.

Agradeço imensamente o apoio de meus avós Arcizo Vendruscolo (*in memoriam*) e Inês Dalagnol Vendruscolo, sem eles não teria chegado onde estou.

Ao meu orientador Prof. Dr. Giovani Benin, por sua valiosa orientação, aconselhamentos, dedicação e todos os conhecimentos transmitidos durante toda minha formação como Eng. Agrônomo e mestre em agronomia.

Aos colegas e amigos da UTFPR, em especial aos meus colegas de trabalho do grupo de melhoramento genético que me auxiliaram na execução desse e de inúmeros outros trabalhos, tenho esperança que nossa amizade nunca se dissipe, mesmo trilhando caminhos diferentes.

Agradeço também o Rotaract Pato Branco Vila Nova e todos seus integrantes, por me mostrarem o verdadeiro valor da amizade e do companheirismo nesse último ano.

Aos professores da UTFPR e a Capes pela oportunidade de aprendizado e pelo apoio financeiro e estrutural para realização desta pesquisa.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia pela oportunidade de aprendizado e crescimento pessoal e profissional durante toda minha graduação e aperfeiçoamento com o mestrado.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse finalizar o mestrado.

## RESUMO

TODESCHINI, Matheus Henrique. Progresso genético da soja no Brasil quanto à caracteres fisiológicos e agronômicos. 50 folhas. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma das principais culturas produzidas a nível mundial, sendo utilizada nos mais diversos ramos da agroindústria por ser uma excelente fonte de óleo e proteína. A produtividade da cultura no Brasil tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas, passando de 1748 kg ha<sup>-1</sup> na década de 1970, para 3362 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2016/17. Neste sentido, pesquisas com progresso genético de caracteres agronômicos e fisiológicos são de grande valia, pois podem indicar novos rumos para o melhoramento futuro da cultura. O objetivo deste estudo foi identificar o progresso genético em caracteres agronômicos e fisiológicos de soja, em uma série histórica de cultivares disponibilizadas para cultivo na região Sul do Brasil. Foram avaliadas 29 cultivares de soja, disponibilizadas para cultivo entre os anos de 1965 e 2011. Os experimentos foram conduzidos em Realeza-PR e Pato Branco-PR, na safra agrícola 2016/17. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com três repetições. As unidades experimentais foram constituídas de quatro linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas 0,5 m entre linhas, e com densidade de semeadura de 35 sementes m<sup>-2</sup>. Os tratamentos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura. Os resultados mostraram ganho genético de 39,42 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na média dos locais. As cultivares modernas apresentam maior rendimento biológico (RB), índice de colheita (IC), número de vagens por planta (NVP), e altura da inserção da primeira vagem (AIPV), além de apresentarem menor número de ramos por planta (NRP), altura (AP), e score de acamamento (SA). Houve redução no período vegetativo das cultivares modernas, fazendo com que a relação entre os períodos reprodutivo e o vegetativo (R/V) fosse elevada. Também foi observado progresso genético para taxa fotossintética (Pn – r= 0,67\*\*) e taxa de transpiração (Tr – r= 0,88\*\*). No entanto, para os caracteres eficiência de uso da água (WUE) e condutância estomática (g<sub>s</sub>), não foram constatadas diferenças significativas. Dentre os caracteres avaliados, o RB, NVP, IC, R/V e o número de grãos por vagens (NGV), apresentaram as maiores associações com o rendimento de grãos (RG), além dos caracteres fisiológicos Pn, Tr, e índices de clorofila *a* e *b* (ICF *a* e *b*, respectivamente). Portanto, estratégias de melhoramento que maximizem a razão R/V, e que priorizem a seleção indireta através dos caracteres IC, RB e NVP, além dos caracteres fisiológicos Pn, Tr e ICF *a* e *b*, podem contribuir para o aumento do progresso genético da cultura nos próximos anos.

**Palavras-chave:** Ganho genético; *Glycine max*; Rendimento de grãos; Taxa fotossintética.



## ABSTRACT

TODESCHINI, Matheus Henrique. Soybean genetic progress in Brazil: physiological and agronomic traits. 50 sheets. Dissertation (Masters in Agronomy) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2018.

Soybean (*Glycine max* L. Merrill) is one of the main crops in a global level, being used in the most diverse fields of agroindustry for being an excellent oil and protein source. Productivity of the crop in Brazil has increased considerably in the last decades, from 1748 kg ha<sup>-1</sup> in the 1970s, to 3362 kg ha<sup>-1</sup> in the 2016/17 crop season. In this sense, genetic progress researches of agronomic and physiological characters are of great value, since they can indicate new directions for the feature improvement of the culture. The objective of this study was to identify the genetic progress in agronomic and physiological characteristics of soybean in a historical series of cultivars released for cultivation in south Brazil. There were 29 soybean cultivars evaluated, which were released between years of 1965 to 2011. The experiments were conducted in Realeza – PR and Pato Branco – PR, in 2016/17 crop season. The used experimental design was the random block design with three replications. The experimental units were constructed with four lines of five meters long spaced in 0,5 m between lines, using 35 seeds m<sup>-2</sup>. Cultural practices were carried out in accordance with the technical recommendations for the culture. The results showed genetic gain of 39,42 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in the locals average. The moderns cultivars present higher values of biological yield (BY), harvest index (HI), number of pods per plant (NPP), and height of the bottom pod (HBP), in addition to presenting lower number of branches per plant (NBP), plant height (PH), and lodging score (LS). There was a reduction in the vegetative period of the modern cultivars, causing the relationship between the reproductive and vegetative (R/V) to be increased. Genetic progress was also observed for photosynthetic rate ( $P_n - r= 0,67^{**}$ ) and transpiration rate ( $Tr - r= 0,88^{**}$ ). However, for the traits of water use efficiency (WUE) and stomatal conductance (gs), no significant differences were found. Among the evaluated traits, BY, NPP, HI, R/V, and number of grains per pod (NGP) presented the highest associations with grain yield (GY), besides the physiological characters  $P_n$ ,  $Tr$ , and indices of chlorophyll a and b (ICF a and b, respectively). Therefore, breeding strategies that maximize the R/V ratio, and also prioritize indirect selection through the HI, BY, and NPP traits, as well as the physiological ones of  $P_n$ ,  $Tr$ , and ICF a and b, may contribute to increased genetic progress of the culture in the coming years.

**Keywords:** Genetic gain; *Glycine max*; Grain yield; Photosynthetic rate.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Associação entre ano de lançamento e rendimento de grãos (A), rendimento biológico (B), índice de colheita (C), número de vagens por planta (D), peso de mil grãos (E) e número de grãos por vagem (F). <sup>ns</sup>: Não significativo. \*, \*\*: Indicam significância do coeficiente de correlação linear a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018. .... 23
- Figura 2 – Associação entre ano de lançamento e a altura de inserção da primeira vagem (A), número de ramos por planta (B), score de acamamento (C), e altura de planta (D). \*, \*\*: Indicam a significância do coeficiente de correlação linear a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018. .... 35
- Figura 3 – Associação entre ano de lançamento e taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (B), eficiência de uso da água (C) e condutância estomática (D). <sup>ns</sup>: Não significativo. \*, \*\*: Indicam a significância do coeficiente de correlação linear a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018. .... 35
- Figura 4 – Associação entre ano de lançamento e os índices de clorofila *a* (A) e *b* (B). \*, \*\*: Indicam a significância do coeficiente de correlação linear a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018. .... 35
- Figura 5 – Tempo em dias entre a emergência e o início do florescimento (EM-FLO), e entre o início do florescimento e a maturação fisiológica (FLO-MAT), de 29 cultivares de soja desenvolvidas em diferentes décadas. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018. .... 35
- Figura 6 – Associação entre ano de lançamento e dias até a maturação (A), e a razão do período reprodutivo e vegetativo (B). <sup>ns</sup>: Não significativo. \*, \*\*: Indicam a significância do coeficiente de correlação linear a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018. .... 35
- Figura 7 – Associação entre rendimento de grãos e caracteres agrônômicos e fisiológicos, avaliados em 29 cultivares de soja desenvolvidas em diferentes décadas. <sup>ns</sup>: Não significativo. \*, \*\*: Indicam a significância do coeficiente de correlação linear a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018. .... 35
- Figura 8 – Associação dos caracteres agrônômicos e fisiológicos com as 29 cultivares de soja desenvolvidas em diferentes décadas. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018. .... 35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cultivares avaliadas com seus respectivos anos de lançamento e obtentores. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018.. .....	23
Tabela 2 – Análise de variância conjunta para caracteres agrônômicos e fisiológicos de 29 cultivares de soja, avaliadas em Pato Branco-PR e Realeza-PR. UTFPR, Campus Pato Branco – PR, 2018.....	34

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EUA	Estados Unidos da América
GM	Grupo de Maturação
AP	Altura de Planta
AIPV	Altura de Inserção da Primeira Vagem
NNP	Número de Nós Reprodutivos por Planta
NRP	Número de Ramos por Planta
NVP	Número de Vagens por Planta
NGV	Número de Grãos por Vagem
DTF	Dias até o Florescimento
DTM	Dias até a Maturação
R	Período Reprodutivo
V	Período Vegetativo
Pn	Taxa Fotossintética
gs	Condutância Estomática
E	Taxa de Transpiração
WUE	Eficiência do Uso da Água
PAR	Photosynthetic Active Radiation
ICF	Índice de Clorofila
IGA	Interação Genótipo x Ambiente
RB	Rendimento Biológico
AS	Score de Acamamento
RP	Período Reprodutivo
IC	Índice de Colheita
RG	Rendimento de Grãos
PMS	Peso de Mil Grãos
EM	Emergência
FLO	Floração
MAT	Maturação

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
2.1 HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA SOJA.....	15
2.2 PROGRESSO GENÉTICO EM CARACTERES AGRONÔMICOS .....	16
2.3 PROGRESSO GENÉTICO EM CARACTERES FISIOLÓGICOS .....	18
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
3.1 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS E MATERIAL GENÉTICO .....	20
3.2 CARACTERES AGRONÔMICOS .....	21
3.3 TROCAS GASOSAS .....	22
3.4 ÍNDICE DE CLOROFILA .....	22
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	22
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	24
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	39
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	39

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas a nível global. Por ser uma importante fonte de óleo e proteína, esta oleaginosa possui muitos usos, sendo matéria-prima de inúmeros produtos na indústria alimentícia. Além da alimentação humana, seu uso também é destinado a alimentação animal, produção de biodiesel, e para inúmeras finalidades em diferentes regiões produtoras a nível mundial.

O cultivo comercial de soja no Brasil teve início na década de 1970, com produtividade média de 1748 Kg ha<sup>-1</sup>. Atualmente, com os avanços em genética e manejo, a produtividade média nacional é de 3364 Kg ha<sup>-1</sup>, e a produção na safra 2016/17 foi de 114,1 milhões de toneladas (Conab, 2017). Essa produção possibilita ao país estar na posição de segundo maior produtor mundial de soja, e segundo projeções da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), pode se tornar o maior produtor mundial nos próximos dez anos (FAO, 2016).

Estima-se que aproximadamente metade do ganho genético no rendimento de grãos em soja seja resultado do melhoramento genético, sendo o restante devido à melhoria das práticas de manejo (Liu et al., 2009; Rowntree et al., 2013; Weidenbenner et al., 2014). Vários estudos têm demonstrado, que o ganho genético em soja varia entre 9,97 e 43 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (De Felipe et al., 2016; Wang et al., 2016). Segundo projeções da FAO, a produção agrícola global precisa dobrar até 2050 para que a fome seja erradicada e a segurança alimentar mundial garantida, e para que essa meta seja alcançada, o ganho genético das culturas deve ser aumentado (Ray et al., 2013).

Estudos realizados em todo o mundo, tem relatado ganhos genéticos expressivos para a cultura da soja. Specht et al. (2014), observaram progresso no rendimento de grãos de 23 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no período entre 1924 e 2012 nos EUA. Esse ganho, segundo os autores, foi devido ao lançamento de cultivares com maior resistência ao acamamento (Morrison et al., 2000; Jin et al., 2010), maior eficiência dos parâmetros fotossintéticos (Jin et al., 2010; Liu et al., 2012), menor período vegetativo (De Felipe et al., 2016), e maior eficiência na absorção de nutrientes (McFarlane e O'Connor, 2014). Da mesma forma, em um estudo realizado na China, Liu et al. (2012) verificaram que houve aumento da eficiência de parâmetros fisiológicos, e que estes contribuíram para o aumento da produtividade de grãos. Os autores observaram, que através do

melhoramento genético, as cultivares modernas apresentaram maior taxa fotossintética (0,59% ano<sup>-1</sup>), e um menor índice de área foliar (0,31% ano<sup>-1</sup>). Além disso, a taxa de transpiração e a condutância estomática apresentaram acréscimos de 57,7 e 22,3%, respectivamente. Resultado semelhante foi relatado por Morrison et al. (1999) no Canadá, onde os autores também observaram associação positiva entre o rendimento de grãos e a taxa fotossintética. Estes resultados indicam, que o rendimento de grãos pode ser maximizado através da seleção indireta via taxa fotossintética.

Em relação aos parâmetros agronômicos, Jin et al. (2010) avaliando 45 genótipos de soja antigos e modernos, disponibilizados para cultivo entre os anos de 1950 e 2016 na China, relataram decréscimo na estatura de planta (13,8%), e conseqüente redução no escore de acamamento ao longo dos anos. Segundo os autores, o maior rendimento de grãos de cultivares modernas está relacionado ao aumento de grãos por planta e por vagem. Outro fator importante identificado neste estudo, foi a redução de sementes afetadas por doenças de acordo com o ano de lançamento (55,1%). No entanto, em estudo realizado por Rincker et al. (2014) nos EUA, os autores observaram que o peso de 100 grãos e a qualidade dos grãos não apresentaram variações significativas com o passar dos anos, sugerindo que o aumento no rendimento de grãos está relacionado ao número de grãos por unidade de área.

A avaliação do progresso genético entre cultivares antigas e modernas apresenta elevada importância, pois possibilita identificar as principais tendências ocorridas ao longo dos anos. No Brasil, ainda não há estudos que identifiquem e quantifiquem a importância de caracteres agronômicos e fisiológicos, para o incremento da produtividade de grãos obtida nos últimos 50 anos de melhoramento genético. Estas informações possibilitarão o entendimento dos principais avanços obtidos, bem como, o estabelecimento de novas estratégias para a obtenção de ganhos genéticos futuros.

Portanto, o objetivo do estudo foi de identificar o progresso genético em caracteres agronômicos e fisiológicos de soja, em uma série histórica de cultivares disponibilizadas para cultivo na região Sul do Brasil entre os anos 1965 e 2011.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA SOJA

A soja foi introduzida no Brasil em 1908 por imigrantes japoneses, porém, devido à importância e incentivo para a produção de café, inicialmente a cultura não ocupou um espaço significativo na agricultura nacional. A expansão do cultivo iniciou somente a partir da década de 1970, impulsionada pelo mercado internacional e pela indústria de óleo (Freitas, 2015). A partir de então, se estabeleceu como uma cultura economicamente importante para o país, por ser uma excelente fonte de óleo e proteína, sendo utilizada na alimentação humana e animal, produção de biodiesel, uso industrial, entre outras finalidades.

Inicialmente, o cultivo da soja era restrito a região Sul do Brasil, região onde a cultura possuía adaptação. Um dos grandes fatores responsáveis por alavancar a produção de soja no país, foi a obtenção de cultivares adaptadas as condições de baixas latitudes, principalmente a região Centro-oeste do Brasil. A descoberta de genes que controlam a característica de período juvenil longo, foi a solução encontrada por pesquisadores para retardar o florescimento da soja em condições de dias curtos, e assim, possibilitar a expansão da cultura para as demais regiões do Brasil (Hartwig e Kiihl, 1979; Kiihl et al., 1985). Isso possibilitou que a área cultivada passasse de 6 milhões de hectares na década de 1970, para mais de 34 milhões de hectares na safra 2017/18, com incremento na produção de mais de 102 milhões de toneladas anuais (CONAB, 2018).

Atualmente, a cultura ocupa uma área de 120,9 milhões de hectares a nível mundial, com produção de 351,3 milhões de toneladas anuais. Os EUA ocupam o posto de maior produtor mundial de soja, seguido pelo Brasil e pela Argentina (FAO, 2017). No Brasil, os estados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul são os principais produtores, sendo responsáveis pela produção anual de 30,5, 19,5 e 18,7 milhões de toneladas de grãos, respectivamente (CONAB, 2017).

O consumo interno de soja no Brasil é de aproximadamente 47 milhões de toneladas, e o excedente da produção, cerca de 52 milhões de toneladas, é exportado, gerando uma renda aproximada de U\$19,3 bilhões para o país (Embrapa, 2017). A exportação do grão é realizada



principalmente para a China, que se mantém como maior importador mundial de soja, com 86 milhões de toneladas na safra 2016/17 (USDA, 2017).

Segundo estimativas da FAO, nos próximos dez anos, o Brasil e a Argentina terão um incremento de pelo menos 20 milhões de hectares a mais na área plantada com a cultura. Além disso, estima-se que neste mesmo período, o Brasil pode se tornar o maior produtor mundial de soja, superando a produção dos Estados Unidos (FAO, 2016). Neste sentido, os programas de melhoramento terão um papel cada vez mais importante em disponibilizar cultivares mais produtivas e adaptadas para cultivo, possibilitando ao Brasil alcançar o posto de maior produtor mundial de soja.

## 2.2 PROGRESSO GENÉTICO EM CARACTERES AGRONÔMICOS

O aumento no rendimento de grãos em soja tem sido atribuído principalmente ao melhoramento genético e as melhorias das práticas de manejo (De Bruin e Pederson, 2008; Wilson et al., 2014; Suhre et al., 2014; Wang et al., 2016). Isso possibilitou que a produtividade média brasileira passasse de 1748 kg ha<sup>-1</sup> em 1970, para 3364 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2016/17 (Conab, 2017). Porém, apesar dos aumentos crescentes de produtividade, o ganho genético atual não é suficiente para alcançar a meta das Nações Unidas de dobrar a produção de alimentos até 2050 (Ray et al., 2013). Neste sentido, a quantificação e identificação dos fatores responsáveis pelo progresso genético é de extrema importância para os programas de melhoramento (Rogers et al., 2014).

Diversos estudos têm sido realizados em todo o mundo visando identificar o progresso genético para várias culturas de importância econômica, tais como: feijoeiro comum (Chiorato et al., 2010), milho (Duvick, 2005; Storck et al., 2005), aveia branca (Barbosa Neto et al., 2000), trigo (Beche et al., 2014; Zhang et al., 2016), arroz (Lafitte et al., 2002; Dovale et al., 2012), e soja (De Bruin e Pederson, 2008; Koester et al., 2014; Felipe et al., 2016; Li et al., 2017), sendo relatados diferentes níveis de progresso genético. Em relação a cultura da soja, estudos realizados em vários países, incluindo EUA (Koester et al., 2014), Canadá (Morrison et al., 2000), Índia (Ramteke et al., 2011) e China (Qin et al., 2017), têm demonstrado progresso genético significativo no rendimento de grãos. Koester et al. (2014) avaliando 24 genótipos de soja lançados entre 1923 e 2007 nos EUA, observaram ganho genético de 26,5 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no

rendimento de grãos. No mesmo país, Rogers et al. (2014) avaliando cultivares de soja com diferentes grupos de maturação (GM), disponibilizadas para cultivo em um período de 80 anos, observaram ganho genético no rendimento de grãos de 21,7, 16,4 e 12,4 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para os grupos de maturação IV, V e VI, respectivamente. Da mesma forma, em um estudo realizado na Índia, Ramteke et al. (2011) observaram ganho genético de 2,6% ano<sup>-1</sup> no rendimento de grãos, considerando um período de 39 anos de melhoramento genético. Os autores também verificaram que o número de sementes por planta apresentou um acréscimo de 1,56% ano<sup>-1</sup>, com uma associação positiva com o rendimento de grãos. No entanto, apesar dos ganhos significativos relatados em diversos estudos, os fatores responsáveis pelos aumentos de produtividade ao longo dos anos ainda não estão bem estabelecidos. Kahlon et al. (2012), avaliando 18 genótipos comerciais lançados entre 1953 e 1999 nos EUA, observaram que os aumentos no rendimento de grãos estiveram relacionados principalmente com o aumento do número de nós reprodutivos, vagens e grãos por planta. Porém, em um estudo realizado na China, Qin et al. (2017) observaram que o incremento no rendimento de grãos ocorreu principalmente pelo aumento no peso de mil grãos, número de grãos por planta, e teor de óleo. Estes resultados indicam, que mais estudos são necessários para esclarecer quais fatores estão mais associados com os aumentos de produtividade da cultura.

O ganho genético da soja no Brasil tem sido pouco estudado. Em estudo realizado por Toledo et al. (1990), avaliando o período compreendido entre 1985 e 1990, os autores observaram ganhos variando entre 1,3 e 1,8% ano<sup>-1</sup> no estado do Paraná. Aliprandini et al. (1993), separaram as cultivares de soja lançadas entre 1985 e 1990 em três grupos (precoce, semi-precoce e médio), e observaram progresso genético de 0,89%, 0,38% e -0,28% ano<sup>-1</sup> para cultivares dos grupos precoce, semi-precoce e médio, respectivamente. Da mesma forma, Lange e Federizzi (2009) avaliando linhagens de quatro programas de melhoramento de soja, observaram ganhos variando entre 0,0 e 71,5 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (3,49% ano<sup>-1</sup>) para o estado do Rio Grande do Sul. Portanto, apesar de serem relatados ganhos genéticos significativos, mais estudos são necessários para o entendimento do progresso genético ocorrido para a cultura da soja no Brasil.

O incremento no rendimento de grãos ocorrido ao longo dos anos resultou em aumentos no teor de óleo, com conseqüente redução nos teores de proteína (Rowntree et al., 2013). Em um estudo realizado no Canadá, Morrison et al. (2000) também observaram que o

peso de mil grãos não se correlacionou com o ano de lançamento, porém, Specht e Williams (1984) observaram aumento de  $0,1\% \text{ ano}^{-1}$ . Além disso, outros caracteres melhorados juntamente com o rendimento de grãos foram a resistência a pragas (Jin et al., 2010), a redução da debulha natural (Heatherly e Elmore, 2004), e a redução do acamamento (Ustun et al., 2001).

Vale destacar ainda, que outro caractere importante para a produtividade de grãos em soja é o ciclo de desenvolvimento. Neste sentido, Rowntree et al. (2014) observaram redução do período vegetativo em cultivares modernas comparativamente a cultivares antigas, apresentando assim associação negativa com o rendimento de grãos. Os autores observaram ainda, que houve aumento no período reprodutivo com o passar dos anos, sendo este positivamente associado com o rendimento. Da mesma forma, Wang et al. (2015) avaliando 58 acessos de germoplasma e 6 cultivares comerciais, observam que o período reprodutivo foi aumentado com o melhoramento, ao contrário do período vegetativo que sofreu decréscimo. No entanto, vários estudos também têm demonstrado, que apesar do aumento no período reprodutivo, o ciclo total da cultura vem diminuindo ao longo dos anos (Ramteke et al., 2011; Liu et al., 2012; Qin et al., 2017).

O rendimento de grãos da soja é composto pela interação dos diferentes caracteres agronômicos. No entanto, até o momento, não há relatos de estudos avaliando o ganho genético para estes caracteres em cultivares brasileiras. Assim, identificar os caracteres responsáveis pelo acréscimo no rendimento de grãos em soja apresenta elevada importância, pois possibilita definir novos rumos para a continuidade do progresso genético da cultura.

### 2.3 PROGRESSO GENÉTICO EM PARÂMETROS FISIOLÓGICOS

Em relação aos parâmetros fisiológicos, a taxa fotossintética é um dos mais importantes para a produtividade das culturas, pois está diretamente relacionada com a produção de fotoassimilados e energia para as plantas. Vários estudos têm demonstrado, que existem diferenças expressivas na taxa fotossintética entre cultivares de soja (Buttery et al., 1981; Ashley e Boerma, 1989; Richards, 2000; Liu et al., 2012). Além disso, muitos estudos também indicam que o progresso genético em soja está relacionado com a melhoria de outros parâmetros fisiológicos, tais como a condutância estomática e o teor de clorofila. Neste sentido, Morrison et al. (1999) encontraram associação positiva do rendimento de grãos com a condutância estomática, taxa fotossintética e conteúdo de clorofila. Da mesma forma, Jin et al. (2010) e Liu et

al. (2012) relatam associações positivas entre rendimento de grãos e taxa fotossintética, com o ano de lançamento dos genótipos. Koester et al. (2016), estudando a enzima Rubisco, encontraram aumento na atividade de carboxilação da enzima de acordo com o ano de lançamento dos cultivares. Além disso, outros estudos também apontam que cultivares modernas apresentam menores índices de área foliar e maiores taxas fotossintéticas e condutância estomática (Morrison et al., 1999; 2000).

O teor de clorofila é um importante componente da fotossíntese das plantas, pois tem a função de absorver a energia luminosa. Assim, quanto maior a concentração de clorofila nos tecidos da planta, maior a produção fotossintética. Saitoh et al. (2004), compararam vários parâmetros relacionados a fotossíntese entre genótipos de soja selvagens e cultivados, e observaram maiores índices de clorofila em genótipos cultivados. Esse resultado sugere, que durante o período de domesticação da cultura, ocorreu a seleção indireta para maiores índices de clorofila, e, conseqüentemente, maiores rendimentos de grãos. Os maiores valores para os índices de clorofila foram atingidos em R5, tanto para genótipos cultivados como selvagens.

A condutância estomática é outro mecanismo fisiológico das plantas essencial para uma elevada produção de grãos. Assim, quanto mais tempo os estômatos permanecem abertos durante o dia, mais CO<sub>2</sub> é transportado até os cloroplastos, e conseqüentemente, maior é a fotossíntese. Vale destacar ainda, que a condutância estomática é um parâmetro muito importante para o desenvolvimento da planta sob condições de estresses (Roche, 2015). Neste sentido, Liu et al. (2012) destacam que enquanto a taxa de transpiração apresenta correlação significativa e positiva com o ano de lançamento, a eficiência de uso da água apresenta correlação negativa. Da mesma forma, Frederick et al. (1991) compararam cultivares antigas e modernas de soja sobre condições de stress hídrico, e observaram que cultivares antigas são mais eficientes no uso da água comparativamente a cultivares modernas. Portanto, o estudo de caracteres que contribuem indiretamente para o rendimento de grãos, fornece subsídios importantes para o aumento da eficácia dos programas de melhoramento (Pagliosa, 2016).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS E MATERIAL GENÉTICO

Os experimentos foram conduzidos em Pato Branco-PR (26,23° S e 52,67° W, a 765m de altitude), no campo experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, e em Realeza-PR (25,77° S e 53,53° W, a 520m de altitude), na sede da empresa Nidera Sementes. O solo de ambos os locais de experimentação é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Santos et al., 2006), e o clima, conforme a classificação de Koppen, é do tipo Cfb, subtropical úmido com verão temperado.

Foram avaliadas 29 cultivares de soja, disponibilizadas para cultivo no Brasil entre os anos de 1965 e 2011 (Tabela 1). O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com três repetições. As unidades experimentais foram compostas por quatro linhas de cinco metros de comprimento, com espaçamento de 0,5m entre linhas. Foi considerado como área útil, as duas linhas centrais de cada parcela, totalizando 5 m<sup>2</sup>. A densidade de semeadura utilizada foi de 30 plantas m<sup>-2</sup>. Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura.

**Tabela 1.** Cultivares avaliadas com seus respectivos anos de lançamento e obtentores. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018.

CULTIVAR	ANO	Código	Obtendor
BMX Apolo	2007	1	GDM Genética do Brasil
BMX Magna	2007	2	GDM Genética do Brasil
BMX Potência	2007	3	GDM Genética do Brasil
BMX Titan	2007	4	GDM Genética do Brasil
BR 16	1987	5	Embrapa
BR 4	1979	6	Embrapa
Bragg	1966	7	Embrapa
BRS 133	1997	8	Embrapa
BRS 184	2001	9	Embrapa
BRS 232	2003	10	Embrapa
BRS 284	2009	11	Embrapa
CD 202	1998	12	Coodetec
CD 206	1999	13	Coodetec
CD 208	1999	14	Coodetec

CD 214 RR	2003	15	Coodetec
CD 215	2002	16	Coodetec
Davis	1965	17	Embrapa (PI)
Embrapa 48	1995	18	Embrapa
FT Abyara	1988	19	FT Sementes
IAS 5	1973	20	Embrapa (PI)
OCEPAR 4 (Iguaçu)	1987	21	Ocepar
Paraná	1974	22	Embrapa
TMG 7161 RR	2010	23	Tropical Melhoramento e Genética
TMG 7262 RR	2011	24	Tropical Melhoramento e Genética
VMAX RR	2007	25	Syngenta
Vtop RR	2010	26	Syngenta
NA 5909	2008	27	Nidera Sementes
Nova Bragg (BR 6)	1981	28	Embrapa
NS 4823	2008	29	Nidera Sementes

### 3.2 CARACTERES AGRONÔMICOS

No estágio de maturação completa (R8), procedeu-se a escolha aleatória de 15 plantas por parcela, nas quais foram avaliados os seguintes caracteres: a) altura de planta (AP), mensurada em cm, do solo até a última vagem da planta; b) altura de inserção da primeira vagem (AIPV), mensurada em cm, do solo até a primeira vagem da planta; c) número de nós reprodutivos por planta (NNP), obtido a partir da contagem do número de nós reprodutivos das plantas amostradas, e calculado o valor médio; d) número de ramos por planta (NRP), obtido a partir da contagem do número de ramos das plantas amostradas, e calculado o valor médio; e) número de vagens por planta (NVP), obtido a partir da contagem do número de vagens das plantas amostradas, e calculado o valor médio e; f) número de grãos por vagem (NGV), obtido a partir da divisão entre o número de grãos e vagens das plantas amostradas.

Durante o desenvolvimento da cultura, em ambos os locais, dados fenológicos de emergência (VE), início do florescimento (R1), e maturação completa (R8), foram avaliados de acordo com o descrito por Fehr e Caviness (1977). Os períodos compreendidos entre a emergência e o florescimento (DTF), e entre a emergência e a maturação (DTM), foram calculados através do número de dias entre VE e R1, e entre VE e R8, respectivamente. O período reprodutivo foi então calculado através da diferença entre DTM e DTF. Com esses parâmetros, foi obtida a razão entre o período reprodutivo (R) e o vegetativo (V) (R/V).

### 3.3 TROCAS GASOSAS

Os parâmetros fotossintéticos foram avaliados entre às 8:00 e 11:00 horas da manhã, no estádio de início do enchimento de grãos (R5 – Fehr e Caviness, 1977), onde ocorre a maior demanda de fotoassimilados pela planta. Foi utilizado equipamento portátil, em sistema aberto, equipado com um analisador infravermelho de gases modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, Nebraska – USA), com injetor automático de CO<sub>2</sub>, e fonte artificial de luz vermelha e azul.

Os parâmetros avaliados foram: taxa fotossintética ( $P_N$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ), e eficiência do uso da água (WUE), obtida pela razão entre a  $P_N$  e a  $E$ . As condições microclimáticas na câmara de medida das amostras foram ajustadas a uma taxa constante com 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de PAR (Photosynthetic Active Radiation), e 400 ppm de CO<sub>2</sub>, com UR entre 50 e 80%.

### 3.4 ÍNDICE DE CLOROFILA

Os índices individuais (a e b) e totais (a + b) de clorofila foram mensurados no estádio R5. As leituras foram realizadas em folhas completamente expandidas, no terço superior das plantas, em 15 plantas por unidade experimental. As leituras foram realizadas com medidor eletrônico de clorofila óptico portátil, modelo ClorofiLOG CFL 1030 (Falker, Porto Alegre, Brasil).

### 3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta, para todos os caracteres em estudo, considerando os efeitos de local e de genótipo como fixos. Para as estimativas de ganho genético, foram realizadas análises de regressão linear, considerando as médias dos caracteres avaliados e os anos de lançamento das cultivares. Para a associação entre os caracteres avaliados, foi realizada análise de correlação de Pearson. Para tais análises, foi utilizado o programa estatístico Genes (Cruz, 2013). Também foi realizada a associação entre os caracteres e as cultivares avaliadas. Para esta análise foi utilizado o software GGE biplot, e foram estabelecidos

os seguintes parâmetros: Transformação de dados (Transform = 0, sem transformação), escala de dados (Scaling = 1, dados escalonados de acordo com o desvio padrão), centralização de dados (Data centering = 2, foco no genótipo + interação genótipo x ambiente (G+GE)).



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação genótipo × ambiente (IGA) significativa ( $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) para todos os caracteres avaliados, exceto para a eficiência de uso da água (WUE) e condutância estomática (gs). Os coeficientes de variação (0,85 a 21,62%) foram de baixa magnitude, indicando boa precisão experimental (Tabela 2).

**Tabela 2.** Análise de variância conjunta para caracteres agronômicos e fisiológicos de 29 cultivares de soja, avaliadas em Pato Branco-PR e Realeza-PR. UTFPR, Campus Pato Branco – PR, 2018.

	Fontes de Variação					Média	CV (%)	
	Blocos	Genótipo (G)	Ambiente (A)	A x G	Erro			
GL	2	28	1	28	114	-	-	
<b>Caracteres</b>	<b>Quadrados Médios</b>							
<b>Agronômicos</b>	RB	2766747,3	16103338,2**	427333126,1**	4890416,7**	1465669,39	8009,62	15,11
	AIPV	5,04	74,21**	187,01**	34,12**	5,71	13,12	18,2
	NNP	11,89	129,64**	1692,66**	50,71**	15,77	26,82	14,81
	NRP	0,41	23,12**	0,35	4,21**	0,76	4,7	18,54
	NVP	37,47	1409,21**	11391,85**	509,01**	47,41	67,13	10,25
	IC	181,27	1007,02**	16410,48**	134,25**	51,97	36,18	19,92
	RG	475344,1	2487880,42**	224268070,24**	278290,02**	92292,95	2878,75	10,5
	AP	40,16	675,81**	20944,14**	255,51**	28,82	107,55	4,99
	SA	1,39	26,63**	14,36**	1,74**	0,73	4,03	21,26
	R/V	0,001	0,51**	1,63**	0,03**	0,002	1,42	3,65
	RP	0,07	332,36**	174,0**	14,28**	2,46	80,28	1,9
	DTF	5,97	415,36**	1933,33**	25,6**	1,85	58,16	2,34
	DTM	6,22	514,13**	947,33**	17,35**	1,39	138,44	0,85
	PMS	159,94	1144,48**	115811,04**	805,49**	122,57985	148,87	7,43
	NGV	0,22	0,38**	31,21**	0,21**	0,06	1,25	20,42
<b>Fisiológicos</b>	WUE	0,02	0,001	0,82**	0,001	0,001	0,303	11,95
	Pn	0,46	15,99**	2,92	5,32**	1,98	21,62	6,51
	gs	0,04	0,05	1,49**	0,03	0,03	0,9	21,62
	E	8,36	3,03**	530,05**	1,25**	0,64	7,59	10,58
	ICF A	4,01	24,83**	30,96**	5,76**	1,69	32,13	4,05
	ICF B	1,66	5,83**	0,06	1,77**	0,74	10,5	8,21
	ICF A+B	4,32	50,81**	28,41**	11,58**	3,62	42,63	4,46

<sup>1</sup>RB: massa de grãos + palhada acima do solo na colheita; AIPV: altura de inserção da primeira vagem; NNP: número de nós produtivos por planta; NRP: número de ramos por planta; NVP: número de vagens por planta; IC: índice de colheita; RG: rendimento de grãos; AP: altura de planta; SA: score de acamamento; R/V: relação do período reprodutivo sobre o vegetativo;

RP: período reprodutivo; DTF: dias a floração; DTM: dias a maturação; PMS: peso de mil grãos; NGV: número de grãos por vagem; WUE: eficiência de uso da água;  $P_N$ : taxa fotossintética;  $g_S$ : condutância estomática;  $E$ : taxa de transpiração; ICF A: índice de clorofila falker A; ICF B: índice de clorofila falker B; ICF A+B: índice de clorofila falker A+B; CV: coeficiente de variação. <sup>ns</sup>, \*\* e \*, são valores não significativos e significativos a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente.

Também houve diferença significativa ( $p < 0,01$ ) para o rendimento de grãos (RG) (Tabela 2). No período avaliado (1965 a 2011), foram observados ganhos de 39,44, 40,67 e 40,06 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em Realeza-PR, Pato Branco-PR, e na média dos locais, respectivamente (Figura 1A). Esse ganho médio observado é equivalente a 2,4% ano<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes tem sido obtidos em outros estudos, sendo relatados ganhos de 9,97 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na China (Wang et al., 2016), 43 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na Argentina (De Felipe et al., 2016), 26,45 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nos EUA (Koester et al., 2014), e 10,17 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no Canadá (Morrison et al., 2000).

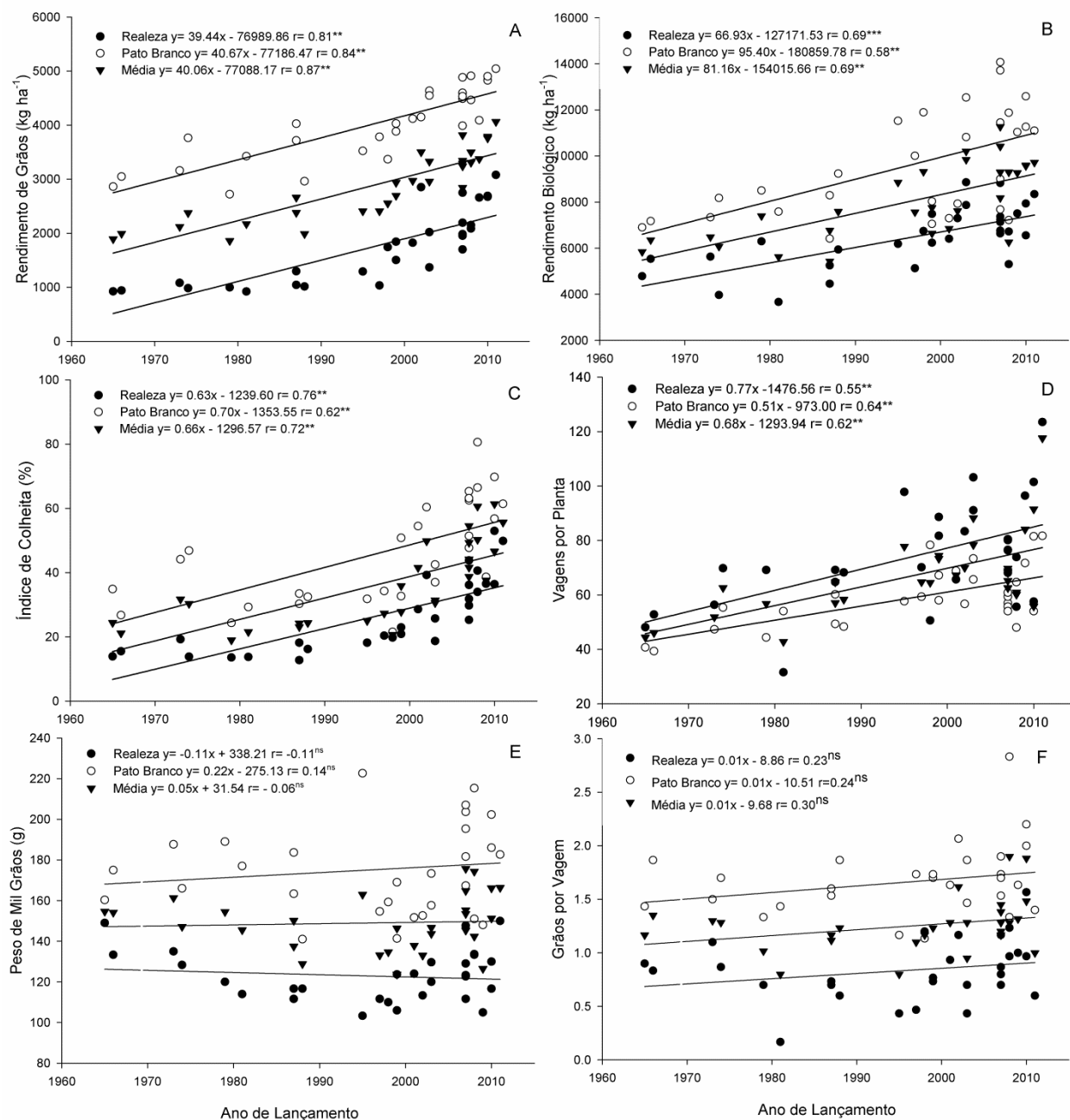
Os caracteres rendimento biológico (RB), índice de colheita (IC) e número de vagens por planta (NVP), apresentaram aumento linear e significativo com o ano de lançamento ( $r = 0,69^{**}$ ,  $0,72^{**}$ ,  $0,62^{**}$ , respectivamente) (Figura 1). O acréscimo no RB com o ano de lançamento, se deve principalmente pelo aumento no RG, resultado também observado por Koester et al. (2014), que relatam que cerca de 80% do ganho genético no RB se deve ao RG, resultante de uma melhor alocação de recursos nas plantas.

O IC é determinado pela eficiência das plantas em alocar recursos para a formação de grãos (Zhu et al., 2010). No presente estudo, os maiores valores de IC foram observados em genótipos modernos, que foram alcançados devido ao RG apresentar 100% de aumento no total dos anos, e o RB apenas 45% (Figura 1A e 1B, respectivamente). Comportamento semelhante foi relatado por Suhre et al. (2014) avaliando 116 genótipos cultivados em diferentes locais nos EUA, que também observaram um maior progresso para o RG comparativamente ao RB, o que resultou em aumento no IC.

O NVP é um componente que influencia diretamente o RG, sendo considerado um dos principais componentes responsáveis pelos aumentos de produtividade. Estudos conduzidos nos EUA, têm demonstrado um acréscimo no NVP em cultivares modernas de soja (Kahlon et al., 2012; Suhre et al., 2014), corroborando com o acréscimo de 1,51% ano<sup>-1</sup> encontrado no presente estudo. Contudo, Wang et al. (2016) comparando um grupo de genótipos lançados para cultivo na China, encontraram uma redução deste caractere em cultivares modernas.

Os caracteres número de grãos por vagem (NGV) e peso de mil grãos (PMS), não apresentam significância com o ano de lançamento ( $r = 0,30^{ns}$  e  $0,06^{ns}$ , respectivamente). No

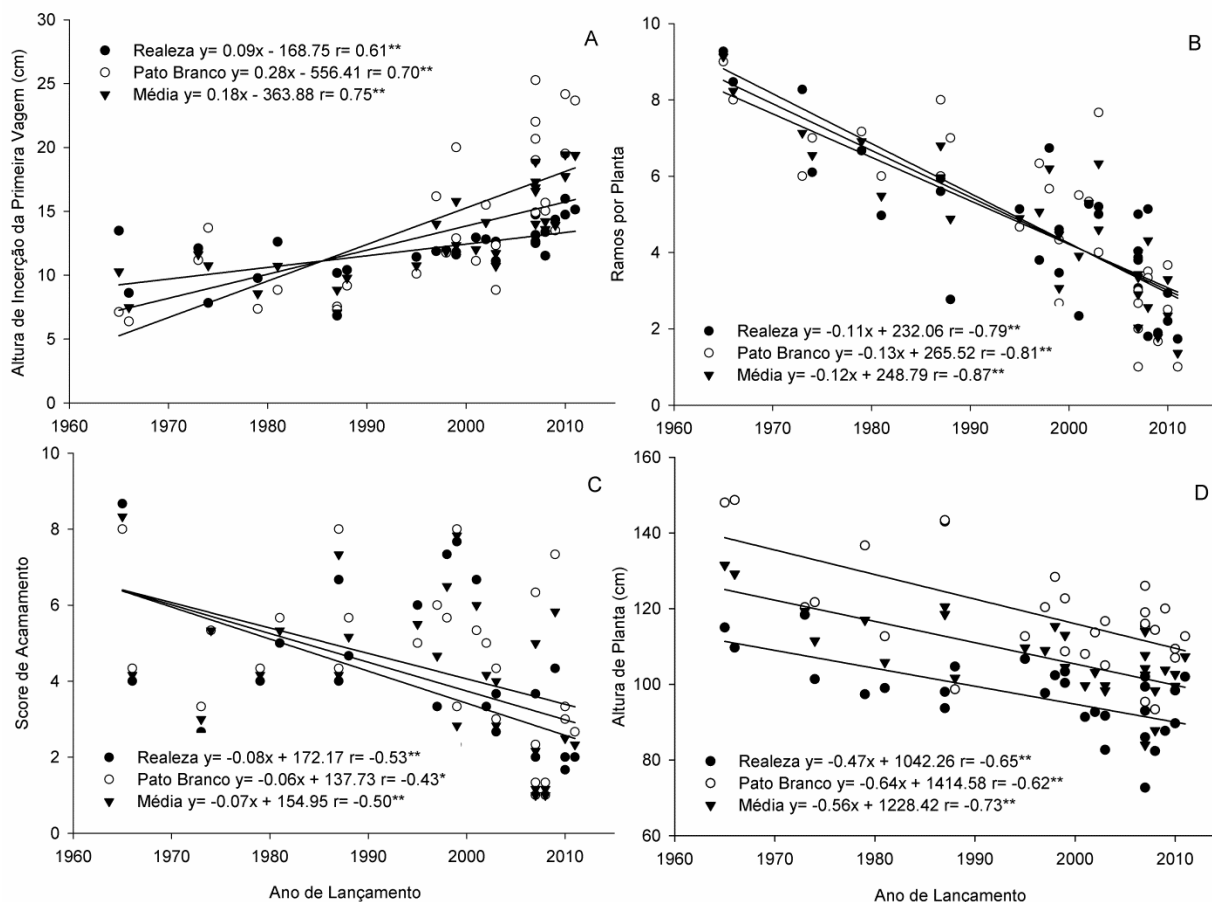
entanto, em estudos realizados por Cui e Yu (2005) e Wu et al. (2015), os autores encontraram associação positiva do NGV com o ano de lançamento, sendo um dos caracteres de maior importância para o RG. Com relação ao PMS, outros autores observaram resultados semelhantes ao obtido no presente estudo, não sendo constatada associação significativa com o ano de lançamento, e conseqüentemente, com o RG (Morrison et al., 2000; Jin et al., 2010). Esses resultados indicam, que os aumentos de produtividade de soja no Brasil estiveram mais associados com o aumento no número de vagens/grãos por planta, e não devido ao aumento no peso dos grãos.



**Figura 1.** Associação entre ano de lançamento e rendimento de grãos (A), rendimento biológico (B), índice de colheita (C), número de vagens por planta (D), peso de mil grãos (E) e número de grãos por vagem (F). <sup>ns</sup>: Não significativo. \*, \*\*: Indicam significância do coeficiente de correlação linear a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018.

O caractere altura de inserção da primeira vagem (AIPV) esteve positivamente associado com o ano de lançamento ( $r= 0,75^{**}$ , Figura 2A). No entanto, vários estudos realizados em outros países, indicam que a AIPV não apresenta diferença entre cultivares antigas e modernas (Wu et al., 2015; Wang et al., 2016), ou ainda, que houve decréscimo com o passar dos anos (Qin et al., 2017). Em relação ao número de ramos por planta (NRP), a associação com o ano de lançamento foi negativa ( $r= -0,87^{**}$ , Figura 2B). Em um estudo recente realizado na China, também foi observado decréscimo significativo nos RP (Qin et al., 2017), corroborando com os resultados obtidos no presente estudo. Esse comportamento pode explicar o fato de que genótipos modernos apresentam melhor desempenho em elevadas densidades de plantio (De Bruin e Pederson, 2009), e que falhas no stand comprometem significativamente a produtividade de grãos.

Os caracteres score de acamamento (SA) e altura de planta (AP) também têm diminuído em cultivares modernos em comparação com cultivares antigas ( $r= -0,50^{**}$  e  $-0,73^{**}$ , respectivamente – Figura 2C e D). Resultados similares foram observados em outros estudos (Ustun et al., 2001; Wilcox 2001; Ramteke et al., 2011; Rogers et al., 2014). O decréscimo na AP possibilitou uma maior tolerância ao acamamento nas cultivares modernas. A taxa de decréscimo para estes caracteres foram de  $0,07 \text{ ano}^{-1}$  para o SA, e de  $0,56 \text{ cm ano}^{-1}$  para a AP. Segundo Rincker et al. (2014), a obtenção de genótipos com resistência ao acamamento apresenta elevada importância, pois as perdas por acamamento a nível de campo ainda são elevadas. Os autores afirmam ainda, que a AP não necessariamente é um caractere de importância na seleção visando o RG, ao contrário do SA que possui uma maior importância em função das perdas que ocasiona.

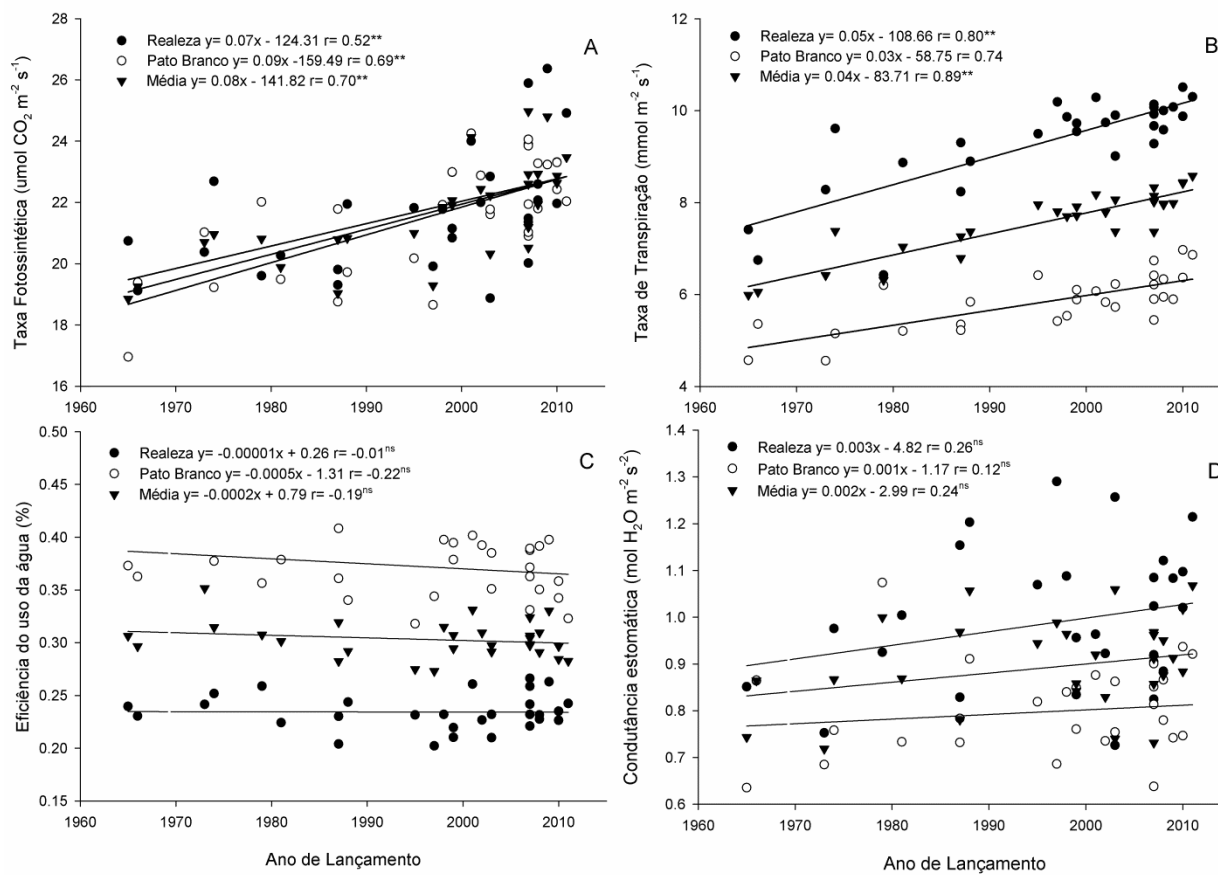


**Figura 2.** Associação entre ano de lançamento e a altura de inserção da primeira vagem (A), número de ramos por planta (B), score de acamamento (C), e altura de planta (D). \*, \*\*: Indicam a significância do coeficiente de correlação linear a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018.

A taxa fotossintética ( $P_n$  –  $r = 0,70^{**}$ ) esteve associada positivamente com o ano de lançamento (Figura 3A), com aumento de  $0,08 \mu \text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . O aumento na  $P_n$  na média de ambos os locais foi de 19,37%, considerando os 46 anos de melhoramento avaliados no presente estudo (1965 a 2011). Cui et al. (2016), avaliando 87 anos de melhoramento genético de soja na China, observaram ganhos similares na  $P_n$ . Segundo Morrison et al. (1999), a maior  $P_n$  nas cultivares modernas ocorre devido a redução na área foliar e aumento na demanda de fotoassimilados. Isso indica que a  $P_n$  está contribuindo para os incrementos em produtividade nos genótipos modernos, e este caractere pode ser utilizado na seleção indireta de genótipos

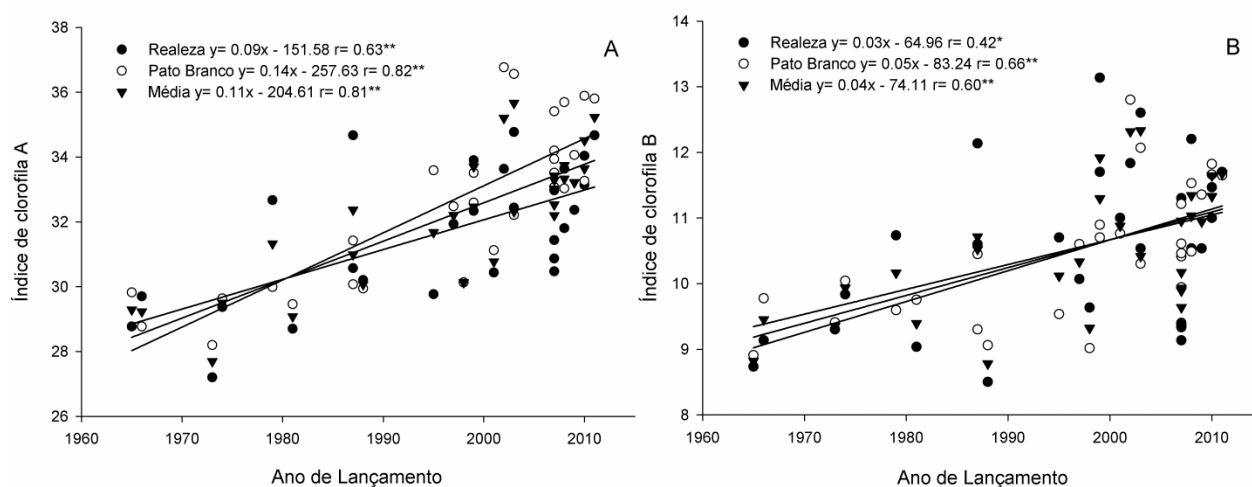
superiores. A taxa de transpiração ( $Tr - r = 0,89^{**}$ ) também esteve positivamente associada com o ano de lançamento (Figura 3B). Estes resultados corroboraram com os encontrados por Liu et al. (2012), que observaram que as cultivares mais produtivas também apresentaram maiores taxas de fotossíntese e transpiração.

A eficiência de uso da água (WUE) não apresentou diferença significativa ( $r = -0,19^{ns}$ ) com relação ao ano de lançamento (Figura 3C). Este resultado pode ser explicado, devido ao expressivo aumento na  $Tr$  nas cultivares modernas, causando redução na WUE (Liu et al., 2012). No entanto, alguns autores têm observado que a WUE possui associação negativa com o RG (Blum, 2005; Yoo et al., 2009). Da mesma forma, a condutância estomática ( $g_s - r = 0,24^{ns}$ ) também não apresentou diferença significativa ao longo dos anos (Figura 3D). Este resultado foi divergente do encontrado por Liu et al. (2012) na China, que observaram aumento significativo na condutância estomática ao longo dos anos ( $r = 0,32^*$ ).



**Figura 3.** Associação entre ano de lançamento e taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (B), eficiência de uso da água (C) e condutância estomática (D). <sup>ns</sup>: Não significativo. \*, \*\*: Indicam a significância do coeficiente de correlação linear a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018.

Os índices de clorofila *a* ( $r = 0,81^{**}$ ) e *b* ( $r = 0,60^{**}$ ) apresentam associação linear positiva com o ano de lançamento (Figuras 4A e 4B, respectivamente). Aumentos nos índices de clorofila também foram reportados nos EUA por Koester et al. (2016), e na China por Liu et al. (2012). Por serem pigmentos diretamente relacionados com a fotossíntese, os elevados conteúdos de clorofila observados nas cultivares modernas resultam em elevada *Pn*. Conseqüentemente, a correlação entre ICF  $a+b$  e *Pn* é de elevada magnitude ( $0,51^{**}$  - dados não apresentados). Assim, a avaliação do índice de clorofila pode ser uma estratégia utilizada para a seleção indireta de genótipos mais produtivos.



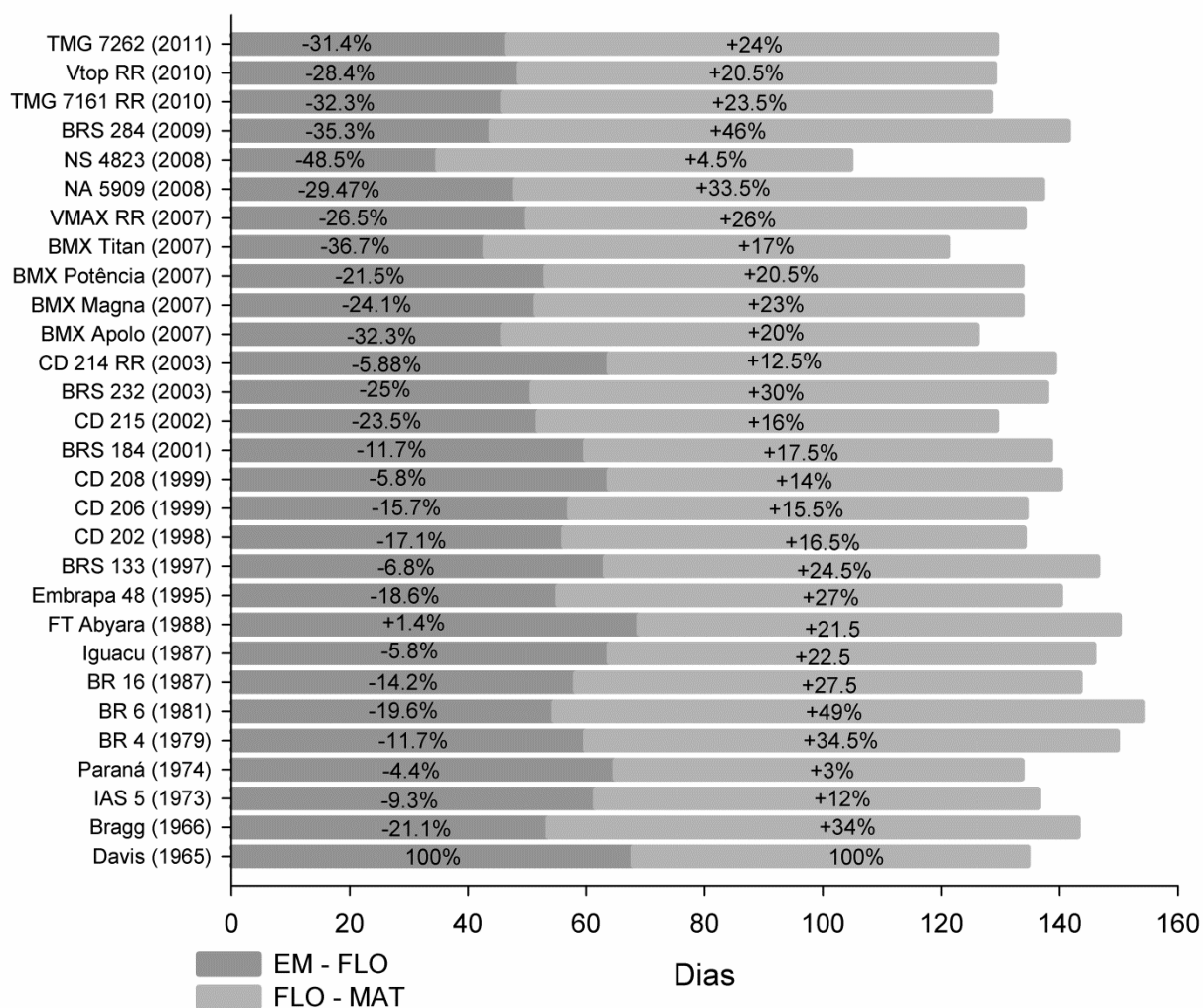
**Figura 4.** Associação entre ano de lançamento e os índices de clorofila *a* (A) e *b* (B). \*, \*\*: Indicam a significância do coeficiente de correlação linear a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018.

As durações dos períodos vegetativo e reprodutivo das cultivares avaliadas, estão apresentados na Figura 5. O período vegetativo, compreendido entre a emergência e o início do florescimento (EM – FLO), apresentou redução significativa com o ano de lançamento ( $r = -$

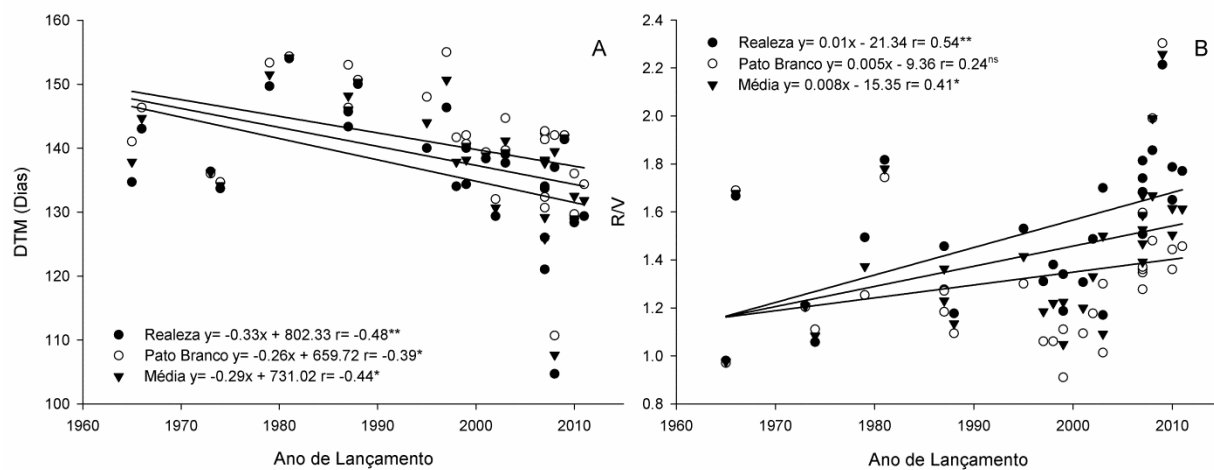


0,51\*\* - dados não apresentados). O maior período EM – FLO foi observado na cultivar Davis (69 dias), e o menor período na cultivar NS 4823 (36 dias), cuja redução corresponde a -48,5%. Em relação ao período reprodutivo, compreendido entre o início do florescimento e a maturação fisiológica (FLO – MAT), não foi observada diferença significativa ao longo dos anos ( $r= 0,02^{ns}$  – dados não apresentados). Vale destacar ainda, que a cultivar NS 4823, mesmo apresentando o menor ciclo total (104 dias) entre todas as cultivares avaliadas, apresentou 4,5% a mais no período reprodutivo que a cultivar Davis (Figura 5). A redução do período vegetativo, faz com que a relação entre os períodos reprodutivo e vegetativo (R/V) seja maior nas cultivares modernas. Essa relação R/V variou de 0,98 (1965) a 2,25 (2009), com um incremento anual de  $0,008 \text{ ano}^{-1}$  na média dos locais (Figura 6B). Resultado similar foi observado por Wu et al. (2015) na China, onde foi relatado progresso anual de  $0,009 \text{ ano}^{-1}$ . Wang et al. (2015) destacam ainda, a importância da escolha correta da data de semeadura visando o aumento da relação R/V, e como consequência, aumento no RG.

O ciclo total (DTM) associou-se negativamente ( $r= -0,44^*$ ) com o ano de lançamento, apresentando redução média de  $0,29 \text{ dias ano}^{-1}$  (Figura 6A). Resultados semelhantes foram observados por outros autores, que também relatam redução no ciclo total das cultivares com o passar dos anos (Liu et al., 2012; Wu et al., 2015). Por outro lado, Rincker et al. (2015) observaram que cultivares modernas apresentam maior DTM comparativamente as cultivares antigas. No entanto, para as condições brasileiras, foi observado que a busca por genótipos mais produtivos, tem resultado na seleção de plantas com período reprodutivo mais longo (Rowntree et al., 2014), porém, com menor DTM.



**Figura 5.** Tempo em dias entre a emergência e o início do florescimento (EM-FLO), e entre o início do florescimento e a maturação fisiológica (FLO-MAT), de 29 cultivares de soja desenvolvidas em diferentes décadas. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018.

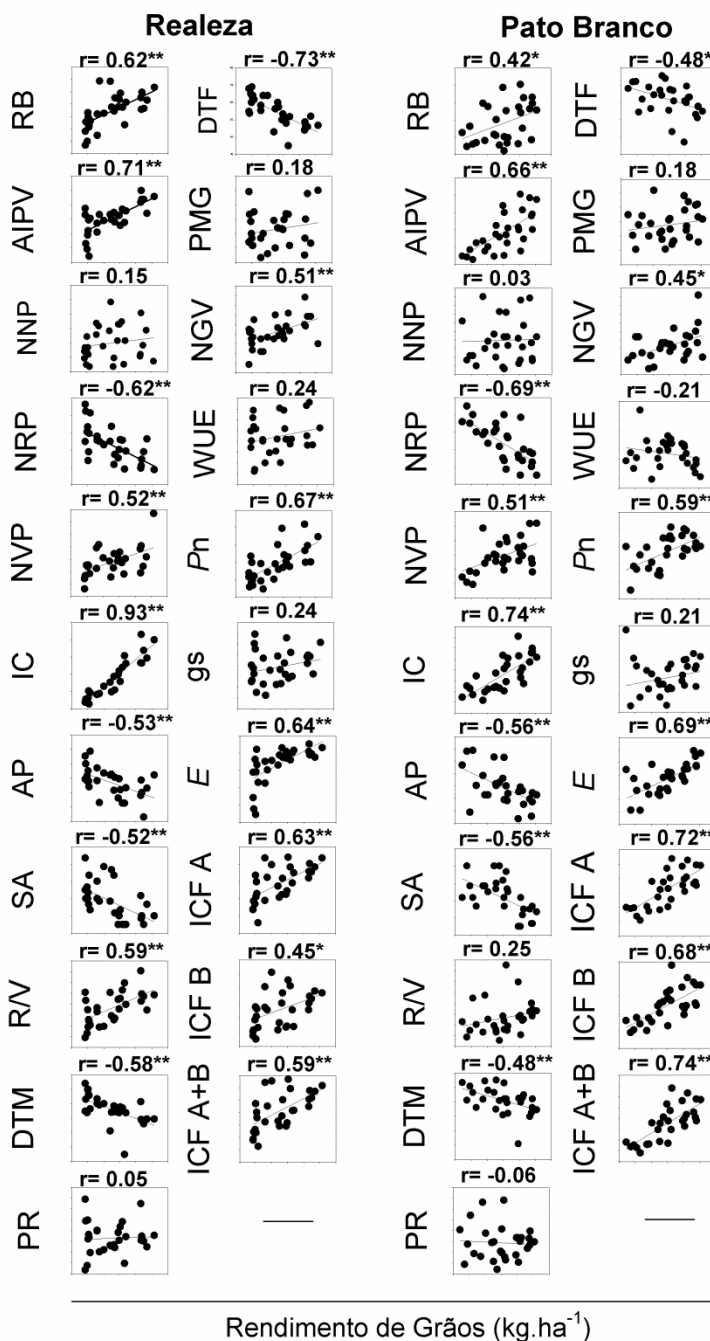


**Figura 6.** Associação entre ano de lançamento e dias até a maturação (A), e a razão do período reprodutivo e vegetativo (B). <sup>ns</sup>: Não significativo. \*, \*\*: Indicam a significância do coeficiente de correlação linear a 5 e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018.

As associações dos caracteres agronômicos e fisiológicos com o RG, estão apresentadas na Figura 7. Foi observado, que os caracteres agronômicos RB, AIPV, NVP, IC, R/V e NGV, apresentaram associação positiva e significativa com o RG. Resultados semelhantes tem sido relatados em estudos realizados em todo o mundo. Na China, Cui e Yu (2005) observaram associação entre o RG e os caracteres NVP e NGV, e relatam que estes caracteres devem ser considerados para a seleção de genótipos mais produtivos. No presente estudo, foram observadas associações de 0,52\*\* e 0,51\*\* para NVP, e de 0,51\*\* e 0,45\* para NGV, em Realeza e Pato Branco, respectivamente (Figura 7). Da mesma forma, Jin et al. (2010) avaliando um período de 56 anos de melhoramento genético de soja, observaram elevada associação entre os caracteres RB e IC com o RG (0,59\*\* e 0,79\*\*, respectivamente).

O IC também apresentou associações positivas com o RG de  $r = 0,93^{**}$  e  $0,74^{**}$  em Realeza e Pato Branco, respectivamente. Resultado semelhante foi relatado por Cui e Yu (2005), que observaram que o IC foi o caractere mais associado com o RG. Este resultado indica, que as cultivares recentemente disponibilizadas para cultivo possuem maior eficiência em produzir e alocar recursos quando comparadas com cultivares antigas (Jin et al., 2010).

Os caracteres fisiológicos  $P_n$ ,  $Tr$ , e  $ICF\ a, b$  e  $a+b$ , também apresentaram associação positiva com o RG. O parâmetro  $P_n$  apresentou associação de 0,67\*\* e 0,59\* com o RG em Realeza e Pato Branco, respectivamente, corroborando com os resultados obtidos por Liu et al. (2012) na China. Estes resultados sugerem, que a taxa fotossintética pode ser um caractere utilizado para seleção indireta para o RG, assim como destacado por Morrison et al. (1999). Cultivares com elevada taxa fotossintética, possuem maior capacidade de produzir fotoassimilados e melhorar a sua translocação para órgãos de interesse (Jin et al., 2010), o que contribui para os aumentos de produtividade. Da mesma forma, os índices de clorofila  $a$ ,  $b$  e  $a+b$  também apresentaram elevada associação com o rendimento de grãos em ambos os locais de avaliação (Figura 7), e também podem ser utilizados como estratégia de seleção de genótipos mais produtivos, assim como proposto por Liu et al. (2012).

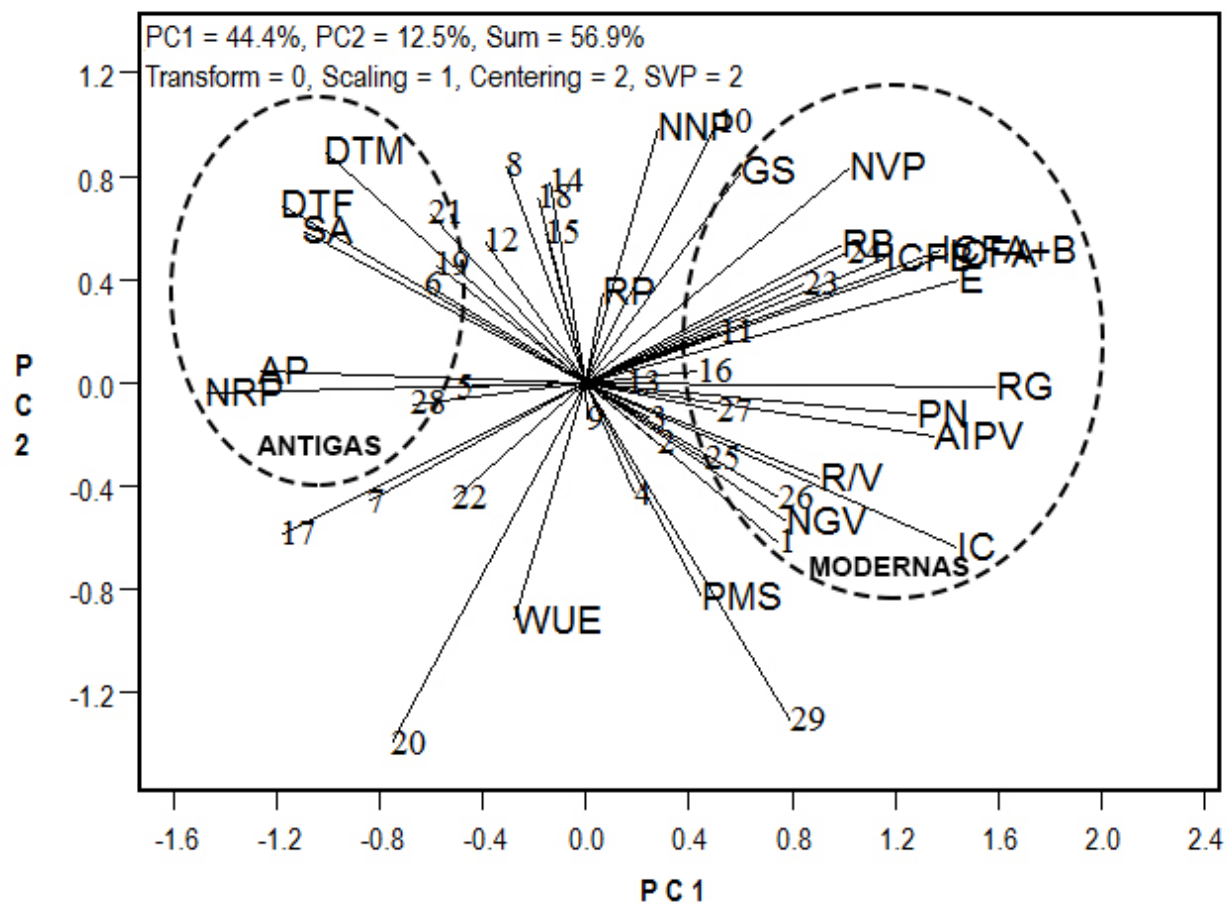


**Figura 7.** Associação entre rendimento de grãos e caracteres agrônômicos e fisiológicos, avaliados em 29 cultivares de soja desenvolvidas em diferentes décadas. RB: massa de grãos + palhada acima do solo na colheita; AIPV: altura de inserção da primeira vagem; NNP: número de nós produtivos por planta; NRP: número de ramos por planta; NVP: número de vagens por planta; IC: índice de colheita; AP: altura de planta; SA: score de acamamento; R/V: relação do

período reprodutivo sobre o vegetativo; RP: período reprodutivo; DTF: dias a floração; DTM: dias a maturação; PMS: peso de mil grãos; NGV: número de grãos por vagem; WUE: eficiência de uso da água;  $P_N$ : taxa fotossintética;  $g_s$ : condutância estomática;  $E$ : taxa de transpiração; ICF A: índice de clorofila falker A; ICF B: índice de clorofila falker B; ICF A+B: índice de clorofila falker A+B; CV: coeficiente de variação. \*\* e \*, são valores significativos a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018.

As associações dos caracteres agrônômicos e fisiológicos com as 29 cultivares de soja avaliadas no presente estudo, estão apresentadas na Figura 8. Na análise gráfica GGE biplot, quanto menor for o ângulo entre dois vetores, maior é a correlação entre eles (Yan e Kang, 2003). Assim, ângulos superiores a  $90^\circ$  indicam associação negativa, e ângulos iguais a  $90^\circ$  indicam ausência de correlação (Yan e Kang, 2003). Nota-se ainda, que no lado direito do biplot, estão posicionadas as cultivares modernas, e no lado esquerdo as cultivares antigas. Pode ser observado, que a cultivar 27 (NA 5909) foi a mais associada com o RG. Além disso, é possível observar que vários caracteres também estiveram associados com as cultivares modernas, e dentre estes pode-se citar a  $P_n$ , Tr, IC, ICF  $a$  e  $b$ , RB, NVP e a relação R/V. No entanto, para as cultivares antigas, os caracteres mais associados foram o SA, DTF, DTM, AP e NRP. Vale destacar ainda, que o SA associou-se a AP, DTM e DTF, portanto, quanto maior o ciclo total dos cultivares, maior sua estatura e tendência ao acamamento.

A seleção de genótipos altamente produtivos por programas de melhoramento no Brasil nas últimas décadas, tem aumentado indiretamente os caracteres IC, RB, NVP e a relação R/V, apresentando associações positivas com o RG. Da mesma forma, os caracteres fisiológicos  $P_n$ , Tr e ICF, apresentaram elevada magnitude em cultivares modernas, e tem contribuído significativamente para os aumentos de produtividade ao longo dos anos (Morrison et al., 2000). Portanto, para a obtenção de ganhos genéticos futuros, sugere-se que estes caracteres sejam mais explorados por programas de melhoramento, possibilitando assim a continuidade do progresso genético da cultura.



**Figura 8.** Associação dos caracteres agrônômicos e fisiológicos com as 29 cultivares de soja desenvolvidas em diferentes décadas. RB: massa de grãos + palhada acima do solo na colheita; AIPV: altura de inserção da primeira vagem; NNP: número de nós produtivos por planta; NRP: número de ramos por planta; NVP: número de vagens por planta; IC: índice de colheita; AP: altura de planta; SA: score de acamamento; R/V: relação do período reprodutivo sobre o vegetativo; RP: período reprodutivo; DTF: dias a floração; DTM: dias a maturação; PMS: peso de mil grãos; NGV: número de grãos por vagem; WUE: eficiência de uso da água;  $P_N$ : taxa fotossintética;  $g_s$ : condutância estomática;  $E$ : taxa de transpiração; ICF A: índice de clorofila falker A; ICF B: índice de clorofila falker B; ICF A+B: índice de clorofila falker A+B; CV: coeficiente de variação. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2018.

## CONCLUSÕES

O ganho genético em cultivares de soja lançadas entre 1965 e 2011 na região Sul do Brasil foi de 39,44, 40,67 e 40,06 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em Realeza-PR, Pato Branco-PR, e na média dos locais, respectivamente, o que equivale a 2,4% ano<sup>-1</sup>.

O índice de colheita, rendimento biológico e número de vagens por planta, estiveram positivamente associados com o rendimento de grãos, e contribuíram para os aumentos de produtividade ao longo dos anos.

Os caracteres fisiológicos taxa fotossintética, taxa de transpiração, e índices de clorofila *a* e *b*, apresentaram progresso genético significativo com os anos de lançamento, e foram positivamente associados com o rendimento de grãos.

O progresso genético no rendimento de grãos também esteve associado à diminuição nos dias até a floração, e conseqüentemente, aumentou a relação entre o período reprodutivo e vegetativo.

Estratégias de melhoramento que maximizem a relação entre os períodos reprodutivo e vegetativo, e que priorizem a seleção indireta através dos caracteres índice de colheita, rendimento biológico, número de vagens por planta, taxa fotossintética, taxa de transpiração e índice de clorofila, podem conduzir para o aumento no progresso genético da cultura nos próximos anos.



## REFERÊNCIAS

ALLIPRANDINI, L. F.; TOLEDO, J. F. F.; FONSECA JR, N. S.; KIIHL, R. A. S.; ALMEIDA, L. A. Ganho genético em soja no estado do Paraná, via melhoramento, no período de 1985/86 a 1989/90. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.28, p.489-497, 1993.

ARATANI, R.G.; LAZARINI, E.; MARQUES, R.R.; BACKES, C. Adubação nitrogenada em soja na implantação do sistema plantio direto. *Bioscience Journal*, v. 24, n. 3, p. 31-38, 2008.

ASHLEY, D.A.; BOERMA, H.R. Canopy photosynthesis and its association with seed yield in advanced generations of a soybean cross. *Crop Science*, v.29, p.1042-1045, 1989.

BARBOSA NETO, J. F.; MATIELLO, R. R.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, J. M. S.; PEGORARO, D. G.; SCHNEIDER, F.; SORDI, M. E. B.; VACARO, E. Progresso genético no melhoramento da aveia-branca no Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.1605-1612, 2000.

BECHE, E.; BENIN, G.; DA SILVA, C.L.; MUNARO, L.B.; MARCHESE, J.A. Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in Brazilian wheat during the 20<sup>th</sup> century. *European Journal of Agronomy*, v. 61, p. 49-59, 2014.

BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 56, p. 1159 – 1168, 2005.

BUTTERY, B.R.; BUZZEL, R.I.; FINDLAY, W.I. Relationships among photosynthetic rate, bean yield and other characters in field grown cultivars of soybean. *Can Journal of Plant Science*, v.61, p.191-198,1981.

CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M.; VENCOVSKY, R.; FONSECA JUNIOR, N. S.; PINHEIRO, J. B. Genetic gain in the breeding program of common beans at IAC from 1989 to 2007. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.10, p.329-336, 2010.

CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 5 safra 2017/18 – n. 4 – Quarto Levantamento. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18\\_01\\_11\\_14\\_17\\_49\\_graos\\_4o\\_levantamento.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_11_14_17_49_graos_4o_levantamento.pdf)>. Acesso em 20 jan. 2018.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

CUI, S.Y.; YU, D.Y. Estimates of relative contribution of biomass, harvest index and yield components to soybean yield improvements in China. *Plant Breeding*, v. 124, p. 473 – 476, 2005.

CUI, X.; DONG, Y.; GI, P.; WANG, H.; XU, K.; ZHANG, Z. Relationship between root vigour, photosynthesis and biomass in soybean cultivars during 87 years of genetic improvement in the northern China. *Photosynthetica*, v. 54, p. 81 – 86, 2016.

DE BRUIN, J.L.; PEDERSEN, P. Yield improvement and stability for soybean cultivars with resistance to *Heterodera Glycines* Ichinohe. *Agronomy Journal*, v.100, p.1354-1359, 2008.

DE BRUIN, J.L.; PEDERSEN, P. New and old soybean cultivars responses to plant density and intercepted light. *Crop Science*, v. 49, p. 2225 – 2232, 2009.

DE FELIPE, M.; GERDE, J.A.; ROTUNDO, J.L. soybean genetic gain in maturity groups III to V in Argentina from 1980 to 2015. *Crop Science*, v. 56, p. 1 – 12, 2016.

DUVICK, D.N. The contribution of breeding to yield advances in maize *Zea mays* L. Livro: *Advances in Agronomy*. Academic Press, Salt Lake City, UT. V. 86, p. 83-145. 2005.

DOBEREINER, J.C. Biological nitrogen fixation in the tropics-social and economic contributions. *Soil Biology*, v. 29, p. 771-774, 1997.

DO VALE, J. C.; SOARES, P. C.; CORNÉLIO, V. M. O.; REIS, M. S.; BORGES, V.; BISI, R. B.; SOARES, A. A.; FRITSCHÉ-NETO, R. Contribuição genética na produtividade do arroz irrigado em Minas Gerais no período de 1998 a 2010. *Bragantia*, v.71, p.460-466, 2012.

EMBRAPA. Dados Econômicos – Soja em números (Safrá 2016/2017). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

FREDERICK, J.R.; WOOLLEY, J.T.; HESKETH, J.D.; PETERS, D.B. Seed yield and agronomic traits of old and modern soybean cultivars under irrigation and soil water-deficit. *Field Crops Research*, v. 27, p. 71 – 82, 1991.

FREITAS, E. Expansão da Soja no Brasil. *Brasil Escola*. 2015. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/a-expansao-soja-no-brasil.htm>>. Acesso em 12 de marco de 2016.

GOLDSMITH, P.D. Economics of soybean production, marketing and utilization. In: *Soybean chemistry, production, processing, and utilization*. AOCS Press, p.117-150, 2008.

GRAHAM, P.H.; VANCE, C.P. Nitrogen fixation in perspective: An overview of research and extension needs. *Field crops Research*, v. 65, p. 93-106, 2000.

HAM, G.E. Interactions of *glycine max* and *Rhizobium japonicum*. Livro: *Advances in legume science*, p. 289-296, 1978.

HERRIDGE, D.F.; RUPELA, R.; SERRAJ, R.; BECK, D.P.; Screening Technologies and improved biological nitrogen fixation in cool season food legumes. *Euphytica*, v. 73, p. 95-108, 1994.

HARTMAN, G.; WEST, E.; HERMAN, T. Crops that feed the world 2. Soybean-Worldwide Production, and Constrains Caused by Pathogens and Pests. *Food Security*, v.3, p.5-17, 2011.

HARTWIG, E.E.; KIIHL, R.A.S. Identification and utilization of a delayed flowering character in soybean for short-day conditions. *Field crops Research*, v.2, p.145-151, 1979.

HEATHERLY, L.G.; ELMORE, R.W. Managing inputs for peak production. *Livro: Soybeans: Improvement, Production, and Uses*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. p. 451-536. 2004.

JIN, J.; LIU, X.; WANG, G.; MI, L.; SHEN, Z.; CHEN, X.; HERBERT, S.J. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. *Field Crops Research*, v.115, p.116-123, 2010.

JIN, J.; LIU, X.; WANG, G.; LIU, J.; MI, L.; CHEN, X.; HERBERT, S.J. Leaf nitrogen status as a main contributor to yield improvement of soybean cultivars. *Agronomy Journal*, v. 103, n. 2, 2011.

KAHLON, C. S.; BOARD, J. E. Growth Dynamic Factors Explaining Yield Improvement in New Versus Old Soybean Cultivars. *Journal of Crop Improvement*, v.26, p.282-299, 2012.

KIIHL, R.A.S.; ALMEIDA, L.A.; DALL'AGNOL, A. Strategies for cultivar development in the tropics. *World Soybean Research Conference III*, p.301-304, 1985.

KOESTER, R.P.; SKONECZKA, J.A.; CARY, T.R.; DIERS, B.W.; AINSWORTH, E.A. Historical gains in soybean (*Glycine max* Merr.) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. *Journal of Experimental Botany*, v. 65, n. 12, p. 3311 – 3321, 2014.

KOESTER, R.P.; NOHL, B.M.; DIERS, B.W.; AINSWORTH, E.A. Has photosynthetic capacity increaser with 80 years of soybean breeding? An examination of historical soybean cultivars. *Plant, Cell and Environment*, 2016.

LANGE, C. E.; FEDERIZZI, L. C. Estimation of soybean genetic progress in the south of Brazil using multi-environmental yield trials. *Scientia Agricola*, v.66, p. 309-316, 2009.

LI, S.; TENG, F.; RAO, D.; YAO, X.; ZHANG, H.; WANG, H.; SONG, S.; MARTIN, S.K.; XIE, F. Agronomic traits of soybean cultivars released in different decades after grafting record-yield cultivar as rootstock. *Plant Breeding*, v. 136, p. 133-138, 2017.

LIU, X.; JIN, J.; WANG, G.; HERBERT, S.J. Soybean yield physiology and development of high-yielding practices in Northeast China. *Field Crops Research*, n. 105, p. 157 – 171, 2008.

LIU, G.; YANG, C.; XU, K.; ZHANG, Z.; LI, D.; WU, Z.; CHEN, Z. Development of yield and some photosynthetic characteristics during 82 years of genetic improvement of soybean genotypes in northeast China. *Australian Journal of Crop Science*, v.6, p.1416-1422, 2012.

MCFARLANE, I.; O'CONNOR, E.A. World soybean trade: Growth and sustainability. *Modern Economy*, v.5, p.580-588, 2014.

MORRISON, M.J.; VOLDENG, H.D.; COBER, E.R. Physiological changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. *Agronomy Journal*, v.91, p.685-689, 1999.

MORRISON, M.J.; VOLDENG, H.D.; COBER, E.R. Agronomic changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. *Agronomy Journal*, v.92, p.780-784, 2000.

QIN, X.; FENG, F.; LI, D.; HERBERT, S.J.; LIAO, Y.; SIDDIQUE, K.H.M. Changes in yield and agronomic traits of soybean cultivars released in China in the last 60 years. *Crop & Pasture Science*, 2017.

QIU, L.J.; CHANG, R.Z. The origin and history of soybean. In: The soybean: Botany, Production and Uses. CAB International, p.1-23, 2010.

RAFFIN, A.; ROUMET, P.; OBATON, M. Tolerance of nitrogen fixation to nitrate in soybean: a progeny (tolerant x non-tolerant) evaluation, *European Journal of Agronomy*, v.4, p. 143-149, 1995.

RAMTEKE, R.; GUPTA, G. K.; MURLIDHARAN, P.; SHARMA, S. K. Genetic progress of soybean varieties released during 1969 to 2008 in India. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, v.71, p.333-340, 2011.

RAY, D.K.; MUELLER, N.D.; WEST, P.C.; FOLEY, J.A. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE*, v.8, 2013.

RICHARDS, R.A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *Journal of Experimental Botany*, v.51, p.447-458, 2000.

RINCKER, K.; NELSON, R.; SPECHT, J.; SLEPER, D.; CARY, T.; CIANZIO, S.R.; CASTEEL, S.; CONLEY, S.; CHEN, P.; DAVIS, V.; FOX, C.; GRAEF, G.; GODSEY, C.; HOLSHOUSER, D.; JIANG, G.L.; KANTARTZI, S.K.; KENWORTHY, W.; LEE, C.; MIAN, R.; MCHALE, L.; NAEVE, S.; ORF, J.; POYSA, V.; SCHAPAUGH, W.; SHANNON, G.; UNIATOWSKI, R.; WANG, D.; DIERS, B. Genetic improvement of U.S. soybean in maturity groups II, III, and IV. *Crop Science*, v.54, p.1419-1432, 2014.

ROCHE, D. Stomatal conductance is essential for high yield potential of C3 crops. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 34, p 429 – 453, 2015.

ROEKEL, R.J.V.; PURCELL, L.C.; SALMERÓN, M. Physiological and management factors contributing to soybean potential yield. *Field Crops Research*, v. 182, p. 86-97, 2015.

ROGERS, J.; CHEN, P.; SHI, A.; ZHANG, B.; SCABOO, A.; SMITH, F.; ZENG, A. Agronomic performance and genetic progress of selected historical soybean varieties in the southern USA. *Plant Breeding*, v.134, p.85-93, 2015.

ROTUNDO, J.L.; BORRÁS, L.; DE BRUIN, J.; PEDERSEN, P. Soybean nitrogen uptake and utilization in Argentina and United States cultivars, *Crop Science*, v. 54, p. 1153-1165, 2014.

ROWNTREE, S.C.; SUHRE, J.J.; WEIDENBENNER, N.H.; WILSON, E.W.; DAVIS, V.M.; NAEVE, S.L.; CASTEEL, S.N.; DIERS, B.W.; ESKER, P.D.; SPECHT, J.E.; CONLEY, S.P. Genetic gain x management interactions in soybean: I. planting date. *Crop Science*, v. 53, p.1128-1138, 2013.

ROWNTREE, S.C.; SUHRE, J.J.; WEIDENBENNER, N.H.; WILSON, E.W.; DAVIS, V.M.; NAEVE, S.L.; CASTEED, S.N.; DIERS, B.W.; ESKER, P.D.; CONLEY, S.P. Physiological and phenological responses of historical soybean cultivar releases to earlier planting. *Crop Science*, v.54, p.804-816, 2014.

SAITOH, K.; NISHIMURA, K.; KURODA, T. Comparison of leaf photosynthesis between wild and cultivated types of soybean. *Plant Production Science*, v. 7, n. 3, p. 277 – 279, 2004.

SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, K.G.; SPECHT, J.E.; WALTERS, D.T.; WEISS, A.; DOBERMANN, A. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research*, v. 105, p. 1-18, 2008.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5 edição, Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, 92p, 2006.

SCHIPANSKI, M.E.; DRINKWATER, L.E.; RUSSELLE, M.P. Understanding the variability in soybean nitrogen fixation across agroecosystems. *Plant Soil*, v. 329, p.379-397, 2010.

SPECHT, J.E.; WILLIAMS, J.H. Contribution of genetic technology to soybean productivity – Retrospect and prospect. Chapter 3. CSSA Special Publication. 1984.

SPECHT, J.E.; HUME, D.J.; KUMUDINI, S.V. Soybean yield potential – A genetic and physiological perspective. *Crop Science*, v. 39, p. 1560-1570, 1999.

SPECHT, J.E.; DIERS, B.W.; NELSON, R.L.; TOLEDO, J.F.F.; TORION, J.A.; GRASSINI, P. Yield gains in major U.S. field crops – Soybean. 2014.

STORCK, L.; BISOGNIN, D. A.; CARGNELUTTI FILHO, A. Ganho genético decorrente da substituição anual de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.881-886, 2005

STREETER. Inhibition of legume nodule formation and N<sub>2</sub> fixation by nitrate, *CRC, Crit. Rev. Plant Science*, v. 7, p. 1-23, 1988.

SUHRE, J. J.; WEIDENBENNER, N. H.; ROWNTREE, S. C.; WILSON, E. W.; NAEVE, S. L.; CONLEY, S. P.; CASTEEL, S. N.; DIERS, B. W.; ESKER, P. D.; SPECHT, J. E.; DAVIS, V. M. Soybean Yield Partitioning Changes Revealed by Genetic Gain and Seeding Rate Interactions. *Agronomy Journal*, v. 106, p. 1631-1642, 2014.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2ª ed. Porto Alegre, Departamento de Solos, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. 4

TOLEDO, J. F. F.; ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A. S.; MENOSSO, O. G. Ganho genético em soja no estado do Paraná, via melhoramento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.25, p.89- 94, 1990.



USDA – Economic Research Services. Soybean and oil crops. Disponível em: <<http://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeans-oil-crops.aspx>>. Acesso em: 12 de março de 2016.

USTUN, A.; ALLEN, F.L.; ENGLISH, B.C. Genetic progress in soybean of the US mid-south. *Crop Science*, v. 41, p. 993 – 998, 2001.

VOLDENG, H.D.; COBER, E.R.; HUME, D.J.; GILLARD, C.; MORRISON, M.J. Fifty-eight years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. *Crop Science*, v.37, p.428-431, 1997.

WANG, Y.; CHENG, L.; LENG, J.; WU, C.; SHAO, G.; HOU, W.; HAN, T. Genetic analysis and quantitative trait locus identification of the reproductive to vegetative growth period ratio in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Euphytica*, v. 201, p. 275 – 284, 2015.

WANG, C.; WU, T.; SUN, S.; XU, R.; REN, J.; WU, C.; JIANG, B.; HOU, W.; HAN, T. Seventy-five years of improvement of yield and agronomic traits of soybean cultivars released in the yellow-huai-hai river valley. *Crop Science*, v. 56, p. 2354 – 2364, 2016.

WEIDENBENNER, N.H.; ROWNTREE S.C.; WILSON E.W.; SUHRE J.J.; CONLEY S.P.; CASTEEL S.N.; DAVIS V.M.; DIERS B.W.; ESKER P.D.; SPECHT J.E.; NAEVE S.L. Fungicide management does not affect the rate of genetic gain in soybean. *Agronomy Journal*, n. 106, p. 2043– 2054. 2014.

WILCOX, J.R. Sixty wears of improvement in publicly developed elite soybean lines. *Crop Science*, v.49, p.1711-1716, 2001

WILSON, E.W.; ROWNTREE, S.C.; SUHRE, J.J.; WEIDENBENNER, N.H.; CONLEY, S.P.; DAVIS, V.M.; DIERS, B.W.; ESKER, P.D.; NAEVE, S.L.; SPECHT, J.E.; CASTEEL, S.N. Genetic gain x management interactions in soybean: II. Nitrogen Utilization. *Crop Science*, v.54, p.340-348, 2014.

WU, T.; SUN, S.; WANG, C.; LU, W.; SUN, B.; SONG, X.; HAN, X.; GUO, T.; MAN, W.; CHENG, Y.; NIU, J.; FU, L.; SONG, W.; JIANG, B.; HOU, W.; WU, C.; HAN, T. Characterizing changes from a century of genetic improvement of soybean cultivars in Northeast China. *Crop Science*, v. 55, p. 2056 – 2067, 2015.

YAN, W.; KANG, M.S. GGE Biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. First Edition, CRC press, Boca Raton, FL, USA, p. 288, 2003.

YOO, C.Y.; PENCE, H.E.; HASEGAWA, P.M.; MICKELBART, M.V. Regulation of transpiration to improve crop water use. *Critical reviews in plant sciences*, v. 28, p. 410 – 431, 2009.

ZHANG, Y.; XU, W.; WANG, H.; DONG, H.; QI, X.; ZHAO, M.; FANG, Y.; GAO, C.; HU, L. Progress in genetic improvement of grain yield and related physiological traits of Chinese wheat in Henan Province, *Field Crops Research*, v. 199, p. 117 – 128, 2016.

ZHU, X.G.; LONG, S.P.; ORT, D.R. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *PubMed*, v. 61, p. 35 – 61, 2010.