

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ARQUITETURA DE PLANTAS DE SOJA: INTERCEPTAÇÃO DE
RADIÇÃO SOLAR, DEPOSIÇÃO DE PRODUTOS
FITOSSANITÁRIOS E PRODUTIVIDADE**

Mariele Müller

Passo Fundo

2017

Mariele Müller

ARQUITETURA DE PLANTAS DE SOJA: INTERCEPTAÇÃO DE RADIAÇÃO
SOLAR, DEPOSIÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS E PRODUTIVIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador:

Prof. Dr. Geraldo Luiz Chavarria Lamas Junior

Coorientadora:

Dra. Miroslava Rakocevic

Passo Fundo

2017

CIP – Catalogação na Publicação

M958a Müller, Mariele

Arquitetura de plantas de soja : interceptação de radiação solar, deposição de produtos fitossanitários e produtividade / Mariele Müller. – 2017.

91 f. : il., color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Luiz Chavarria Lamas Junior.

Coorientadora: Dra. Miroslava Rakocevic.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2017.

1. Soja. 2. Plantas - Desenvolvimento. 3. Agricultura - Estimativa de rendimento. 4. Plantas - Efeito dos produtos químicos agrícolas. I. Lamas Junior, Geraldo Luiz Chavarria, orientador. II. Rakocevic, Miroslava, coorientadora. III. Título.

CDU: 633.34

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.

“ARQUITETURA DE PLANTAS DE SOJA: INTERCEPTAÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR,
DEPOSIÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS E PRODUTIVIDADE”

Elaborada por

Mariele Muller

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestra em
Agronomia – Produção e Proteção de Plantas

Aprovada em: 12/04/2017
Pela Comissão Examinadora



Dr. Geraldo Luiz Chavarria Lamas Junior
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador



Dra. Eunice Oliveira Calvete
Coord. Prog. Pós-Graduação em Agronomia



Dr. Walter Boller
FAMV



Dr. Hélio Carlos Rocha
Diretor FAMV



Dr. João Leonardo Pires
Embrapa Trigo

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Mathias e Nathália, em forma de motivação na busca do conhecimento e que nunca se cansem disto.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Geraldo Chavarria, pela confiança que significou sua orientação e por toda sua ajuda e conhecimento. Obrigada por ter me aceitado como sua orientada.

À professora Dra. Miroslava Rakocvic, pelo conhecimento e orientação. Obrigada por ter me aceitado como sua coorientada.

À Dra. Andréia Caverzan, pelos conhecimentos e amizade durante essa trajetória.

Ao professor Dr. José Antonio Gonzalez da Silva, muito devo a você estar aqui hoje, sem dúvidas faz parte da base de tudo isso.

Ao meu noivo Thiago, obrigada pela ajuda e companheirismo durante esse período.

À minha família, que sempre estiveram do meu lado me apoiando nas minhas decisões.

À equipe do Laboratório de Fisiologia Vegetal da FAMV – UPF, por terem me acolhido tão bem e por serem sempre prestativos.

Aos meus amigos Jonas, Rafael e William, pela amizade e ajuda recebida nessa caminhada.

Aos professores integrantes do PPGAgro e FAMV/UPF por um amplo conhecimento transmitido.

Deste modo, a todos que contribuíram e auxiliaram no meu crescimento pessoal e profissional durante esta jornada, meu sincero agradecimento.

RESUMO

O crescimento das plantas depende da conversão de energia luminosa em energia química. A interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (intRFA) é uma função entre o índice da área foliar (IAF) e o coeficiente de extinção luminosa (k). Além da área foliar, neste processo também interfere a distribuição arquitetural de folhas no dossel vegetativo. O crescimento excessivo das plantas e o tipo de arquitetura das mesmas pode prejudicar a eficiência nas aplicações de agroquímicos, com baixa deposição de princípio ativo na parte inferior das plantas. Sendo assim, o presente estudo objetivou avaliar se diferentes características arquitetônicas de plantas de soja, influenciam a interceptação de radiação solar, o manejo fitossanitário e a produtividade da cultura. Foram avaliadas quatro cultivares de soja com distintas características arquitetônicas, sendo elas BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR. O experimento foi conduzido na safra de 2015-2016. Foram avaliados os componentes arquitetônicos das plantas, e eficiência de interceptação de radiação solar, os movimentos heliotrópicos dos folíolos e deposição de gotas de produtos fitossanitários. O delineamento foi de blocos casualizados com cinco repetições. As cultivares apresentaram plantas com distintas arquiteturas entre si, chegando a 40% de diferença na estatura, 61% e 72% no número e comprimento de ramificações, respectivamente. As dimensões das folhas variaram em torno de 20% e o IAF chegou a variar 40% entre as cultivares. A intRFA no estrato inferior do dossel vegetativo durante o dia nos estádios reprodutivos foi de no máximo 5,16% da radiação solar que chegou sobre o dossel vegetativo, para a cultivar 95R51. Consequentemente, a cultivar 95R51 foi que mais produziu no terço inferior, com frutificação efetiva de 22% nessa parte das plantas. As cultivares apresentaram maior número de movimentos diaheliotrópicos no estádio V6 comparado com o estádio R4. A cultivar 95R51 foi a cultivar que obteve maior deposição de gotas no terço inferior. Às 14h foi observado maior deposição de gotas e cobertura no terço inferior das plantas devido a posição dos folíolos nesse horário. Assim, plantas de menor crescimento da parte aérea apresentaram maior interceptação de radiação solar e deposição de gotas de produtos fitossanitários no interior do dossel vegetativo, consequentemente obtiveram maior rendimento de grãos.

Palavras-chave: 1. *Glycine max.* (L.) Merrill 2. Frutificação efetiva. 3. Produção de grãos. 4. Heliotropismo. 5. Proteção de plantas.

1. ABSTRACT

The growth of plants depends on the conversion of light energy into chemical energy. The interception photosynthetically active radiation (IPAR) is a function between the leaf area index (LAI) and the extinction coefficient (k). Besides the leaf area, this process also interferes with the architectural distribution of leaves in the vegetative canopy. Excessive growth of plants and their type of architecture may impair the efficiency of agrochemical applications, with low deposition of the active principle in the lower part of the plants. Thus, the present study objected to evaluate if different architectural characteristics of soybean plants influence the interception of solar radiation, phytosanitary management and crop productivity. Four soybean cultivars with different architectural characteristics were evaluated, being BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 and BMX Potência RR. The experiment was conducted in the crops of 2015-2016. The architectural components of the plants and the efficiency of interception of solar radiation, the heliotropic movements of the leaflets and the deposition of drops of phytosanitary products were evaluated. The experiment was a randomized complete block design with five replications. The cultivars presented plants with different architectures among them, reaching 40% difference in height, 61% and 72% in the number and length of branches, respectively. The leaf dimensions varied around 20% and the LAI varied 40% among the cultivars. The intRFA in the lower strata of the vegetative canopy during the day in the reproductive stages was a maximum of 5.16% of the solar radiation that arrived on the vegetative canopy for the 95R51 cultivar. Consequently, it was the cultivar that produced the most in the lower third, with effective fruiting of 22% in the lower third of the plants. The cultivars presented greater number of diaheliotropic movements in the V6 stage compared to the R4 stage. The cultivar 95R51 was the cultivar that obtained higher deposition of droplets in the lower third. At 14h, it was observed greater deposition of droplets and cover in the lower third of the plants due to the position of the leaflets at that time. Thus, plants with lower shoot growth showed greater interception of solar radiation and deposition of phytosanitary products inside the vegetative canopy, resulting in higher yields of grains.

Key words: 1. *Glycine max.* (L.) Merrill. 2. Effective fruiting. 3. Crop yield. 4. Heliotropism. 5. Protection of plants.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	<i>Arquitetura de plantas de soja</i>	15
2.2	<i>Interceptação de radiação solar</i>	20
2.3	<i>Deposição de gotas de produtos fitossanitários</i>	22
3	CAPÍTULO I	26
3.1	<i>Resumo</i>	26
3.2	<i>Introdução</i>	26
3.3	<i>Material e Métodos</i>	28
3.3.1	Sujeito de estudo	28
3.3.2	Tratamentos e delineamento experimental	28
3.3.3	Procedimentos	29
3.3.4	Codificação de plantas para reconstrução 3D	29
3.3.5	Caracterização dos componentes arquitetônicos	31
3.3.6	Interceptação de radiação fotossinteticamente ativa	32
3.3.7	Análise estatística	32
3.4	<i>Resultados</i>	32
3.4.1	Caracterização dos componentes arquitetônicos	32
3.4.2	Interceptação de radiação fotossinteticamente ativa	38
3.5	<i>Discussão</i>	39
3.6	<i>Conclusões</i>	43
4	CAPÍTULO II	44
4.1	<i>Resumo</i>	44
4.2	<i>Introdução</i>	44
4.3	<i>Material e Métodos</i>	46
4.3.1	Sujeito de estudo	46
4.3.2	Tratamentos e delineamento experimental	46
4.3.3	Procedimentos	47
4.3.4	Estimativas da eficiência de interceptação de radiação solar	48
4.3.5	Frutificação	50

4.3.6	Componentes de rendimento de grãos	50
4.3.7	Análise estatística	50
4.4	<i>Resultados</i>	51
4.4.1	Eficiência de interceptação de radiação solar e crescimento de plantas	51
4.4.2	Dinâmica de produção de legumes	55
4.4.3	Componentes de rendimento de grãos	56
4.5	<i>Discussão</i>	58
4.6	<i>Conclusões</i>	63
5	CAPÍTULO III	64
5.1	<i>Resumo</i>	64
5.2	<i>Introdução</i>	64
5.3	<i>Material e Métodos</i>	66
5.3.1	Sujeito de estudo	66
5.3.2	Tratamentos e delineamento experimental	66
5.3.3	Procedimentos	66
5.3.4	Movimentos heliotrópicos	67
5.3.5	Deposição de gotas de produtos fitossanitários	69
5.3.6	Análise estatística	70
5.4	<i>Resultados</i>	70
5.4.1	Movimentos heliotrópicos	70
5.4.2	Deposição de gotas	73
5.5	<i>Discussão</i>	75
5.6	<i>Conclusão</i>	77
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
7	CONCLUSÃO GERAL	79
	REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

Características arquitetônicas das plantas de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], podem influenciar positivamente ou negativamente no potencial produtivo da cultura. Existem poucos estudos relacionados a esse assunto e os materiais genéticos lançados são de vasta variabilidade arquitetônica. Isso ocorre, por não haver conhecimentos dos tipos de arquitetura de plantas que possam beneficiar o potencial produtivo da cultura. Dessa forma, em anos que não há restrição de recursos ambientais, mesmo se o produtor fizer o manejo adequado durante o ciclo da cultura, pode acabar esbarrando em aspectos ligados à arquitetura das plantas como limitante de produtividade. O aprimoramento do conhecimento sobre arquitetura de plantas e quais as consequências dessa sobre o rendimento de grãos, pode definir padrões de plantas e vir a beneficiar a produtividade da soja, através do uso desse conhecimento por programas de melhoramento.

Entre as características arquitetônicas da soja destaca-se o número e comprimento dos entrenós da haste principal, o número e comprimento das ramificações e número e formato das folhas. Os atributos foliares influenciam na forma que a radiação solar é interceptada pelo dossel vegetativo. Teoricamente, quanto maior o índice de área foliar (IAF), maior é a interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (intRFA) pela planta. No entanto, em dado momento o aumento, na área foliar não proporciona aumento na intRFA. Ao contrário, agrava o autossombreamento das partes inferiores das plantas.

Estruturas sombreadas causam perdas de energia para a planta. Primeiramente, a planta gasta energia para a formação dessas estruturas e, quando essas podem fazer fotossíntese para manutenção e crescimento da planta, são impossibilitadas pela condição de sombreamento em que se encontram. Nessas condições, o balanço energético da planta é afetado, pois há estruturas que consomem energia para se manterem, pelo processo de

respiração e não tem condições de compensar esse gasto energético. Assim, começa o processo de abscisão das estruturas inferiores.

Além do aspecto fotoquímico e bioquímico que a arquitetura da planta influencia, o manejo fitossanitário é afetado por essas características. A deposição de gotas das pulverizações de produtos fitossanitários, normalmente, é barrada na parte superior e mediana das plantas, ficando a parte inferior desprotegida. Ainda, a baixa interceptação de luz e pouca circulação de ar no interior do dossel vegetativo tornam as plantas mais atrativas e receptivas às doenças, principalmente fúngicas. Nesse sentido, faz-se necessário encontrar meios que facilitem a deposição de gotas no interior do dossel vegetativo. Uma alternativa é efetuar as pulverizações quando há mudanças na angulação das folhas durante o dia, reduzindo a barreira das folhas superiores à penetração de gotas no interior do dossel vegetativo.

Dessa forma, características arquitetônicas das plantas de soja devem ser avaliadas para que se tenha conhecimento de que forma elas influenciam na capacidade produtiva da cultura, bem como, quais são as características que programas de melhoramento possam passar a almejar. Nesse sentido os objetivos deste estudo foram: i) avaliar se características arquitetônicas de cultivares de soja influenciam a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada no estrato superior e inferior das plantas; ii) avaliar se cultivares de soja diferem na produtividade de grãos nos terços das plantas em função da interceptação de radiação solar; e iii) avaliar se os movimentos heliotrópicos favorecem a penetração de gotas de pulverização de produtos fitossanitários nos terços inferiores das plantas.

Este trabalho está organizado da forma que nesse capítulo (Introdução) foi apresentada a problemática, a justificativa e objetivos. Em seguida a Revisão de Literatura apresenta aspectos conceituais sobre o sujeito e o objeto da pesquisa, com descobertas sobre o assunto. Nos Capítulos I, II e III são apresentados e discutidos os resultados de três experimentos. O primeiro capítulo aborda diferentes arquiteturas de plantas de soja e

interceptação de radiação solar. O segundo capítulo trata da produção de grãos por terços em função da interceptação de radiação solar. O terceiro capítulo refere-se a movimentos heliotrópicos dos folíolos das plantas de soja e deposição de gotas nos terços das plantas. Por fim, há uma discussão integrada dos experimentos em Considerações Finais, seguido da Conclusão Geral.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Arquitetura de plantas de soja

As plantas de soja não possuem a sua arquitetura definida, podendo esta variar de acordo com as condições em que se encontram. A modificação pode ser geneticamente ou ambientalmente induzida, interferindo na estrutura e no número dos metâmeros (MOTERLE et al., 2011; VEASEY et al., 2011). O crescimento da soja se dá pelo surgimento de novos metâmeros. Uma unidade metamérica consiste em um entrenó, uma folha trifoliolada, uma gema lateral e estruturas reprodutivas que podem se desenvolver na diferenciação da gema.

Arquitetura de plantas é a organização dos componentes das plantas no espaço, que pode mudar com o tempo, o crescimento e o desenvolvimento das plantas, interferindo na capacidade produtiva das culturas (LI et al., 2014). As características vegetais, como: estatura da planta, número de ramificações, área foliar, posição das folhas, comprimento da haste principal, flores e frutos são geneticamente controlados, podendo ser alteradas pelo ambiente e intervenções humanas. Podem variar de acordo com a densidade de semeadura, espaçamento e época de semeadura, bem como outras práticas culturais durante o ciclo, como irrigação, fertilização, doenças, entre outros.

Arquitetura de plantas pode ser definida pela geometria e topologia das suas estruturas. A geometria refere-se a forma, tamanho, orientação e localização espacial dos componentes arquitetônicos, influenciando na captura de recursos ambientais. A topologia apresenta as conexões físicas entre os componentes da planta (GODIN, 2000).

Dessa forma, a topologia serve no entendimento de padrões de formação de arquitetura vegetal.

O número e o comprimento dos entrenós da haste principal e das ramificações determinam a variação da arquitetura da planta de soja (PEDERSEN; LAUER, 2004). Em relação ao tamanho e à forma dos folíolos, Zheng e Chen (1980) propuseram três classes para o tamanho do folíolo da soja: pequeno, intermediário e grande. Quanto à forma dos folíolos, Chen e Nelson (2004) sugeriram cinco categorias que variam de oval à ultra linear.

Ao avaliar os tipos de arquiteturas que existem na cultura da soja no Brasil, pode-se concluir que não há um tipo de arquitetura definida ou idealizada pelos programas de melhoramento, pois as variações entre elas são bastante evidentes. Para estatura de plantas encontra-se na literatura variação de 34,30 a 170,50 cm (CAMPOS; ONO; RODRIGUES, 2010; DEBORTOLI et al., 2012; SOUZA et al., 2014; SZARESKI et al., 2015; TORRES et al., 2015). O comprimento de entrenós da haste principal varia de 2,47 a 5,62 cm (SOUZA et al., 2013; SZARESKI et al., 2015). O número de ramificações também apresenta vasta diferença entre cultivares, que variam de 2 a 7 (DEBORTOLI et al., 2012; SZARESKI et al., 2015; TORRES et al., 2015) e o comprimento médio pode variar de 22,92 a 24,53 cm (SZARESKI et al., 2015). O número de nós da haste principal varia de 19 a 25 (MARTINS et al., 2011). O índice de área foliar (IAF), que apresenta grande importância na capacidade da planta em interceptar radiação fotossinteticamente ativa (intRFA) e interferência nos aspectos de manejo da cultura, apresentou variação de 3,3 a 9,8 (DEBORTOLI et al., 2012; ZANON et al., 2015).

Características arquitetônicas de algumas novas cultivares apresentam-se distintas das cultivares antigas, principalmente no aspecto de estatura e formato de folhas. As folhas são menores, haste reta e estatura reduzida, permitindo maior densidade de semeadura (SPADER; DESCHAMPS, 2015). Com maior densidade de semeadura é antecipada a cobertura do solo pelas plantas e, conseqüentemente, possibilita maiores

quantidades de radiação solar interceptada no início do ciclo da cultura. Além disso, o autossombreamento na parte inferior do dossel vegetativo é reduzido no período reprodutivo, podendo gerar ganho na produtividade de grãos. Características como ramos e folhas mais eretos permitem maior penetração de luz, resultam em maior atividade fotossintética nas folhas inferiores do dossel vegetativo aumentando o potencial produtivo da cultura da soja.

Cultivares de soja com hábito de crescimento determinado permitem o menor número de unidades de metâmeros na haste principal e menor competição entre crescimento vegetativo e reprodutivo (PARVEJ et al., 2013). As cultivares de tipo indeterminado continuam a alongar os seus caules durante a floração, enquanto que as determinadas deixam de alongar-se após dez dias (ZANON et al., 2015). Perini Jr. et al. (2012) verificaram diferença na estatura de planta, mas não houve variação nos componentes de rendimento em cultivares de distinto tipo de crescimento.

Normalmente cultivares com hábito de crescimento determinado têm como característica folhas maiores em toda a planta, enquanto que nas cultivares de tipo indeterminado as folhas são menores na parte superior e maiores nas partes mediana e inferior da planta. Isso confere às plantas um aspecto de conífera, que facilita a deposição dos tratamentos fitossanitários e aumenta a intrRFA nos estratos inferior do dossel vegetativo.

A competição entre as plantas é detectada por uma alteração na relação de onda vermelha/vermelha extrema (V/VE) ($V \sim 660$ nm, $VE \sim 730$ nm) que influencia a arquitetura das plantas. Essa alteração afeta a dominância apical e reduz, ou mesmo inibe, o crescimento dos órgãos laterais. Isso ocorre porque os sinais luminosos são percebidos pelo fitocromo, que tem como função a detecção do nível de competição em que as plantas se encontram (TAIZ; ZEIGER, 2013, p. 494; YANG et al., 2014). Dessa forma, em maiores densidades de semeadura pode haver maior crescimento das plantas em relação a menor densidade. Isso é devido ao fato de que em competição, a disponibilidade dos

fotoassimilados são destinados preferencialmente para crescimento da haste principal, diminuindo o número de ramificações (WERNER et al., 2016).

A relação de V/VE varia no interior do dossel vegetativo em comparação ao sol pleno (EVERS et al., 2006). A razão V/VE diminui, aproximadamente, de 1,15 em plena luz solar para 0,05 no dossel vegetativo fechado (SMITH, 2000). As plantas que detectam essa baixa relação, iniciam algumas alterações fisiológicas, a fim de evitar ou diminuir o sombreamento (PAGE et al., 2010; AFIFI; SWANTON, 2011). Em sistema consorciado de semeadura, entre milho (*Zea mays* L.) e soja, observou-se diminuição de 20 e 21% no diâmetro do caule e de 23 e 30% no comprimento da raiz para duas cultivares de soja. Além disso, o aumento na estatura das plântulas foi de, aproximadamente, 89 e 86% em sistema consorciado, em comparação com aqueles sob cultivo isolado (YANG et al., 2014).

Os níveis de radiação ultravioleta-B e A (UV-B, UV-A) têm aumentado na superfície terrestre com a redução da camada de ozônio. Níveis elevados de radiação ultravioleta influenciam negativamente na taxa de assimilação de carbono e crescimento das plantas (CECHIN; ROCHA; FUMIS, 2012). Em plantas de soja sujeitas a exclusão de UV-B/A observou-se aumento de 43% na massa seca e 22% na massa verde da folha, e 54% da área foliar. Ainda, a exclusão da radiação solar UV-B e de UV-B/A causou aumento na estatura da planta de 30 e 60%, respectivamente (KADUR et al., 2007). Zhang et al. (2014) observaram em soja aumento no comprimento da haste principal de 45 e 52% para exclusão da radiação UV-B, e 198 a 237% quando excluída a radiação UV-B/A.

Os folíolos da soja alteram o ângulo durante o dia em resposta a radiação solar interceptada. Esse movimento induzido pela luz azul (400-500 nm), é denominado heliotropismo (KOLLER, 1986), que pode ser diaheliotropismo e paraheliotropismo (DARWIN, 1880, p. 177-178). O diaheliotropismo consiste em manter as lâminas foliares perpendiculares aos raios solares, maximizando a interceptação da luz com o ganho de

carbono. O paraheliotropismo consiste nas lâminas dos folíolos permanecerem paralelas à luz solar direta, reduzindo os efeitos do estresse hídrico, temperatura alta da folha e fotoinibição (LEE et al., 2014). Os genótipos respondem diferentemente ao heliotropismo. Além disso, diferem durante o ciclo de cultivo e sob condições de estresse (RAKOCEVIC et al., 2010).

Alguns modelos computacionais foram adotados para melhorar a compreensão do desenvolvimento e crescimento das plantas, tornando-se uma ferramenta integral de pesquisa em ciência vegetal. A modelagem funcional e estrutural de plantas refere-se a modelos que descrevem o desenvolvimento ao longo do tempo da arquitetura tridimensional (3D) ou estrutura de plantas, guiados por processos fisiológicos que, por sua vez, são impulsionados por fatores ambientais (VOS; MARCELIS; EVERS, 2007, p. 4).

Os modelos tridimensionais descrevem a complexidade dos processos fisiológicos, podendo levar a melhor compreensão do funcionamento da planta e auxiliar no desenvolvimento de estratégias de cultivo (FOURCAUD et al., 2008). Uma vez que a arquitetura é influenciada por vários processos, como práticas de cultivo, genótipo, doenças e/ou disponibilidade de radiação solar e água, modelos tem como objetivo descrever o impacto desses processos na arquitetura das plantas (SARLIKIOTI; VISSER; MARCELIS, 2011).

Modelos 3D exigem detalhada quantificação das estruturas da planta, considerando a base hierárquica dos metâmeros, facilitando a compreensão da interação entre as plantas e o ambiente (GODIN; SINOQUET, 2005). Comumente são utilizados para a descrição da intRFA pelo tipo de arquitetura das plantas (VOS et al., 2010).

Com plantas virtuais, foi observado que tipos de ângulos e folhas influenciam a intRFA no interior do dossel vegetativo (ZHENG et al., 2008). Dessa forma, modelos estruturais funcionais podem desempenhar importante ferramenta na compreensão da distribuição de luz no dossel vegetativo, conforme a arquitetura das plantas

(SARLIKIOTI; VISSER; MARCELIS, 2011). Assim, os modelos de simulação podem ser usados para prever o resultado de modificações de arquitetura de plantas resultantes da variação genética e também sua interação com o ambiente, no desempenho da planta, contribuindo para o processo de melhoramento de plantas.

2.2 Interceptação de radiação solar

A saturação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) pela soja ocorre em aproximadamente em $1800 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (LARCHER, 2000, p. 42). Alguns modelos demonstraram alta atividade fotossintética a $35 \text{ }^\circ\text{C}$, com densidade de fluxo de fótons de $1200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ e concentrações internas de CO_2 acima de $800 \mu\text{mol CO}_2/\text{mol}$ (BUNCE, 2016). A intRFA é altamente dependente da arquitetura das plantas (VOS et al., 2010). Normalmente, a interceptação de luz é calculada por modelos que consideram o IAF e o coeficiente de extinção luminosa (k) (PILAU; ANGELOCCI, 2016).

Dentre as características arquitetônicas que podem influenciar a intRFA estão o número, tamanho e angulação dos folíolos. Folhas pequenas no terço superior das plantas, com ângulo próximo à vertical, permitem maior penetração de luz nos terços inferiores, enquanto que, folhas dos terços inferiores possuem áreas maiores, possibilitando maior contato com a luz (PEARCY; RODEN; GAMON, 1990). A qualidade da luz também é importante, especialmente considerando as relações entre ondas V/VE, cuja diminuição pode acelerar o processo de senescência das folhas de soja.

Em estudo realizado por Liu et al. (2011), verificou-se que o sombreamento reduziu significativamente a concentração de açúcar total solúvel das folhas de soja em média 23%, para diferentes cultivares, em dois anos de avaliação, resultando na redução do número de legumes de 42%, em média. Nas plantas de sol, como a soja, o ponto de compensação de luz (a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa em que a fixação líquida é zero) está localizado em 10 a $20 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (TAIZ; ZEIGER, 2013, p. 249). Assim, é necessária para ter incremento de fixação de carbono e reflexo sobre crescimento e rendimento a radiação solar interceptada acima deste valor.

Além da influência direta na produção pela menor produção de fotoassimilados em plantas sombreadas, a fixação simbiótica de nitrogênio também é prejudicada. Cerca de 14% dos fotoassimilados produzidos por plantas de soja são utilizados para a fixação simbiótica de nitrogênio (KASCHUK et al., 2009). Esse fato sugere que a capacidade de intRFA das plantas, tem relação com a capacidade das bactérias simbióticas em fixar o nitrogênio atmosférico, para posterior uso das plantas de soja no seu crescimento.

A capacidade da planta em intRFA está intimamente relacionada com o k , que é um atributo relacionado a intRFA e à arquitetura das plantas, principalmente na distribuição vertical das folhas (PILAU; ANGELOCCI, 2016). O k representa a capacidade que uma unidade de IAF tem em intRFA e varia conforme as características da área foliar das plantas. Em geral, a cultura da soja tem alta capacidade de intRFA. Valores mínimos de k de 0,44 e máximos de 0,62, foram observados em distintos genótipos de soja (EBADI; SAJED; GHARIB-ESHGHI, 2014).

Valores de k são importantes, pois a quantidade de radiação solar interceptada pela cultura da soja, pode definir o número de legumes produzidos por planta, principalmente durante os estádios reprodutivos da cultura (BIABANI; HASHEMI; HERBERT, 2008). O enriquecimento de radiação solar iniciado nos estádios vegetativos ou início do florescimento aumentou o número de legumes, resultando em um aumento de 144 a 252% no rendimento de grãos (MATHEW et al., 2000). A restrição de 25% da radiação solar, quando comparada com as condições ambientais no início da floração, pode modificar a disponibilidade de fotoassimilados, no ponto de influenciar a frutificação efetiva e comprometer o rendimento de grãos (LIU et al., 2010). A abscisão de estruturas reprodutivas das plantas de soja é maior nas regiões onde a intRFA é baixa (FIOREZE et al., 2013).

O teor de açúcar solúvel total é a principal forma do metabolismo de carboidratos e armazenamento temporário. O teor de açúcar solúvel está relacionado com o metabolismo de carboidratos e tem uma estreita relação com a fotossíntese e a produção

(PATRICK; BOTHA; BIRCH, 2013). Concentrações de açúcar e amido solúvel foram menores quando havia presença de sombreamento, resultando em maiores porcentagens de abscisão de estruturas reprodutivas (LIU et al., 2011).

Além da capacidade de intRFA, é importante que as plantas tenham capacidade de transformar essa energia solar em massa biológica. A eficiência do uso de radiação solar (EUR) é o resultado do ganho de massa seca (MS) em relação à intRFA acumulada (PETTER et al., 2016). A literatura apresenta valores variados de EUR na faixa de 1,32 a 1,92 g/MJ (ADEBOYE et al., 2016). Em avaliação de 24 cultivares de soja liberadas de 1923 a 2007 nos Estados Unidos, foi observado que a fotossíntese máxima, a condutância estomática e a respiração noturna não foram significativamente modificadas ao longo destes anos. No entanto, os autores observaram que o ganho de biomassa diária foi maior em cultivares mais novas e sugeriram que seu melhor desempenho estava associado a maior teor de clorofila e a capacidade de drenagem em órgãos reprodutivos (KOESTER et al., 2016).

2.3 Deposição de gotas de produtos fitossanitários

O melhoramento do potencial produtivo das cultivares de soja, a melhoria da qualidade fisiológica das sementes para semeadura e a utilização de produtos fitossanitários, são práticas que tem o intuito de manter a capacidade produtiva das plantas (LIMA et al., 2012; PETTER et al., 2014; SILVA et al., 2015). No entanto, métodos alternativos de controle para reduzir o número de aplicações de produtos fitossanitário não foram amplamente desenvolvidos (TIVOLI et al., 2012). Perante a necessidade de altas produtividades, houve incremento no número de aplicações de produtos fitossanitários durante o ciclo de cultivo, sobrecarregando os custos de produção e os riscos de contaminação do operador e do ambiente (CHRISTOVAM et al., 2010).

Nas pulverizações de produtos fitossanitários, alguns fatores para melhorar a deposição de gotas no dossel vegetativo das plantas são controlados pelo agricultor e

outros não. Entre os possíveis fatores de controle estão o tipo de produto, o tipo de equipamento, o volume de calda, o tamanho das gotas, a frequência de aplicação e o momento de aplicação. No entanto, alguns fatores influenciam diretamente a qualidade de deposição dos produtos fitossanitários e não podem ser controlados pelo agricultor, como a arquitetura das plantas, o estágio fenológico e as características anatômicas e morfológicas das plantas.

São necessárias condições específicas para o estabelecimento de uma doença, que são: presença de hospedeiro suscetível; de patógeno virulento; e ambiente favorável para a infecção, colonização e reprodução do fitopatógeno. Assim, a incidência e interação desses fatores influenciam diretamente no surgimento e desenvolvimento de doenças, sendo essa relação conhecida como triângulo das relações patógeno-hospedeiro-ambiente (BEDENDO; AMORIM, 2011).

O estudo das características arquitetônicas das plantas para reduzir o desenvolvimento das doenças foi iniciado, mas permanecem insuficientemente analisadas (TIVOLI et al., 2012). Elevadas densidades de plantas proporcionam melhor ambiente para o desenvolvimento de doenças fúngicas, mas devido o elevado número de plantas disponíveis para recepcionar o inóculo e a redução do movimento do ar dentro do dossel. Esse microclima mais úmido, favorece o desenvolvimento das doenças (FURTADO et al., 2009). A maioria dos agentes patogênicos necessitam de água e de certas faixas de temperaturas para germinar na superfície dos tecidos e penetrar nos tecidos hospedeiros. Isso implica que dosséis vegetativos densos tornam-se suscetíveis às doenças (TIVOLI et al., 2012). Doenças foliares reduzem a área foliar capaz de produzir fotoassimilados e a aparência visual dessas doenças nem sempre representa o impacto na fotossíntese (KUMUDINI et al., 2010).

As características arquitetônicas das plantas podem desenvolver um dossel vegetativo que é desfavorável para o desenvolvimento de doenças (TIVOLI et al., 2012). Isso ocorre quando plantas suscetíveis não são infectadas porque os fatores necessários

para a doença não ocorrem no momento adequado ou por um período suficientemente longo.

Geralmente, a arquitetura das plantas pode contribuir para evitar a total expressão de uma doença. Assim, além da resistência genética, o uso de uma arquitetura vegetal que produza um microambiente menos favorável para infecção fúngica pode reduzir significativamente a doença (DEBORTOLI et al., 2012; JULIATTI et al., 2014).

Tendo o conhecimento de que a arquitetura das plantas pode ser desfavorável para o desenvolvimento de doenças, alguns autores propuseram um ideotipo arquitetônico para as plantas. Para feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), a fim de evitar o mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), o ideotipo de plantas foi definido como plantas verticais, com entrenós longos, poucas ramificações e folíolos pequenos (COYNE; STEADMAN; ANDERSON, 1974). Dessa forma, as plantas permaneceriam menos tempo com as lâminas foliares úmidas, por condicionar melhor circulação de ar e interceptação de luz no interior do dossel vegetativo. Em estudo posterior definiu-se que as cultivares deveriam possuir hábito de crescimento ereto, estrutura da planta aberta e baixa densidade de dossel vegetativo (SCHWARTZ; STEADMAN; COYNE, 1978).

Em soja, foi observado que nas cultivares com maior ramificação e IAF, houve maiores variações de deposição de gotas nos terços das plantas (DEBORTOLI et al., 2012). Porém, são poucos os estudos que consideram as barreiras impostas pelas diferentes arquiteturas entre as cultivares de soja na eficiência de pulverizações. As características arquitetônicas que mais influenciam a deposição de gotas na planta são a estatura, o número e tamanho de ramificações e o número, formato e orientação das folhas. Plantas com maior estatura, maior número de ramificações e maior IAF apresentam as maiores variações na deposição de gotas no dossel vegetativo (DEBORTOLI et al., 2012).

A eficácia da tecnologia de aplicação para o controle de doenças de soja pode ser determinada pelo número e tamanho das gotículas/cm² que atingem o alvo. Para

controle efetivo, é desejável cobertura de 30 a 40 gotas e 50 a 70 gotas/cm², para fungicidas sistêmicos e fungicidas protetores, respectivamente (CHRISTOFOLETTI, 1999). O volume depositado na parte inferior é significativamente inferior à quantidade depositada na parte superior (TORMEN et al., 2012), foi observado apenas 10% de cobertura do tecido na parte inferior (WOLF; DAGGUPATI, 2009).

A aplicação de produtos fitossanitários em diferentes horários do dia pode ser uma alternativa para tornar esta prática mais eficiente, chegando maiores quantidades de ingrediente ativo na parte inferior do dossel vegetativo. As folhas superiores modificam a angulação durante o dia, devido ao processo heliotrópico, podendo diminuir a barreira que as folhas superiores exercem sobre as demais na penetração das gotas (BOLLER; FERREIRA; COSTA, 2011).

Fatores climáticos como temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento devem ser monitorados para evitar a evaporação e a deriva das gotas. Essas condições ambientais podem não ser favoráveis à pulverização no momento que as plantas apresentam movimentos heliotrópicos. Assim, faz-se necessário conciliar o momento da pulverização com as condições ambientais favoráveis, para garantir maior eficiência do controle da doença.

3 CAPÍTULO I

Arquitetura de plantas de soja e a interceptação de radiação solar

3.1 Resumo

Há ampla variabilidade na arquitetura das plantas de soja cultivadas, porém há pouco conhecimento sobre qual o tipo de arquitetura proporciona maior interceptação de radiação solar (intRFA) no interior do dossel vegetativo. Visto que o autossombreamento causa desbalanço energético para a cultura e prejuízos na produtividade. Nesse sentido o objetivo desse trabalho foi avaliar se características arquitetônicas de cultivares de soja modificam a quantidade de intRFA no estrato inferior e superior das plantas. Foram avaliadas quatro cultivares de soja (BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR), que apresentavam distintas arquiteturas de plantas. O delineamento foi em blocos casualizados com cinco repetições. A quantidade de intRFA no estrato inferior do dossel vegetativo no estádio V9 foi de 17, 43, 28 e 26%, no estádio R2 foi de 3, 2, 6 e 2% e no estádio R4 foi de 6, 2, 11 e 2%, em comparação com o estrato superior, para as cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente. Cultivares que apresentaram plantas com características de arquitetura mais compactas, obtiveram maior quantidade de intRFA no estrato inferior do dossel vegetativo.

Palavras-chave: 1. *Glycine max* (L.) Merrill. 2. Imagem tridimensional. 3. Autossombreamento. 4. Radiação fotossinteticamente ativa.

3.2 Introdução

A arquitetura de plantas refere-se à organização dos componentes das plantas no espaço que pode mudar com o tempo. Alterações possíveis na estrutura das plantas são devidas principalmente à genética e às condições ambientais (MOTERLE et al., 2011; VEASEY et al., 2011). A arquitetura das plantas é definida através do contínuo nascimento de unidades metaméricas. Uma unidade metamérica na soja é composta por um entrenó, nó, gema(s) lateral, folha trifoliolada e estruturas reprodutivas. Informações geométricas e topológicas podem definir a arquitetura. A geometria é diretamente ligada

as trocas e captura de recursos ambientais, incluem informações de formato, tamanho, localização e orientação espacial. Enquanto, a topologia refere-se à maneira que os segmentos gerados pelo crescimento da haste principal e ramificações estão conectados uns aos outros, podendo servir para entender as sequências de eventos botânicos (GODIN, 2000).

A modelagem de plantas refere-se a modelos que descrevem o desenvolvimento ao longo do tempo da arquitetura 3D (tridimensional) ou estrutura de plantas, guiado por processos fisiológicos que, por sua vez, são impulsionados por fatores ambientais (VOS; MARCELIS; EVERS, 2007, p. 4).

Assim, os modelos de simulação podem ser usados para prever o resultado de modificações de traços das plantas resultantes da variação genética e também sua interação com o ambiente, no desempenho da planta, contribuindo, para o processo de melhoramento de plantas.

A arquitetura da soja é definida pelo número e comprimento dos entrenós, número e comprimento das ramificações, número e tamanho dos folíolos, além da angulação que esses componentes arquitetônicos estão dispostos nas plantas. A arquitetura é uma característica importante da cultura que tem interferência na produtividade, pois a arquitetura afeta a distribuição de luz dentro do dossel vegetativo (WIECHERS; KAHLEN; STUTZEL, 2011). Estudos de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (intRFA) nos estratos das plantas em relação à arquitetura são necessários para uma melhor caracterização e compreensão da penetração de luz no interior do dossel vegetativo, visto que o autossombreamento pode limitar o potencial produtivo da cultura.

A competição entre as plantas na copa é detectada pela alteração na razão de luz vermelha e vermelha extrema (V/VE), essa que afeta a dominância apical e reduz, ou mesmo inibe, o crescimento dos órgãos laterais. Isso ocorre porque os sinais luminosos são percebidos pelo fitocromo, que detecta o nível de competição que as plantas se encontram (YANG et al., 2014). Portanto, há o aumento na estatura das plantas em

resposta à diminuição da qualidade da luz. Além das alterações na morfologia das plantas, a baixa intRFA no interior do dossel vegetativo limita a produção de grãos, pois ocorre o abortamento das estruturas foliares sombreadas, prejudicando a formação e enchimento de grãos principalmente no estrato inferior das plantas.

A hipótese do presente estudo é que a variação de intRFA entre cultivares de soja é devido à arquitetura das plantas, que tende a facilitar ou não a interceptação de luz solar no interior do dossel vegetativo. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar se as características arquitetônicas de cultivares de soja influenciam a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada no estrato superior e inferior das plantas.

3.3 Material e Métodos

3.3.1 Sujeito de estudo

Foram utilizadas cultivares de soja amplamente utilizadas na região norte do Rio Grande do Sul. O experimento foi conduzido na safra de 2015-2016. Para cada cultivar foi seguida a recomendação dos obtentores para o número de plantas/ha e época de semeadura.

3.3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos das cultivares BMX Ativa RR, BMX Potência RR, NA 5909 RG e 95R51. Tais cultivares apresentam características agrônômicas distintas entre si (Tabela 1).

O experimento foi em delineamento experimental de blocos casualizados com cinco repetições, totalizando vinte unidades experimentais. As parcelas foram semeadas com dez metros de comprimento e sete linhas de semeadura com espaçamento de 0,45 metros.

Tabela 1 - Características das cultivares utilizadas no experimento. Passo Fundo, 2017

Cultivar	Tipo de crescimento	Grupo de maturidade relativa	Estatura	Índice de ramificação	Densidade de semeadura (mil pl/ha)
95R51	Indeterminado	5.1	Médio	Média	320 a 380
BMX Ativa RR	Determinado	5.6	Baixo	Baixa	300 a 350
NA 5909 RG	Indeterminado	5.9	Médio	Alta	280 a 340
BMX Potência RR	Indeterminado	6.7	Alta	Alta	200 a 280

Informações disponibilizadas pelos obtentores das cultivares.

3.3.3 Procedimentos

A semeadura foi realizada na orientação norte/sul, no dia 01/12/2015. A altitude da região é de 667 m, com coordenadas geográficas de S 28° 12' e O 52° 23'. O clima é do tipo fundamental úmido, conforme classificação de Köpen. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico húmico (STRECK et al., 2008).

O experimento foi implantado no sistema plantio direto, sobre restos culturais de trigo (*Triticum aestivum* L.). Na semeadura foi realizada a adubação de 6 kg/ha de N, 60 kg/ha de P₂O₅ e 60 kg/ha de K₂O. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* e tratadas com inseticida e fungicida (REUNIÃO..., 2016, p. 33).

As densidades consistiram em 15,75 plantas/m para BMX Ativa RR, 15,30 plantas/m para NA 5909 RG, 17,10 plantas/m para 95R51 e 12,60 plantas/m para BMX Potência RR. Os manejos fitossanitários foram preventivos para que não houvesse interferência de pragas e doenças no desenvolvimento da cultura e principalmente nas características arquitetônicas das cultivares.

3.3.4 Codificação de plantas para reconstrução 3D

As reconstruções 3D seguiram a metodologia do programa VPlants e as maquetes foram visualizadas em PlantGLViewer (PRADAL et al., 2009). A codificação em gráficos de multi-escalas - MTGs (GODIN; CARAGLIO, 1998) foi realizada da base

inferior da planta para cima nos estágios V6 (quinta folha trifoliolada completamente expandida), V9 (oitava folha trifoliolada completamente expandida), R2 (florescimento pleno) e R4 (legume completamente desenvolvido) (FEHR; CAVINESS, 1977).

A codificação foi realizada em três escalas de decomposição (RAKOCEVIC et al., 2009, 2017), sendo a 1ª - planta (P), 2ª - eixos (G), onde foram considerados como 1º eixo de ordem da haste principal e os 2º e 3º eixos de ordem de ramificação, e 3ª: metâmeros, diferenciando os cotilédones acima do solo opostos (C), metâmeros juvenil com o primeiro par de folhas unifolioladas em filotaxia oposto (F), metâmeros trifoliado do pecíolo longo que suporta dois folíolos laterais que assumem tamanho igual (E), metâmero do folíolo central suportado pelo pecíolo curto (D) (Figura 1).

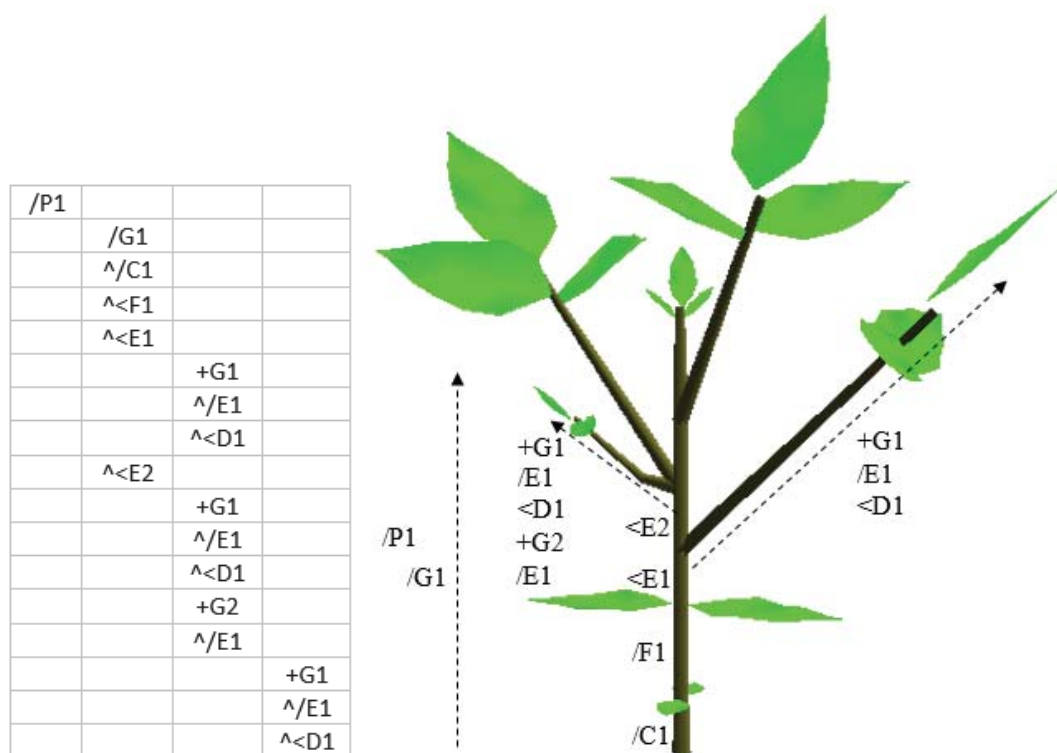


Figura 1 - Ilustração de codificação de plantas de soja para reconstrução 3D. Planta (/P1), eixo que suporta as informações da haste principal (G1), cotilédones (/C1), folhas unifolioladas (^<F1), primeiro entrenó (^<E1), metâmero da primeira folha trifoliolada (+G1), pecíolo longo e folíolo lateral (^/E1) e pecíolo curto e folíolo central (^<D). Adaptado de Rakocevic et al. (2017).

Pela metodologia de Rakocevic et al. (2009, 2017) foi atribuída a filotaxia de 180° para os cotilédones no roteiro de reconstrução em 3D e para as folhas unifolioladas, cuidando que as folhas unifolioladas são opostas aos cotilédones, girando por 90° a filotaxia das folhas unifolioladas após a reconstrução de cotilédones. Para as folhas trifolioladas foi considerada a filotaxia de 170° entre elas, para evitar a sobreposição de folhas, o que se verifica olhando a planta de cima para baixo e que simula a realidade.

Foram avaliadas duas plantas por parcela, escolhidas ao acaso, totalizando dez plantas por cultivar. Nos diferentes estádios fenológicos que foram realizadas as codificações, sempre foram avaliadas as mesmas plantas. Foi utilizado régua para medir todas as estruturas sobre o solo e os ângulos foram determinados com o uso de transferidor. Foram determinados os ângulos de elevação (α) e de rotação (β), com o uso do software GIMP 2.8 (RAKOCEVIC et al., 2017), através de fotos tiradas com máquina fotográfica ao meio dia, seguindo o método de acompanhamento de ângulos foliares durante o dia, desenvolvido por Rakocevic et al. (2010). Todas as informações geradas de medidas e ângulos da planta foram dispostas em um arquivo de formato MTG (Figura 1).

3.3.5 Caracterização dos componentes arquitetônicos

Para caracterizar a arquitetura das plantas foram avaliadas as seguintes variáveis: número de entrenós, comprimento entrenós, estatura, número de ramificações, comprimento de ramificações, comprimento do folíolo lateral, largura do folíolo lateral, comprimento folíolo central, largura do folíolo central, área foliar por planta, número de folhas por planta, área unitária das folhas e índice da área foliar (IAF).

A área foliar por planta, área unitária por folíolo e IAF foram avaliadas com medidor de área foliar (LI-3100C, LI-COR BIOCIENCE) de cinquenta plantas por cultivar nos estádios V3 (segunda folha trifoliolada completamente expandida), V6, R2 e R4 (FEHR; CAVINESS, 1977). As demais variáveis foram avaliadas mediante a

decomposição das codificações nos estádios V6, V9, R2 e R4, sendo que a amostra consistiu de dez plantas por cultivar.

3.3.6 Intercepção de radiação fotossinteticamente ativa

Para avaliar a intRFA ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) pelo estrato superior e inferior das plantas, foi realizada a leitura da radiação fotossinteticamente ativa nos estádios V9, R2 e R4, com o uso de um ceptômetro (ACCUPAR LP-80, DECAGON). As leituras foram realizadas ao meio-dia, duas vezes por parcela. Foi medida a radiação que chegava sobre o topo das plantas, na metade da altura das plantas e a 5 cm do solo. As avaliações foram feitas a uma distância de 10 cm da haste principal das plantas. Foi descontado do valor medido sobre as plantas o valor medido na metade da altura das plantas, para estimar quanto o estrato superior havia interceptado de radiação solar. Enquanto que o valor encontrado das leituras sobre o solo foi subtraído do valor medido na metade da altura das plantas para estimar quanto o estrato inferior interceptou de radiação fotossinteticamente ativa.

3.3.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3.4 Resultados

3.4.1 Caracterização dos componentes arquitetônicos

O número de entrenós, o comprimento de entrenós da haste principal e a estatura das plantas variaram entre cultivares ($p \leq 0,05$) (Figura 2). Nos estádios vegetativos não houve diferença entre as cultivares para o número de entrenós, porém devido ao comprimento dos entrenós que foram distintos entre as cultivares, houve diferença na estatura.

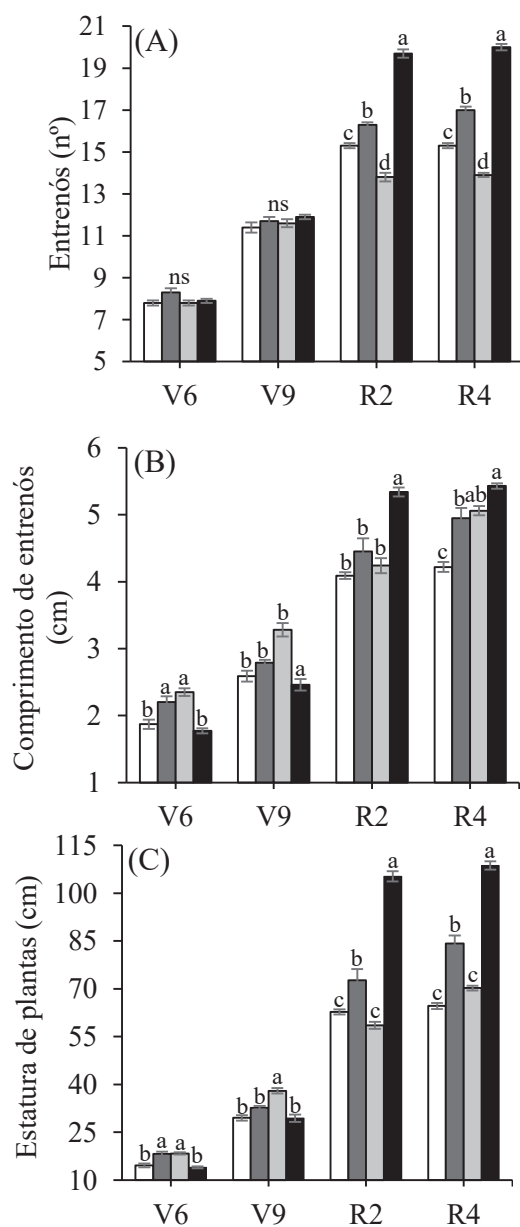


Figura 2 - Número de entrenós, comprimento de entrenó e estatura de plantas em diferentes cultivares de soja.

Número de entrenós por planta na haste principal (A), comprimento de entrenós por planta da haste principal (B) e estatura por planta (C), nos estádios fenológicos V6, V9, R2 e R4. Médias seguidas de diferentes letras nas colunas diferem entre tratamentos por estágio fenológico, conforme o Teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ns - não significativo. As barras verticais representam \pm erro padrão das médias.

A cultivar BMX Potência RR apresentou maior número e comprimento de entrenós da haste principal nos estádios reprodutivos (número de entrenós de 18,0 e 20,0 e comprimento de entrenós de 5,3 e 5,0 nos estádios R2 e R4, respectivamente), dessa

forma foi a cultivar que apresentou maior estatura, chegando a superioridade de 40% da cultivar de menor porte BMX Ativa RR (estatura de 64,6 cm no estágio reprodutivo R4) (Figura 2). A cultivar BMX Ativa RR praticamente estagnou o crescimento durante os estádios reprodutivos, devido a sua característica de ciclo determinado.

As cultivares NA 5909 RG e BMX Potência RR, nos estádios V9, R2 e R4 apresentaram maiores números de ramificações por planta, enquanto que para os maiores valores de comprimento das ramificações foi a partir dos estádios reprodutivos da cultura (Figura 3). As cultivares BMX Ativa RR e 95R51 foram inferiores estatisticamente no número e comprimento de ramificações nos estádios reprodutivos.

Foram encontrados valores máximos no estágio R4 de 8, 14, 5 e 14 no número de ramificações por planta e de 9,66, 25,88, 12,51 e 21,43 cm para o tamanho das ramificações, para as cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente (Figura 3). No estágio R4 as cultivares BMX Ativa RR e 95R51, apresentaram decréscimo no número de ramificações, enquanto que as cultivares 95R51 e BMX Potência RR isso ocorreu no comprimento das ramificações.

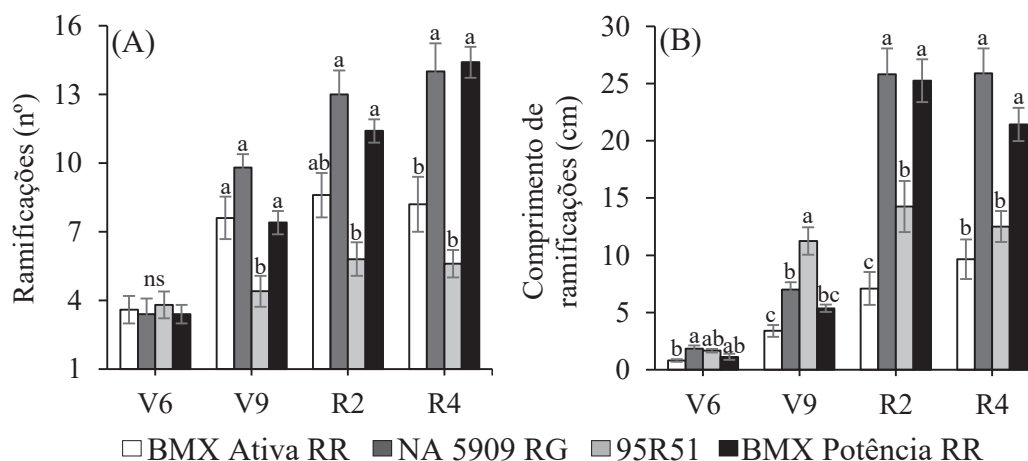


Figura 3 - Número de ramificações por planta e comprimento médio das ramificações por planta em diferentes cultivares de soja e estádios fenológicos.

Número de ramificações por planta (A), comprimento das ramificações por planta (B), nos estádios V6, V9, R2 e R4. Médias seguidas de diferentes letras nas colunas diferem entre tratamentos por estágio fenológico, conforme o Teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ns - não significativo. As barras verticais representam \pm erro padrão das médias.

No estágio V6 a cultivar BMX Potência RR apresentou maior comprimento dos folíolos laterais e centrais, de aproximadamente 5,81 e 6,36 cm, respectivamente, enquanto que a largura dos folíolos não houve diferença entre as cultivares (Tabela 2).

Tabela 2 - Comprimento do folíolo lateral, largura do folíolo lateral, comprimento do folíolo central e largura do folíolo central de quatro cultivares de soja. Passo Fundo, RS, 2016

Cultivar	Comprimento lateral	Largura lateral	Comprimento central	Largura central
V6				
BMX Ativa RR	5,12 ab	4,11 ns	5,75 ab	4,57 ns
NA 5909 RG	5,09 b	3,99	5,52 b	4,37
95R51	5,09 b	3,77	5,93 ab	4,21
BMX Potência RR	5,81 a	4,14	6,36 a	4,59
C.V. (%)	7,16	7,04	6,87	7,24
V9				
BMX Ativa RR	5,25 a	4,38 a	6,02 a	4,84 a
NA 5909 RG	4,58 b	3,79 b	5,12 b	4,07 b
95R51	5,15 ab	3,92 ab	5,77 ab	4,10 b
BMX Potência RR	5,30 a	3,98 ab	5,82 ab	4,26 ab
C.V. (%)	6,30	7,36	7,60	7,38
R2				
BMX Ativa RR	6,46 b	5,43 a	7,39 a	5,54 a
NA 5909 RG	5,88 bc	4,64 b	6,54 b	4,79 b
95R51	5,32 c	3,97 c	6,10 b	4,05 c
BMX Potência RR	7,21 a	4,96 ab	7,97 a	5,12 ab
C.V. (%)	5,92	7,28	5,95	6,19
R4				
BMX Ativa RR	7,92 ab	6,22 a	8,86 ab	6,67 a
NA 5909 RG	6,58 b	5,02 b	7,18 c	5,11 b
95R51	6,98 ab	5,03 b	7,92 bc	5,08 b
BMX Potência RR	8,76 a	5,59 ab	9,01 a	5,61 b
C.V. (%)	12,57	7,85	6,86	7,60

C.V.: coeficiente de variação. Estádios fenológicos: V6, V9, R2 e R4. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey; ns - não significativo.

No estágio V9 a cultivar BMX Ativa RR foi superior nas dimensões dos folíolos, caracterizando ter folíolos de maiores dimensões que as demais cultivares (Tabela 2). Em R2 o comprimento do folíolo lateral foi superior para a cultivar BMX Potência RR em 26% da cultivar 95R51, enquanto que o comprimento do folíolo central foi igual estatisticamente à cultivar BMX Ativa RR. Para a largura dos folíolos no estágio R2 a cultivar BMX Ativa RR foi superior em 26 e 27% para lateral e central, respectivamente, da cultivar que apresentou menor largura de folíolos (95R51). A cultivar 95R51 apresentou menor largura e comprimento de folíolos no estágio R2.

No estágio R4, as cultivares BMX Ativa RR e BMX Potência RR apresentarem folíolos maiores em relação as demais cultivares(Tabela 2). A BMX ativa RR obteve maiores valores para largura de folíolo central e lateral, de 6,22 e 6,67 cm, respectivamente. A cultivar BMX Potência RR foi superior para o comprimento dos folíolos centrais e laterais de aproximadamente 25% da cultivar de menor dimensões. Ao contrário do estágio R2, no estágio R4 a cultivar NA 5909 RG e 95R51 apresentaram similaridade às dimensões dos folíolos.

A cultivar BMX Potência RR apresentou maior área foliar por planta (2.315 cm²), enquanto que a cultivar 95R51 apresentou menores valores (1.105 cm²), sendo sua inferioridade de 52% no estágio R2 para a cultivar BMX Potência RR (Figura 4). O número de folhas apresentou diferença entre as cultivares a partir dos estádios reprodutivos. A diferença observada foi de 7 folhas por planta entre a cultivar NA 5909 RG que obteve maior número de folhas com a cultivar BMX Ativa RR de menor número de folhas no estágio R4, que corresponde a diferença de 35% de folhas por planta.

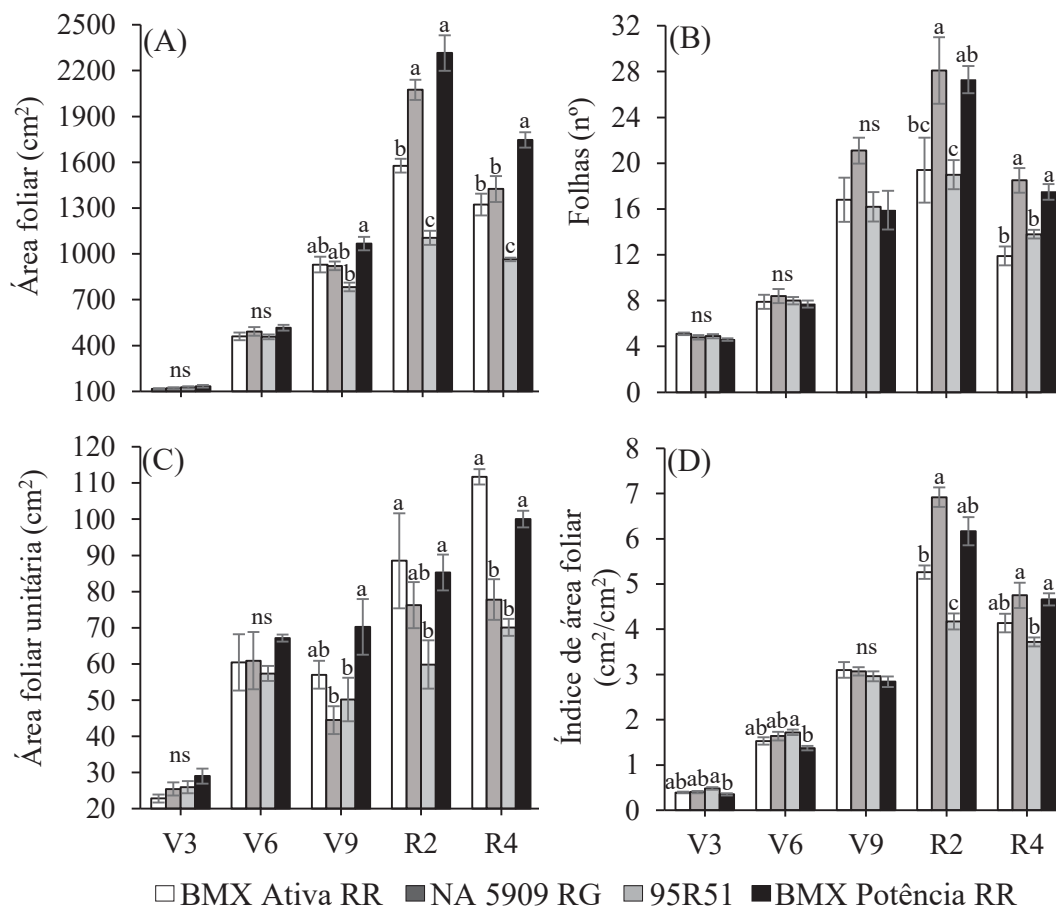


Figura 4 - Área foliar por planta, número de folhas por planta, área foliar unitária e índice de área foliar em diferentes cultivares de soja e estádios fenológicos.

Área foliar por planta (A), número de folhas por planta (B), área foliar unitária (C) e índice de área foliar (cm²/cm²) (D). Estádios fenológico: V6, V9, R2 e R4. Médias seguidas de diferentes letras nas colunas diferem entre tratamentos, conforme o Teste de Tukey (p<0,05); ns - não significativo. As barras verticais representam ± erro padrão das médias.

A área foliar unitária diferenciou-se a partir do estágio V9 entre as cultivares, com maiores valores para as cultivares BMX Ativa RR e BMX Potência RR de 57 e 70 cm², respectivamente (Figura 4). O IAF foi maior para a cultivar 95R51 nos estádios V3 (0,48) e V6 (1,72) pela maior densidade de plantas. Porém, nos estádios reprodutivos as cultivares NA 5909 RG e BMX Potência RR apresentaram maior área foliar e número de folhas, proporcionando maiores valores para o IAF, em média dos estádios R2 e R4 apresentaram IAF de 5,83 para NA 5909 RG e 5,42 para BMX Potência RR. Do estágio R2 para R4, houve decréscimo no IAF para todas as cultivares, sendo esse mais expressivo para as cultivares NA 5909 RG e BMX Potência RR que foi reduzido em 2,17

e 1,51, respectivamente, devido à abscisão de estruturas foliares.

3.4.2 Intercepção de radiação fotossinteticamente ativa

As cultivares interceptaram radiação fotossinteticamente ativa de forma distinta nos estratos superiores e inferiores. No estágio V9 observa-se que as cultivares BMX Ativa RR, 95R51 e BMX Potência RR interceptaram mais radiação solar no estrato superior, enquanto a cultivar NA 5909 RG obteve maior interceptação no estrato inferior entre as cultivares (Figura 5).

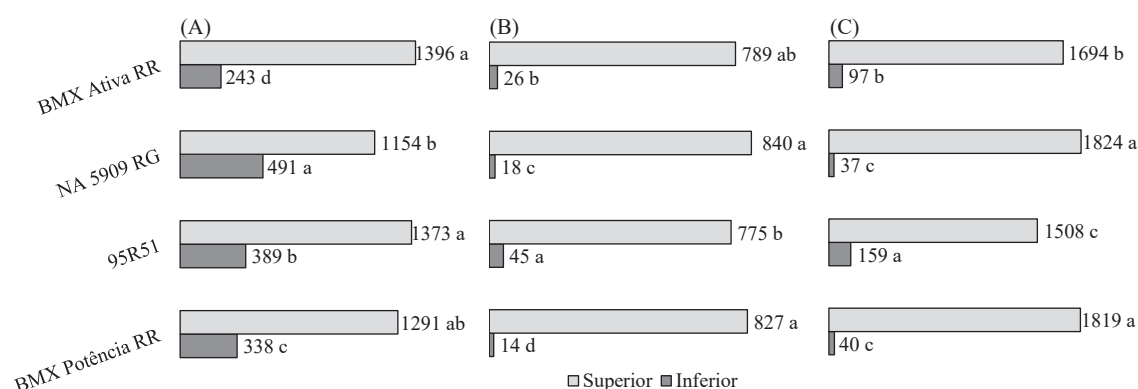


Figura 5 - Intercepção de radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) nos estratos superior e inferior das plantas de diferentes cultivares de soja. Estádios fenológicos V9 (A), R2 (B) e R4 (C). Médias seguidas de diferentes letras nas barras por estrato e estágio fenológico diferem entre tratamentos, conforme o Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Com o crescimento das plantas a relação de interceptação entre os estratos é alterada, sendo as cultivares BMX Ativa RR e 95R51 que mais interceptam luz no estrato inferior e menos no estrato superior do dossel vegetativo. A quantidade de intRFA no estrato inferior em relação a interceptada no estrato superior correspondeu a 17, 43, 28 e 26 % no estágio V9, 3, 2, 6 e 2% no estágio R2 e 6, 2, 11 e 2% no estágio R4, para as cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente.

3.5 Discussão

Cultivares de soja que apresentam plantas mais compactas, reduzem o autossombreamento, chegando mais radiação solar no estrato inferior do dossel vegetativo. Teoricamente plantas mais altas e com maior número de ramificações possuem maior número de entrenós que influenciam diretamente na produção, pois em cada nó é possível desenvolver estruturas reprodutivas (QUEIROZ-VOLTAN; FAHL; CARELLI, 2011). Porém, o problema da estatura alta das plantas e elevado número de ramificações é o autossombreamento do estrato inferior das plantas, que foi agravado nas cultivares NA 5909 RG e BMX Potência RR.

A maior densidade de semeadura tende a resultar em plantas mais altas, através do estiolamento dos entrenós principalmente na fase inicial de desenvolvimento, como observado na cultivar 95R51 no início do desenvolvimento. Normalmente, maiores densidades provocam maior competição entre as plantas pelos recursos do ambiente como água, nutrientes, luz, entre outros e pode aumentar o autossombreamento, induzindo as plantas ao estiolamento (MAUAD et al., 2010). No entanto, com o crescimento e desenvolvimento das cultivares, a cultivar 95R51 apresentou valores menores de estatura juntamente com a cultivar BMX Ativa RR. Normalmente cultivares de grupo de maturação precoce tem crescimento reduzido quando comparadas com cultivares de grupo de maturação médio e longo, pois apresentam menores números de entrenós pelo menor tempo da fase vegetativa (MEOTTI et al., 2012).

A cultivar BMX Ativa RR, de tipo de crescimento determinado, apresentou pequeno aumento no crescimento após o florescimento, porém foi inferior as demais cultivares. O hábito de crescimento determinado tem como característica cessar o crescimento das plantas após o início da fase reprodutiva, enquanto que em cultivares de hábito de crescimento indeterminado o surgimento de entrenós nos estádios reprodutivos é normalmente observado (ZANON et al., 2015).

O número de ramificações das cultivares BMX Ativa RR e 95R51 reduziram do

estádio R2 para R4, possivelmente devido ao abortamento de ramificações sombreadas na parte inferior das plantas. Esse abortamento ocorreu para as demais cultivares, porém essas apresentavam maior crescimento durante os estádios de reprodução, conseqüentemente surgiam mais ramificações do que estavam sendo abortadas pelas plantas.

O decréscimo na média do comprimento das ramificações das cultivares 95R51 e BMX Potência RR no estágio R4 foi, também, devido ao abortamento das ramificações. A cultivar BMX Potência RR aumentou o número de ramificações no estágio R4. No entanto, houve abortamento das ramificações na parte inferior das plantas, justamente as que apresentavam maiores comprimentos. Concentrações de açúcar e amido solúvel no estrato inferior foram menores quando a presença de sombreamento, resultando em maiores porcentagens de abscisão de estruturas reprodutivas (LIU et al., 2011).

A cultivar BMX Ativa RR, que apresentou, em média, as maiores dimensões dos folíolos, foi a segunda cultivar que obteve maior intRFA no estrato inferior. Isso demonstra que o tamanho dos folíolos interfere menos na intRFA no interior do dossel vegetativo do que o IAF, pois a cultivar NA 5909 RG que apresentava menores tamanhos de folíolos e maior IAF, apresentou as menores médias para interceptação no estrato inferior, juntamente com a cultivar BMX Potência RR. Dessa forma, pode-se concluir que valores elevados de IAF interferem muito mais na forma de intRFA no dossel vegetativo que o tamanho dos folíolos. Vale ressaltar que em valores menores de IAF no início do desenvolvimento da soja, folhas maiores são responsáveis por interceptar maior parte de radiação solar no estrato superior, como visto na avaliação de interceptação de radiação solar no estágio V9.

O valor crítico de IAF é considerado aquele que intercepta 95% da radiação solar (BORGES et al., 2011). Observa-se que não é problema na soja a capacidade de interceptar 95% da radiação solar, mas sim de que maneira essa radiação solar é interceptada. Nos estádios reprodutivos, em que são encontrados os maiores valores de IAF, a penetração de luz no estrato inferior do dossel vegetativo é ainda mais prejudicada.

Durante o desenvolvimento das cultivares foi observado o abortamento de ramificações, folhas e estruturas reprodutivas no estrato inferior das plantas. Esse fenômeno causa prejuízo à planta, uma vez que a planta gastou energia para formar essas estruturas. Quando úteis para produzir grãos e fotoassimilados para enchimento desses grãos, essas estruturas sombreadas não conseguem cumprir com o seu papel, pois nas estruturas sombreadas é limitada a atividade fotossintética (FIOREZE et al., 2013). Assim, essas estruturas são abortadas pela planta, a fim de minimizar o prejuízo energético à planta.

Pela codificação das plantas pode-se observar o seu comportamento durante o crescimento e desenvolvimento. As cultivares 95R51 e BMX Ativa RR apresentaram características arquitetônicas que favoreceram a intRFA no estrato inferior do dossel vegetativo. Nos estádios reprodutivos pode-se observar o abortamento de ramificações e principalmente, folhas e estruturas reprodutivas. Esse fenômeno foi inferior na cultivares BMX Ativa RR e 95R51. No entanto, foi mais acentuado no estágio R4 para as cultivares BMX Potência RR e NA 5909 RG, nas quais a parte inferior das plantas existe ramificações e nós da haste principal com ausência de folhas. Dessa forma, as estruturas reprodutivas presentes nesses nós tornam-se mais suscetíveis ao abortamento (Figura 6).

A busca de cultivares que apresentam plantas com características arquitetônicas favoráveis à interceptação de radiação solar, principalmente no interior do dossel vegetativo, pode ser um grande avanço para o aumento produtivo da cultura da soja. Como pode ser observado na Figura 6, cultivares como BMX Ativa RR e 95R51, que possuem plantas com menor número de ramificações, menor estatura e menor IAF, possibilitam maior intRFA no estrato inferior do dossel vegetativo. Assim, essas são características arquitetônicas que programas de melhoramento podem utilizar como modelos para melhorar o aspecto produtivo do estrato inferior das plantas de soja.

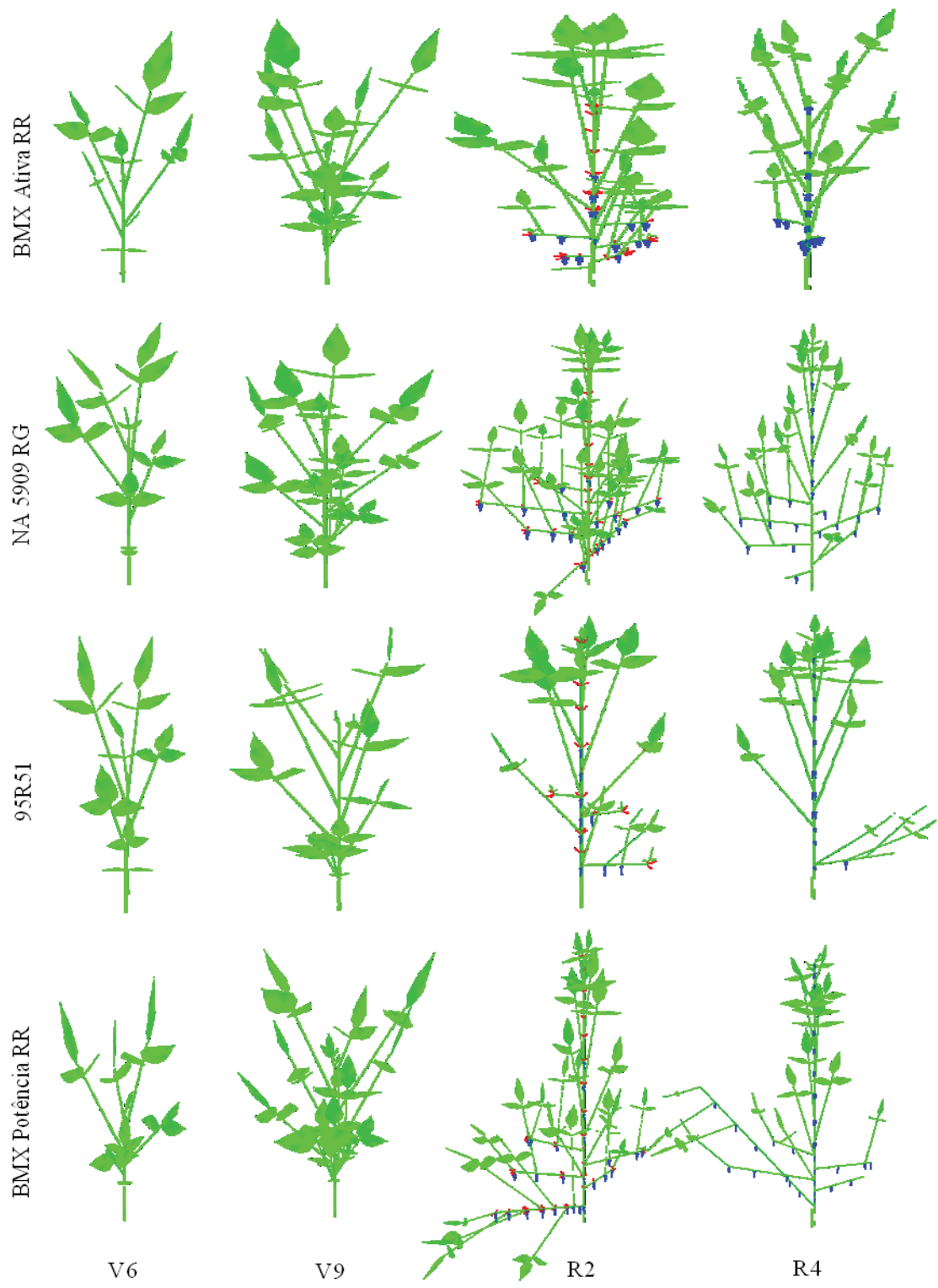


Figura 6 - Reconstrução de diferentes cultivares de soja e em diferentes estádios fenológicos.
 Estádio fenológico V6, V9, R2 e R4. Estruturas vermelhas correspondem as flores e estruturas azuis correspondem aos legumes.

3.6 Conclusões

Cultivares de soja que apresentam plantas com menor estatura, menor número de ramificações e menor índice de área foliar, têm capacidade de interceptar maior quantidade de radiação fotossinteticamente ativa no estrato inferior do dossel vegetativo.

4 CAPÍTULO II

Cultivares de soja diferem na produtividade de grãos em função da interceptação de radiação solar

4.1 Resumo

Taxa de crescimento e produção de grãos da soja, são modificadas pela eficiência de interceptação radiação solar (Eint) e eficiência de uso da radiação solar (EUR). A capacidade das plantas em interceptar luz varia conforme a sua estrutura vegetal. Além da planta apresentar alto potencial de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (intRFA), é crucial que essa interceptação ocorra no máximo de estruturas fotossintetizantes da planta. O objetivo do trabalho foi avaliar se cultivares de soja diferem na produtividade de grãos nos terços das plantas em função da interceptação de radiação solar. O dossel vegetal foi dividido em terços do perfil vertical para a avaliação dos componentes de rendimento de grãos. Foram avaliadas quatro cultivares de soja nos estádios V3, V6, V9, R2, R4, R6 e R8. O delineamento foi de blocos casualizados com cinco repetições. O maior nível de intRFA no estrato inferior do dossel vegetativo, nos estádios reprodutivos, foi de 5,2% do total da radiação solar interceptada no topo das plantas. A baixa interceptação de radiação solar no estrato inferior ocasionou infertilidade dos nós. As cultivares que apresentaram características estruturais que facilitaram a interceptação de luz no interior do dossel vegetativo, apresentaram maior produção de grãos no terço inferior, proporcionando maiores produtividades de grão.

Palavras-chave: 1. *Glycine max* (L.) Merrill. 2. Índice de área foliar. 3. Coeficiente de extinção luminosa. 4. Uso da radiação solar.

4.2 Introdução

O crescimento das plantas depende do balanço de carbono acumulado pela fotossíntese que está diretamente relacionada com a interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (intRFA). Da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente sobre o dossel vegetativo, parte é absorvida e aproveitada pelas plantas no processo fotossintético e outra parte é perdida para o meio (NOBEL, 2005, p. 527). A taxa de crescimento das plantas pode ser obtida pela estimativa da eficiência no uso da

radiação solar (EUR), que é definida com a razão entre a biomassa produzida e a intRFA pelo dossel vegetativo (STOCKLE; KEMANIAN, 2009, p. 146).

A eficiência de interceptação de radiação solar (Eint) varia conforme as características morfológicas das plantas, podendo ser mais ou menos eficientes (VOS et al., 2010). Além da intRFA, é importante que essa interceptação ocorra no máximo de estruturas fotossintetizantes possíveis da planta. Sabidamente, o sombreamento diminui a concentração de açúcar solúvel total nas folhas de soja sendo responsável pelo menor número de legumes sob condições de sombreamento. Para o sombreamento durante o ciclo, observou-se reduções de 42% no número de legumes, enquanto que o enriquecimento de disponibilidade de luz, mostrou os incrementos de 59% no número de legumes produzidos (LIU et al., 2011).

A Eint de plantas é determinada apenas pela quantidade de radiação solar, mas essa interceptação deve ser avaliada de forma estratificada no dossel vegetativo. A intRFA em toda a planta de soja é de extrema importância para o rendimento de grãos. A maioria dos açúcares sintetizados pelas plantas, são transportados a poucas distâncias pelo floema (LEMOINE et al., 2013). Dessa forma, as folhas suprem os drenos com os quais elas possuem conexões vasculares diretas, então o enchimento dos legumes de um determinado nó se dá principalmente pelos fotoassimilados produzidos na folha do metâmero em que os legumes estão inseridos (LARSON; DICKSON, 1973). Assim, a redução na massa de mil sementes foi observada quando removido 66 e 99% das folhas, evidenciando que há baixa translocação e produção de fotoassimilados durante o enchimento dos grãos na ausência dessas folhas (ZUFFO et al., 2015). Portanto, quanto maior o sombreamento e desfolha nos estádios reprodutivos da cultura, menor a eficiência do enchimento do grão.

Há variabilidade na arquitetura das cultivares de soja, havendo carência sobre o conhecimento da interferência dessas características estruturais na intRFA, como por exemplo, qual seria a arquitetura com maior Eint. A intRFA ocorre em função do índice

de área foliar (IAF) e do coeficiente de extinção luminosa (k) (BEHLING et al., 2016). Valores de k de 0,44 a 0,62, foram observados em distintos genótipos de soja (EBADI; SAJED; GHARIB-ESHGHI, 2014). Quanto maior o IAF, maior é a intRFA, mas a partir de um determinado valor, o incremento de área foliar não resulta em aumento na quantidade de luz interceptada (SCHWERZ et al., 2016). Dessa forma, ocorre um desequilíbrio energético na planta, pois estruturas sombreadas gastam energia na respiração e não produzem energia através da fotossíntese. Consequentemente, a senescência na parte inferior do dossel vegetativo é acelerada, devido à diminuição da proporção de luz vermelha e luz vermelha distante, não satisfazendo as demandas do metabolismo primário (BROUWER et al., 2012).

O conhecimento da quantidade de intRFA nos terços das plantas permitiria compreender o efeito da mesma sobre o crescimento e componentes de rendimento de grãos da cultura. A hipótese deste trabalho é que plantas que apresentam arquitetura que permite interceptar maior quantidade de radiação solar no interior do dossel vegetativo têm melhor desempenho produtivo. Assim, a proposta desse trabalho foi avaliar se cultivares de soja diferem na produtividade de grãos nos terços das plantas em função da intRFA.

4.3 Material e Métodos

4.3.1 Sujeito de estudo

Foram utilizadas cultivares de soja amplamente utilizadas na região norte do Rio Grande do Sul. O experimento foi conduzido na safra de 2015-2016. Para cada cultivar foi seguida a recomendação dos obtentores para o número de plantas/ha e época de semeadura.

4.3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos das cultivares BMX Ativa RR, BMX Potência RR, NA 5909 RG e 95R51. As cultivares BMX Potência RR, NA 5909 RG e 95R51 são de hábito de crescimento indeterminado, enquanto a BMX Ativa RR é de hábito de crescimento determinado. Os grupos de maturação são distintos entre as cultivares, sendo de 5.1, 5.6, 5.9 e 6.7 para as cultivares 95R51, BMX Ativa RR, NA 5909 RG e BMX Potência RR, respectivamente.

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados com cinco repetições, totalizando vinte unidades experimentais. As parcelas foram semeadas com dez metros de comprimento e sete linhas de semeadura com espaçamento de 0,45 m. As linhas dos extremos das parcelas foram consideradas bordaduras mais 0,5 m em cada ponta das parcelas. Foram utilizados 4 m para avaliações destrutivas, restando 5 m de comprimento para determinar o rendimento de grãos, através da colheita.

4.3.3 Procedimentos

O experimento foi conduzido em Passo Fundo, RS – Brasil, no dia 01/12/2015, com coordenadas geográficas de S 28° 12' e O 52° 23'. Altitude de 667 m e o clima do tipo fundamental úmido, conforme classificação de Köpen. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico húmico húmico (STRECK et al., 2008).

A semeadura foi realizada na orientação norte – sul, na safra de 2015-2016. O experimento foi implantado no sistema plantio direto, sobre restos culturais de trigo. Na semeadura foi realizada a adubação de 6 kg/ha de N, 60 kg/ha de P₂O₅ e 60 kg/ha de K₂O. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* e tratadas com inseticidas e fungicidas de acordo com as recomendações da cultura (REUNIÃO..., 2016, p. 33).

As densidades consistiram em 15,75 plantas/m para BMX Ativa RR, 15,30 plantas/m para NA 5909 RG, 17,10 plantas/m para 95R51 e 12,60 plantas/m para BMX Potência RR. Os manejos fitossanitários foram preventivos para que não houvesse

interferência no desenvolvimento, e principalmente afetassem as características arquitetônicas das cultivares.

Os estádios fenológicos em que ocorreram avaliações são caracterizados como: V3 (segunda folha trifoliolada completamente expandida), V6 (quinta folha trifoliolada completamente expandida), V9 (oitava folha trifoliolada completamente expandida), R2 (florescimento pleno), R4 (legume completamente desenvolvido), R6 (grão cheio ou completo) e R8 (maturação fisiológica) (FEHR; CAVINESS, 1977).

4.3.4 Estimativas da eficiência de interceptação de radiação solar

As medições de radiação fotossinteticamente ativa (RFA, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) foram realizadas através de ceptômetro (ACCUPAR LP-80, DECAGON) nos estádios V6, V9, R2 e R4, a 5 cm acima do dossel, na metade da estatura do dossel vegetativo e a 5 cm acima do solo. As leituras de RFA foram feitas a cada hora do dia, do nascer ao pôr do sol, sempre nas mesmas plantas das parcelas, totalizando sessenta medidas por hora. O k e a E_{int} foram avaliados às 11h, 12h e 13h.

As avaliações de matéria seca (MS) das plantas foram obtidas a partir de dez plantas por parcela, totalizando cinquenta plantas por cultivar, nos estádios V3, V6, V9, R2, R4 e R6. As plantas avaliadas foram coletadas na sequência da linha e cortadas rente ao solo e levadas a estufa para desidratação, por 72 horas a 60 °C, até atingir massa constante. Após a secagem, foi determinada a MS por planta (g/pl).

A área foliar (AF) foi medida por método destrutivo, por meio do integrador de área foliar (LI-3100C, LI-COR BIOCIENCE). Foram avaliadas dez plantas por parcela, coletadas na sequência da linha, nos estádios V3, V6, V9, R2 e R4. O índice de área foliar (IAF) foi determinado através da razão entre AF do dossel vegetativo e a unidade de superfície projetada no solo (AP) (m^2/m^2) (Equação 1):

$$\text{IAF} = \frac{\text{AF}}{\text{AP}} \quad \text{(Equação 1)}$$

A interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (intRFA) pelo dossel vegetativo, foi calculada a partir das medições da radiação solar incidente (RSI) e a fração transmitida (FT) através do dossel vegetativo até o solo (Equação 2):

$$\text{intRFA} = \text{RSI} - \text{FT} \quad (\text{Equação 2})$$

A eficiência de interceptação da radiação solar (Eint) foi determinada a partir do quociente entre a radiação solar interceptada (intRFA) e a total de RSI sobre o dossel vegetativo (Equação 3):

$$\text{Eint} = \frac{\text{intRFA}}{\text{RSI}} \quad (\text{Equação 3})$$

A partir de valores médios da eficiência de interceptação da radiação solar e dos valores de índice de área foliar (IAF), foi determinado o coeficiente de extinção (k) do dossel vegetativo, estimado a partir da teoria de Monsi e Saeki, com base nos pressupostos da lei de Beer (HIROSE, 2005) na Equação 4:

$$\text{Ln}(1 - \text{Eint}) = k \cdot \text{IAF} \quad (\text{Equação 4})$$

A eficiência de uso da radiação (EUR), expressa em g/MJ, foi estimada através da análise de regressão entre a MS acumulada na planta (g/m^2) e a soma de intRFA (MJ/m^2), conforme Sinclair e Muchow (1999) durante o ciclo da cultura (Equação 5):

$$\text{EUR} = \frac{\text{MS}}{\text{intRFA}} \quad (\text{Equação 5})$$

Para os cálculos de EUR foram transformados $\mu\text{mol/s/m}^2$ em $\text{MJ/m}^2/\text{dia}$, utilizando-se um único valor de conversão para os diferentes ambientes, conforme Thimijan e Heins (1983), em que t é o tempo entre as leituras de RFA, que nesse caso eram 3600 segundos e 4,57 é o valor de conversão (Equação 6):

$$RFA = \sum_{\text{diário}} \frac{RFA(\mu\text{mols s}^{-1} \text{ m}^{-2}) \cdot t(\text{s})}{\frac{4.57(\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1})}{1000000}} \quad (\text{Equação 6})$$

4.3.5 Frutificação

A frutificação efetiva foi determinada através da contagem de estruturas reprodutivas (flores e legumes) nos estádios R2, R4 e R8 por terço inferior, médio e superior das plantas. A estatura da planta foi medida e dividida em 3 partes para determinar os terços, inclusive as ramificações.

4.3.6 Componentes de rendimento de grãos

No estágio de maturação fisiológica, foram coletadas dez plantas na sequência da linha de cada parcela, para avaliar os componentes do rendimento através de estratificações por terços da planta. Foi determinado o número de nós produtivos (NNP), nós improdutivos (NNI), número de grãos (NG), massa de grãos (MG), massa de mil grãos (MMG) e rendimento de grãos (RG). Para determinação da MG a umidade foi corrigida para 13% e então foi definido o rendimento de grãos por hectare RG (kg/ha) de cada terço das plantas.

Além do RG obtido por meio da estratificação das plantas, foi realizada a colheita de nove m² através de uma colhedora de parcelas. As amostras foram pesadas, corrigidas a umidade para 13% e definido o RG (kg/ha) e a MMG da planta inteira.

4.3.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Além da análise de correlação de Pearson entre as variáveis a 5% de probabilidade de erro.

4.4 Resultados

4.4.1 Eficiência de interceptação de radiação solar e crescimento de plantas

Devido à baixa estatura no estágio V6 (estatura máxima de 18,3 cm), foi possível apenas avaliar a intRFA no topo da planta e quanto interceptou o solo, gerando a quantidade total interceptada (Figura 1).

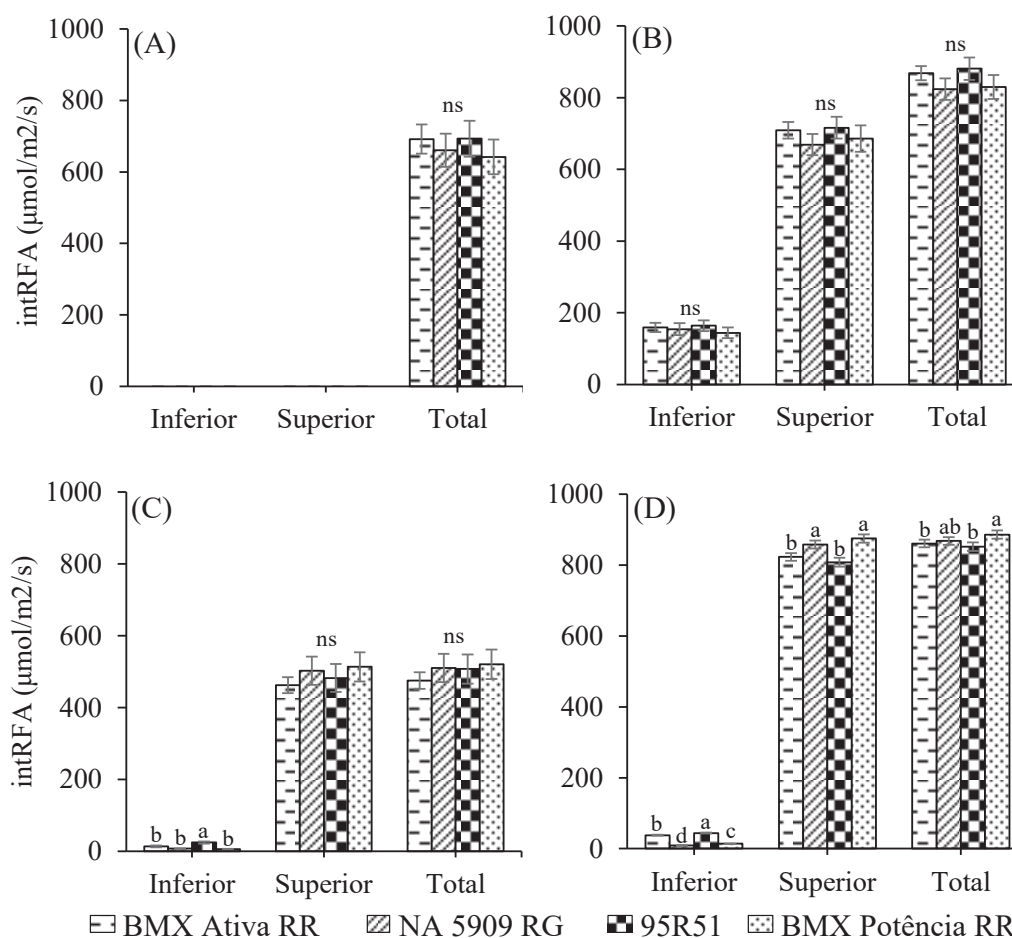


Figura 1 - Interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (intRFA) em diferentes cultivares de soja com distintas características arquitetônicas durante o dia, no estrato superior, inferior e total das plantas.

Estádios fenológico: V6 (A), V9 (B), R2 (C), e R4 (D). Médias seguidas de diferentes letras nas colunas diferem entre tratamentos, conforme o Teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ns - não significativo. As barras verticais representam \pm erro padrão das médias.

A intRFA não apresentou diferenças nos estádios vegetativos de desenvolvimento, mas nos estádios reprodutivos observa-se diferenças entre as cultivares estudadas. Com o crescimento e desenvolvimento das plantas, foi observado decréscimo na intRFA no interior do dossel vegetativo (Figura 1). O percentual de radiação que foi interceptada no estrato inferior das plantas comparadas com o total no estádio V9 foi de aproximadamente 18% para todas as cultivares, apresentando ser o estádio de maior intRFA no estrato inferior do dossel vegetativo. No estádio R2 foi de 2,70, 1,37, 4,73 e 1,15%, enquanto que no estádio R4 com o decréscimo do IAF obteve-se maior percentual de interceptação no estrato inferior, sendo 4,41, 1,03, 5,16, 1,58% do total de radiação solar incidente, para as cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente.

Maiores valores de IAF foram observados no estádio R2, com valores de 5,2, 6,9, 4,2 e 6,2 para as cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente (Figura 2). No estádio fenológico de R4 as cultivares apresentaram queda de folhas em função do autossombreamento, resultando em decréscimo no IAF de 1,1, 2,1, 0,4 e 1,5 para os cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente. Os maiores valores de k foram observados no estádio V6, quando as plantas tinham elevada Eint mesmo com valores baixos de IAF. Os valores de k das cultivares apresentaram mesma tendência até o estádio R2, apresentando maiores valores de k no estádio V6, com decréscimo no estádio V9 e aumento no estádio R2. Apenas na avaliação do estádio fenológico de R4 foi observado decréscimo no valor para a cultivar 95R51, e manteve-se praticamente constante para a BMX Ativa RR, enquanto que as demais cultivares apresentaram aumento.

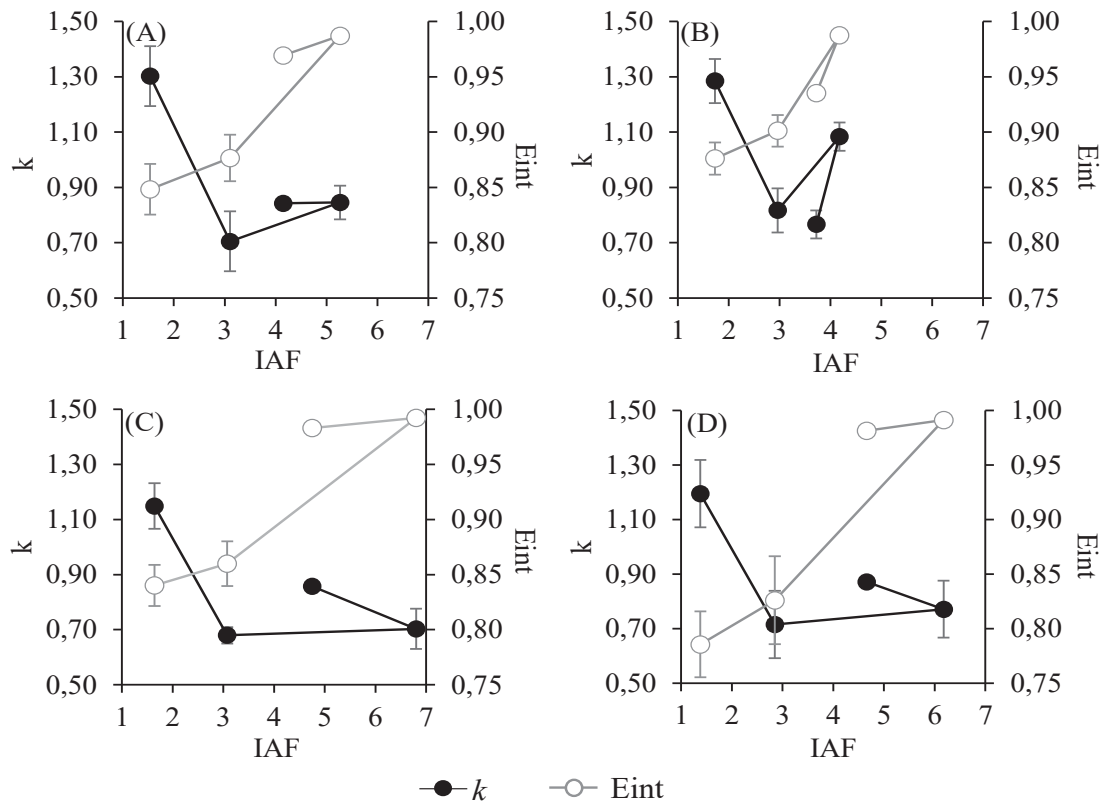


Figura 2 - Coeficiente de extinção luminosa e eficiência de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa em função do índice de área foliar na continuação temporal nos estádios fenológicos V6, V9, R2 e R4.

Cultivares BMX Ativa RR (A), 95R51 (B), NA 5909 RG (C) e BMX Potência RR (D). Coeficiente de extinção luminosa no eixo y primário (k), eficiência de interceptação de radiação solar no eixo y secundário (Eint) e índice de área foliar no eixo x (IAF). As barras verticais representam \pm erro padrão das médias.

A menor Eint observado foi de 0,79 na cultivar BMX Potência RR no estágio V6 e a maior foi de 0,99 para todas as cultivares no estágio R2 (Figura 2). Houve alteração na Eint antes e após o florescimento, tendo como médias de 0,86, 0,85, 0,89 e 0,81 antes da floração e 0,98, 0,98, 0,96 e 0,98 após floração para as cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente.

A quantidade de RFA acumulada durante o ciclo é dependente da duração do ciclo e Eint. Assim, a totalidade de RFA foi de 825, 819, 775 e 878 MJ/m² para as cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente (Figura 3). A cultivar BMX Potência RR obteve maior acúmulo de RFA devido a maior duração do

ciclo. Essa cultivar pertence ao grupo de maturação 6.7, enquanto as demais cultivares pertencem aos grupos de maturação de 5.1, 5.6 e 5.9, (95R51, BMX Ativa RR e NA 5909, respectivamente). A EUR foi de 1,6, 1,8, 1,8 e 1,5 g/MJ para as cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente. A cultivar BMX Potência RR que interceptou mais RFA, obteve menor eficiência de conversão de RFA em MS.

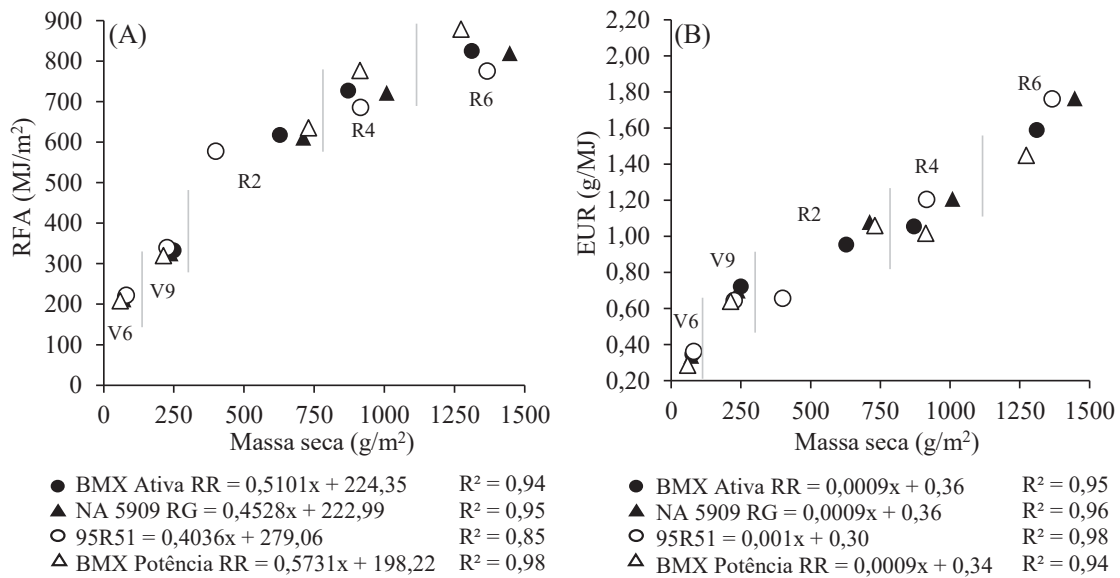


Figura 3 - Radiação fotossinteticamente ativa interceptada e eficiência no uso dessa radiação solar em relação à massa seca produzida por diferentes cultivares de soja com distintas características arquitetônicas nos estádios fenológicos V6, V9, R2, R4 e R6. Radiação fotossinteticamente ativa acumulada no eixo y (RFA) (A) e eficiência no uso da radiação no eixo y (EUR) (B), ambos com a variável massa seca no eixo x.

Para 100 g/m² de massa seca são necessários 275 (BMX Ativa RR), 268 (NA 5909 RG), 319 (95R51) e 255 (BMX Potência RR) MJ/m² de RFA, demonstrando que a cultivar BMX Potência RR tem maior conversão de RFA em produção de massa no início do desenvolvimento (Figura 3). No entanto, para produzir 1000g/m² de massa seca são necessários 734 (BMX Ativa RR), 673 (NA 5909 RG), 679 (95R51) e 768 MJ/m² de RFA. Nesse sentido, a EUR durante o crescimento das plantas foi menor para a cultivar BMX Potência RR, que para 1000g/m² apresentou 1,24 EUR.

4.4.2 Dinâmica de produção de legumes

No estágio fenológico R2, estágio caracterizado como florescimento pleno, a cultivar BMX Potência RR foi superior no número de estruturas reprodutivas das demais cultivares avaliadas (Figura 4). Todavia, isso não refletiu em melhor desempenho na avaliação de frutificação efetiva. Já as cultivares BMX Ativa RR e 95R51 formaram os menores números de estruturas reprodutivas no estágio de R2 e foram as cultivares que apresentaram maior percentual de frutificação efetiva no terço inferior, sendo a cultivar 95R51 superior a cultivar BMX Ativa RR.

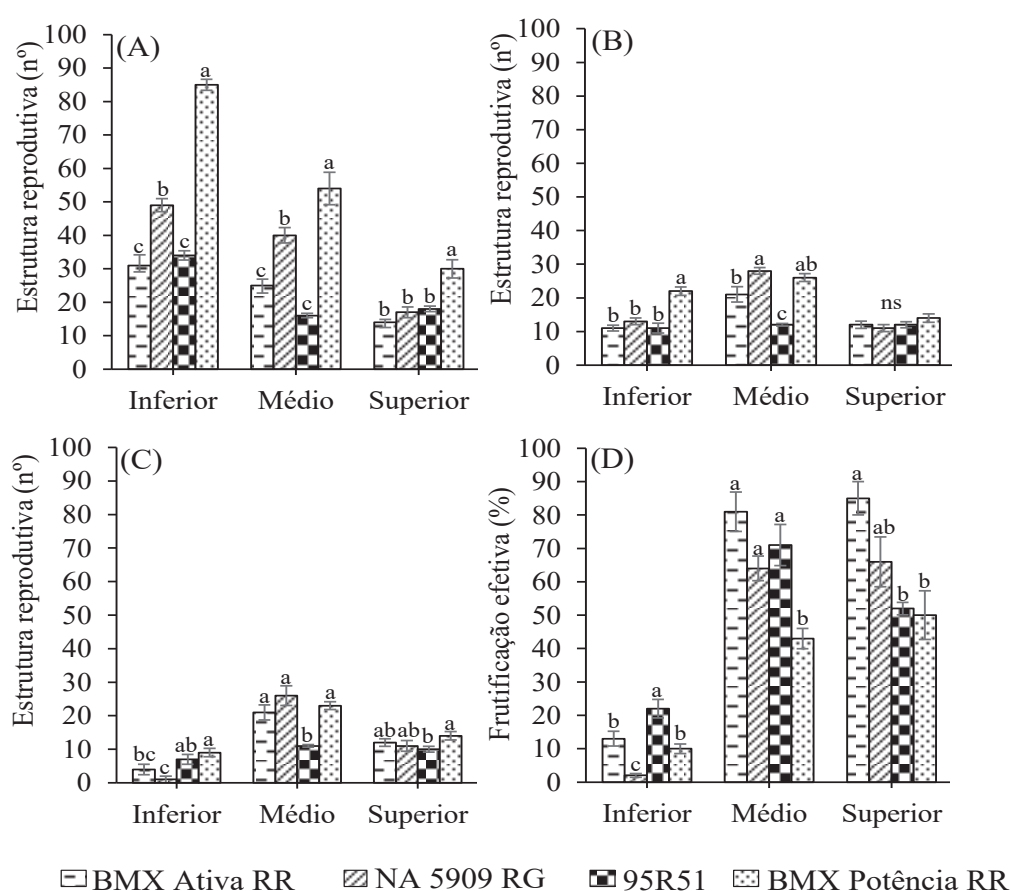


Figura 4 - Número de estruturas reprodutivas (flores e legumes) de cultivares de soja com distintas características arquitetônicas por terços das plantas. Estádios fenológicos R2 (A), R4 (B), R8 (C) e frutificação efetiva (D).

Médias seguidas de diferentes letras nas colunas diferem entre tratamentos por terço, conforme o Teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ns - não significativo. As barras verticais representam \pm erro padrão das médias.

A frutificação efetiva no terço médio mostrou que apenas a cultivar BMX Potência RR foi inferior às demais cultivares, enquanto que no terço superior a cultivar BMX Ativa RR foi mais produtiva, mas não diferenciou da cultivar NA 5909 RG (Figura 4). O valor máximo encontrado para a frutificação efetiva no terço inferior foi de 22% para a cultivar 95R51, enquanto que a cultivar BMX Ativa RR obteve os maiores valores para terço médio de 81% e terço superior de 85%.

4.4.3 Componentes de rendimento de grãos

A cultivar 95R51 obteve maior produtividade no terço inferior, isso pode ser devido ao menor número de NNI, em relação as demais cultivares (Tabela 1). A relação entre NNI e NNP no terço inferior das cultivares foi de aproximadamente 4 para BMX Ativa RR, 12 para NA 5909 RG, 1 para 95R51 e 2 para BMX Potência RR. Dessa forma, a cultivar 95R51 obteve maior NG, e conseqüentemente, maior MG por planta, com produtividade de aproximadamente de 500 kg/ha a mais que a BMX Potência RR no terço inferior. A cultivar NA 5909 RG que apresentou elevada relação entre NNI e NNP no terço inferior, obteve a menor MG por planta, produzindo cerca de 1200 kg/ha a menos que a cultivar 95R51.

Apesar das diferenças dos componentes de rendimento no terço médio, rendimento final não diferiu entre as cultivares (Tabela 1). No terço superior observa-se que as cultivares BMX Potência RR e NA 5909 RG apresentaram desempenho superior das variáveis NNP e NG, devido ao maior número de nós que obtiveram, pois o número de NNI não houve diferença entre as cultivares. Porém, não houve diferença para a MG por planta entre as cultivares, isso é decorrente da MMG que foi inferior para as cultivares BMX Potência RR e NA 5909 RG, refletindo no resultado final do RG.

Tabela 1 - Estratificação dos componentes de rendimento por terços em diferentes cultivares de soja com distintas características arquitetônicas. Passo Fundo, 2016

Cultivar	NNP (n°)	NNI (n°)	NL (n°)	NG (n°)	MG (g)	MMG (g)	RG (kg/ha)
Terço inferior							
BMX Ativa RR	2,78 b	8,82 b	4,00 bc	6,22 c	1,23 c	197,89 ns	467,73 c
NA 5909 RG	1,14 c	13,82 a	1,30 c	3,34 d	0,53 d	162,69	203,86 d
95R51	5,16 a	5,40 c	7,40 ab	20,06 a	3,71 a	185,07	1412,41 a
BMX Potência RR	4,68 a	14,30 a	9,00 a	18,08 b	2,61 b	144,40	992,54 b
C.V. (%)	15,07	10,56	38,25	7,78	16,08	19,31	16,12
Terço médio							
BMX Ativa RR	7,46 b	0,22 c	21,00 a	44,52 b	8,59 ab	192,68 a	3007,85 ns
NA 5909 RG	12,52 a	1,60 a	26,01 a	53,54 a	9,02 a	168,98 ab	3067,39
95R51	5,30 b	0,64 b	11,6 b	31,22 c	6,38 b	203,86 a	2427,68
BMX Potência RR	11,54 a	0,70 b	23,4 a	57,66 a	8,55 ab	148,56 b	2393,91
C.V. (%)	13,15	28,23	14,06	9,86	14,65	11,66	15,32
Terço superior							
BMX Ativa RR	4,42 b	0,04 ns	12,10 ab	27,42 ab	5,18 ns	189,88 a	1812,31 a
NA 5909 RG	5,98 a	0,04	11,20 ab	31,86 a	5,33	168,54 ab	1815,48 a
95R51	4,10 b	0,06	9,90 b	21,24 b	4,25	202,60 a	1617,85 ab
BMX Potência RR	6,04 a	0,1	14,40 a	32,68 a	4,44	134,94 b	1244,55 b
C.V. (%)	7,27	27,96	17,86	12,21	15,11	15,68	14,41

Número de nós produtivos por planta (NNP), número de nós improdutivos por planta (NNI), número de legumes por planta (NL), número de grãos por planta (NG), massa de grãos por planta (MG), massa de mil grãos em gramas (MMG), rendimento de grãos em quilos por hectare (RG (kg/ha)). C.V. - coeficiente de variação. Médias seguidas de diferentes letras nas colunas diferem entre tratamentos, conforme o Teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ns - não significativo.

Nas avaliações das plantas inteiras através da colheita mecanizada, observa-se que a cultivar 95R51 obteve o maior RG, enquanto a cultivar BMX Potência RR foi a menos produtiva (Tabela 2). A MMG foi menor na cultivar que demonstrou menor RG (BMX Potência RR), enquanto que as demais cultivares obtiveram maiores valores de MMG.

Tabela 2 - Massa de mil grãos e rendimento de grãos de quatro cultivares de soja com distintas características arquitetônicas. Passo Fundo, 2016

Cultivar	MMG (g)	RG (kg/ha)
BMX Ativa RR	193 a	5242 b
NA 5909 RG	165 b	4924 c
95R51	196 a	5426 a
BMX Potência RR	141 c	4572 d
C.V. (%)	2,53	1,67

RG - Rendimento de grãos em quilos por hectare; MMG - massa de mil grãos em gramas. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. C.V. - coeficiente de variação.

A correlação entre intRFA e rendimento de grãos foi positiva e significativa para intRFA do estrato inferior com RG do terço inferior ($r = 0,45$) e RG total das plantas ($r = 0,46$) (Tabela 3). Para as demais variáveis não foi significativa a correlação de Pearson.

Tabela 3 - Correlações de Pearson entre interceptação de radiação fotossinteticamente ativa e variáveis de rendimento de grãos em cultivares de soja. Passo Fundo, 2016

Variáveis	RG - terço inferior	RG - terço médio	RG - terço superior	RG - total
intRFA - estrato inferior	0,45 *	0,01	0,31	0,46 *
intRFA - estrato superior	-0,002	-0,17	0,08	-0,08
intRFA - total	0,22	-0,16	0,24	0,15

RG - Rendimento de grãos em quilos por hectare; intRFA - Interceptação de radiação fotossinteticamente ativa. * Significativo a 5% de probabilidade de erro.

4.5 Discussão

Plantas que interceptaram maior quantidade de luz no interior do dossel vegetativo, apresentaram melhor desempenho na frutificação efetiva. A ausência de diferença na intRFA nos estádios V6 e V9 entre as cultivares, foi devido à similaridade de distribuição de AF das plantas nesse período. Nos estádios reprodutivos as plantas se

diferenciaram na distribuição da folhagem diferindo na intRFA. A cultivar 95R51 de maior densidade populacional, foi a cultivar que mais intRFA no estrato inferior do dossel vegetativo durante o período reprodutivo, apresentando os maiores valores de k nos estádios V6, V9 e R2. De maneira geral, independente do estágio fenológico, as maiores densidades populacionais proporcionam menores valores de k (PETTER et al., 2016). Isso evidencia que a cultivar 95R51, apresentou características morfológicas que facilitaram a interceptação de luz no interior do dossel vegetativo, não sendo a densidade populacional um fator limitante para a penetração de luz no dossel vegetativo.

As plantas demonstraram ter elevada Eint, no entanto, houve baixa distribuição dessa radiação solar ao longo do perfil do dossel vegetativo. Isso se torna evidente ao analisar a intRFA de maneira estratificada no dossel vegetativo, dividindo-o em estrato inferior e superior. As médias de intRFA durante as avaliações no estrato superior foram de 90, 92, 89 e 92% do total de RFA incidente, para as cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente. Ou seja, o estrato superior do dossel vegetativo intRFA de 8 a 12 vezes mais do que o estrato inferior. Corroborando com Petter et al. (2016), onde a média da intRFA no inferior das plantas foi 150% menor em relação à intRFA no estrato superior.

A desuniforme distribuição da RFA no dossel vegetativo compromete principalmente a utilização da radiação difusa pelas folhas do dossel inferior, visto que a radiação total incidente fica limitada ao dossel superior. Isso pode ser agravado em longos períodos com dias nublados e chuvosos, uma vez que, nessas condições, a contribuição da radiação difusa para a fotossíntese é significativa (SOUZA et al., 2010). A baixa intRFA no estrato inferior do dossel vegetativo pode comprometer a produção energética da planta e conseqüentemente limitar a produtividade da cultura. Esse fator torna-se mais acentuado se considerar que a contribuição do dossel inferior na produção de grãos, pode representar 35 a 45% do total produzido em uma planta de soja (BAHRY et al., 2014).

O valor de k é inverso ao valor de IAF (PILAU; ANGELOCCI, 2015) e por isso, no estágio V6 o valor do k foi o maior entre as avaliações para as cultivares, isso é

decorrente do baixo IAF, porém com considerável capacidade de interceptar RFA. Contudo, no estágio V9 houve redução do k , pois o IAF praticamente dobrou e alterou pouco a Eint. Assim, as plantas possuíam mais AF e a capacidade de interceptar radiação solar praticamente se igualava a da avaliação do estágio V6. A Eint em R2 foi de 0,99 para todas as cultivares, isso explica porque os valores de k foram superiores para as cultivares BMX Ativa RR e 95R51, que com menor AF apresentaram a mesma Eint das demais cultivares. O k é um parâmetro importante para avaliar a capacidade das plantas em interceptar radiação solar e ele é dependente do tipo e distribuição de folhagem, especialmente o ângulo foliar e tipo de distribuição foliar (TEIXEIRA; STONE; HEINEMANN, 2015). O coeficiente de extinção revela o grau de redução exponencial dos fótons de radiação solar no dossel vegetativo e a redução desse valor infere também na baixa qualidade de distribuição da RFA (PETTER et al., 2016).

A Eint determina quanto de radiação solar está chegando sobre o dossel vegetativo e sendo interceptado pelas plantas (PILAU; ANGELOCCI, 2016) e está diretamente relacionada ao IAF da cultura, visto que seu aumento proporciona incremento na intRFA. No estágio R2, as cultivares apresentaram maiores valores de IAF, maiores valores de Eint e menores valores para intRFA no estrato inferior do dossel vegetativo. O aumento do IAF pode proporcionar incremento na Eint, no entanto, essa interceptação se dá principalmente no estrato superior do dossel vegetativo, aumentando o autossombreamento do estrato inferior (PENGELLY; BLAMEY; MUCHOW, 1999).

Um ajuste no IAF das cultivares é necessário, para que elas tenham capacidade de interceptar 90% ou mais da radiação solar incidente, não obstante, com menor limitação na passagem de fótons de radiação solar para o estrato inferior. Nesse estudo, o IAF próximo ao intervalo de 4 a 5 mostrou ser o mais adequado para todas as cultivares, sendo este alcançado no estágio fenológico de R4. Para interceptar 95% da radiação solar, estudo mostrou que o IAF da soja teria que ser de 3,9 (SCHÖFFEL; VOLPE, 2001). Entretanto, isso não deve ser generalizado, pois varia conforme cultivares, manejo da cultura, estágios fenológicos e principalmente características foliares das plantas.

No sistema produtivo quando fatores que interferem na produtividade de grãos são controlados (doenças, pragas, disponibilidade de água, etc.), a intRFA acaba sendo o fator mais impactante na produtividade de grãos. O enriquecimento de luz iniciado na fase inicial da floração aumentou o rendimento de sementes entre 144 e 252%, enquanto o enriquecimento de luz começando no início da formação de legumes resultou em um aumento entre 32 e 115% na produção de grãos (MATHEW et al., 2000). Isto evidencia que a luz interceptada durante e após o início da formação das sementes é um fator determinante no rendimento de grãos.

A cultivar BMX Potência RR foi a cultivar de maior duração de ciclo (121 dias), conseqüentemente a cultivar que acumulou mais RFA, todavia, foi a cultivar que obteve menor EUR. Possivelmente isso é decorrente da menor Eint entre as cultivares avaliadas, ocasionada pela densidade populacional inferior as demais cultivares. As cultivares NA 5909 RG e 95R51 apresentaram valores muito próximos de EUR, mas a cultivar 95R51 apresentou o menor ciclo (102 dias), somando menor RFA acumulada. O desempenho da cultivar 95R51 no uso da radiação solar pode ser devido a densidade de semeadura, que por ser mais elevada proporcionou maior Eint no início do desenvolvimento da cultura.

A cultivar 95R51 que teve maior intRFA no estrato inferior nos estádios reprodutivos obteve maior frutificação efetiva no estrato inferior, e conseqüentemente, melhor desempenho produtivo. Observa-se que no início dos estádios reprodutivos os números de estruturas reprodutivas não correspondem com o número encontrado na maturação fisiológica. Apesar da soja apresentar um elevado potencial de rendimento de grãos, parte deste potencial é perdido em função do abortamento e da abscisão de estruturas reprodutivas, em função da interação com o ambiente e da competição entre os órgãos por assimilados durante o ciclo de desenvolvimento (NAVARRO JUNIOR; COSTA, 2002). As fases pós-floração são consideradas críticas para a determinação da produção de grãos, assim, a disponibilidade de fotoassimilados nesse período afeta a produtividade da cultura (BRUIN; PEDERSEN, 2009). Além disso, outros fatores estão envolvidos no controle da abscisão de estruturas reprodutivas na cultura da soja como,

nutrientes e concentração endógena de alguns hormônios vegetais, principalmente ácido abscísico e citocinina (LIU et al., 2004).

As cultivares NA 5909 RG e BMX Potência RR, apresentaram plantas maiores, conseqüentemente pode-se observar que o número de nós por terço é maior comparado com as demais cultivares. Porém, a superioridade no número de nós, não garantiu que fossem mais produtivas. Assim, o rendimento encontrado no terço inferior das plantas é justificado quando considerado a relação entre os NNI e NNP do terço.

A cultivar NA 5909 RG obteve alto rendimento no terço superior e não diferiu estaticamente na produção de grãos no terço médio, mas a produtividade total é inferior as cultivares BMX Ativa e 95R51 porque produz pouco no terço inferior. Esse baixo rendimento é decorrente da baixa interceptação de luz no estrato inferior aliado ao elevado abortamento nesse terço. Portanto, interceptação de luz no estrato inferior proporciona melhor relação fonte e dreno das estruturas dessa região, resultando em alta produtividade (LIU et al., 2010).

A intrRFA no estrato superior das plantas não apresentou correlação com a produtividade de grãos, uma vez que essa interceptação foi elevada para todas as cultivares, mesmo havendo diferença entre elas na intrRFA. No estrato inferior a intrRFA foi baixa para todas as cultivares, assim cultivares que obtiveram maiores intrRFA (95R51 e BMX Ativa RR) refletiram em melhor desempenho na frutificação efetiva e relação de NNI e NNP. O rendimento da soja é dependente da intrRFA e que parte dessa radiação solar seja interceptada no estrato inferior das plantas como demonstra a correlação. Isso possibilita maior produção de fotoassimilados, contribuindo para a produção de grãos, através da maior frutificação efetiva no terço inferior. Dessa forma, não pode-se idealizar um tipo de planta que possibilita em qualquer ambiente altos índices de produtividade, mas podemos definir padrões de plantas que em determinado ambiente seu potencial produtivo não seja prejudicado pela baixa intrRFA no interior do dossel vegetativo.

4.6 Conclusões

Plantas de cultivares de soja mais eficientes em interceptar radiação fotossinteticamente ativa no interior do dossel vegetativo apresentam maior produtividade de grãos pela maior frutificação efetiva no terço inferior.

5 CAPÍTULO III

Heliotropismo e deposição de gotas de produtos fitossanitários nos terços das plantas de soja

5.1 Resumo

Para aumentar as taxas fotossintéticas através da maior interceptação de luz ou evitar danos pelo excesso de sol, as plantas de soja possuem movimentos reversíveis dos folíolos durante o dia, chamado heliotropismo. O conhecimento de alterações nos ângulos foliares por meio do heliotropismo, pode ser uma alternativa para facilitar a penetração de gotas nos terços inferiores das plantas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar se os movimentos heliotrópicos favorecem a penetração de produto fitossanitário nos terços inferiores das plantas. O delineamento foi de blocos casualizados com cinco repetições e quatro cultivares. Os movimentos heliotrópicos foram avaliados nos estádios V6 e R4. As pulverizações foram efetuadas às 8h, 11h, 14h e 17h no estádio R4. Os movimentos diaheliotrópicos foram mais presentes no estádio vegetativo da cultura, quando comparado com o reprodutivo. Plantas no estádio reprodutivo mostraram se expor menos aos possíveis estresses causados pelo sol, mesmo em condições sem estresse hídrico. Próximos ao meio dia houve uma maior deposição de gotas nos terços inferiores, evidenciando que o paraheliotropismo beneficia a penetração de gotas no interior do dossel vegetativo.

Palavras-chave: 1. *Glycine max* (L.) Merrill. 2. Diaheliotropismo. 3. Paraheliotropismo. 4. Proteção fitossanitária.

5.2 Introdução

As folhas das plantas de soja apresentam distinta inclinação, azimute, distribuição espacial e orientação dos folíolos (ZHENG et al., 2008). A capacidade de alterar o ângulo dos folíolos durante o dia visa ajustar a radiação solar interceptada (TEIXEIRA; STONE; HEINEMANN, 2015). Este movimento induzido pela luz azul (400-500 nm), é denominado heliotropismo (KOLLER, 1986). O mesmo é dividido em

dois movimentos dos folíolos, o diaheliotropismo e o paraheliotropismo (DARWIN, 1880).

No diaheliotropismo, a lâmina foliar permanece perpendicular aos raios solares, maximizando a interceptação da luz com o ganho de carbono (FORSETH; EHLERINGER, 1983). O paraheliotropismo consiste nas lâminas dos folíolos permanecerem paralelas à luz solar direta, reduzindo os efeitos do estresse hídrico, temperatura alta da folha e fotoinibição (LEE et al., 2014). Os genótipos de plantas respondem diferentemente ao heliotropismo, além disso, essas respostas diferem durante o ciclo de cultivo e quando sob condições de estresse (RAKOCEVIC et al., 2010).

A tecnologia de aplicação encontra dificuldades em vencer a barreira que as folhas superiores exercem sobre as demais, impedindo que o produto fitossanitário entre em contato com as folhas do terço inferior da planta. Isso é um fator agravante, pois normalmente as doenças começam o seu desenvolvimento no terço inferior do dossel vegetativo (TIVOLI et al., 2012). A ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), considerada uma doença de grandes danos à cultura, inicia-se nas folhas da parte inferior e se multiplicam até atingir o topo da planta (OZKAN et al., 2006). A baixa eficiência das aplicações fitossanitárias causa prejuízos para os produtores e meio ambiente, uma vez que aumenta o número de aplicações e há perdas na produtividade.

Meios que favorecem a penetração de gotas de pulverização no interior do dossel vegetativo são estudados, como por exemplo diferentes espaçamentos de semeadura (MADALOSSO et al., 2010; ROESE; MELO; GOULART, 2012), arquitetura das plantas (DEBORTOLI et al., 2012) e volume de calda (CUNHA; PERES, 2010). Dessa forma, os movimentos heliotrópicos também podem ser alternativas para facilitar a penetração de produtos fitossanitários nos estratos inferiores do dossel vegetativo, diminuindo a barreira causada pelas folhas superiores do dossel. O objetivo deste trabalho foi avaliar se os movimentos heliotrópicos favorecem a penetração de produtos fitossanitários no terço médio e inferior das plantas.

5.3 Material e Métodos

5.3.1 Sujeito de estudo

Foram utilizadas quatro cultivares de soja com características arquitetônicas distintas entre si. As sementes apresentavam germinação acima de 90% e vigor superior a 85%. Para cada cultivar foi seguido a recomendação da empresa obtentora para o número de plantas/ha e época de semeadura. O experimento foi semeado no dia 01/12/2015.

5.3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos pelas cultivares BMX Ativa RR, BMX Potência RR, NA 5909 RG e 95R51, sendo que a cultivar BMX Ativa RR é de hábito de crescimento determinado, enquanto que as demais são indeterminadas.

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados com cinco repetições, totalizando vinte unidades experimentais. As parcelas foram semeadas com dez metros de comprimento e sete linhas de semeadura com espaçamento de 0,45 metros entre si. As linhas laterais e 0,5 metros em cada extremidade das parcelas foram desconsideradas.

5.3.3 Procedimentos

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade de Passo Fundo, RS - Brasil. As linhas de semeadura foram dispostas seguindo a orientação norte/sul. A altitude do local é de 667 m e o clima é do tipo fundamental úmido e variedade subtropical, conforme classificação de Köpen. As coordenadas geográficas são S 28° 12' e O 52° 23'. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico húmico (STRECK et al., 2008). O experimento foi implantado no sistema plantio direto, sobre restos culturais de trigo. Na semeadura foi realizada a adubação de 6 kg/ha de N, 60 kg/ha

de P₂O₅ e 60 kg/ha de K₂O. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, tratadas com inseticidas e fungicidas de acordo com as recomendações para a cultura (REUNIÃO..., 2016, p. 33).

As densidades consistiram em 15,75 plantas/m para BMX Ativa RR, 15,30 plantas/m para NA 5909 RG, 17,10 plantas/m para 95R51 e 12,60 plantas/m para BMX Potência RR. Os manejos fitossanitários foram preventivos para que não houvesse interferência no desenvolvimento e afetassem as características arquitetônicas das cultivares.

As avaliações foram realizadas nos estádios de desenvolvimento: V6 e R4, que correspondem a quinta folha trifoliolada completamente expandida e legume completamente desenvolvido, respectivamente (FEHR; CAVINESS, 1977).

5.3.4 Movimentos heliotrópicos

Foram avaliadas 10 plantas por cultivar nos estádios V6 e R4, sendo seguidas as mesmas plantas nas duas avaliações. Fotografias digitais foram feitas na posição horizontal e vertical das plantas a cada hora do dia, para medir a elevação e azimute dos folíolos. Essas fotografias tinham como objetivo retratar o máximo de folhas completamente expandidas do topo da planta. A posição do folíolo foi definida pelo ângulo de incidência cosseno ($\cos i$), que é ângulo entre um feixe de sol em relação a lâmina foliar, expressa a proporção incidente do feixe de luz sobre o folíolo. Assim, $\cos i$ igual a 1 descreve um folíolo com a superfície adaxial perpendicular ao feixe de luz (diaheliotropismo) e $\cos i$ com valor de 0 representa que a superfície adaxial do folíolo está paralela ao feixe de luz (paraheliotropismo), enquanto valor de 0,5 é o ponto de divisão entre o diaheliotropismo e paraheliotropismo. O $\cos i$ foi calculado de acordo com:

$$\cos i = \cos \beta \cdot \cos z + \sin \beta \cdot \sin z \cdot \cos (\alpha - \alpha_1) \quad \text{(Equação 1)}$$

onde, β = ângulo folíolo a partir do plano horizontal, z = ângulo zênite solar, a_s = ângulo azimute solar e a_l = azimute do folíolo (PRICHARD; FORSETH, 1988).

Para estimar os ângulos dos folíolos as fotografias tiradas de cima da planta foram usadas para estimar a_l , e as fotografias tiradas horizontalmente para estimar o β , de acordo com a metodologia desenvolvida por Rakocevic et al. (2010). Foram sempre considerados os folíolos superiores que estavam completamente expandidos, o número de folíolos que eram possíveis determinar pelas fotografias, diferenciando folíolos centrais de laterais. As fotografias foram feitas das 6h às 20h no estádio V6 e das 7h às 20hs no estádio R4, horários esses em que havia luz solar. Os valores assumidos para a_l são: Sul 0° , leste -90° , oeste $+90^\circ$, e norte é -180° ou $+180^\circ$ (EHLERINGER; HAMMOND, 1987). Através das imagens digitais foram determinados os ângulos dos folíolos, utilizando o software livre GIMP 2.8 (GIMP, 2016) (Figura 1). Para definir os ângulos do sol, foi utilizado o software VegeSTAR, criando uma sequência dos ângulos do sol a cada minuto durante os dias de avaliação para as coordenadas do local de cultivo.

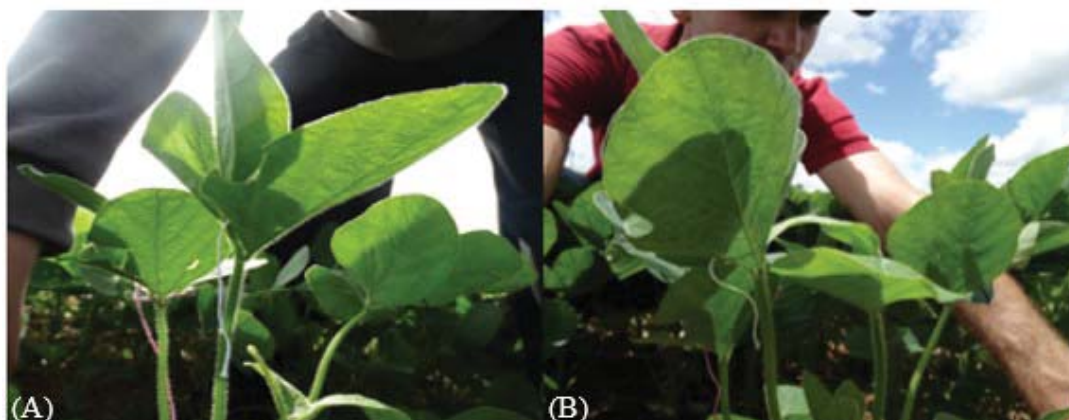


Figura 1 - Imagens de plantas de soja para determinação dos ângulos foliares. Posição dos folíolos às 8h, maximizando a interceptação de radiação solar (A), posição dos folíolos às 13h, evitando a interceptação direta dos raios solares (B).

Na primeira avaliação de heliotropismo a temperatura máxima encontrada foi de $28,5^\circ\text{C}$ e para a segunda avaliação a temperatura máxima registrada foi de $29,8^\circ\text{C}$. Dias antes das avaliações ocorreram precipitações pluviais (Figura 2).

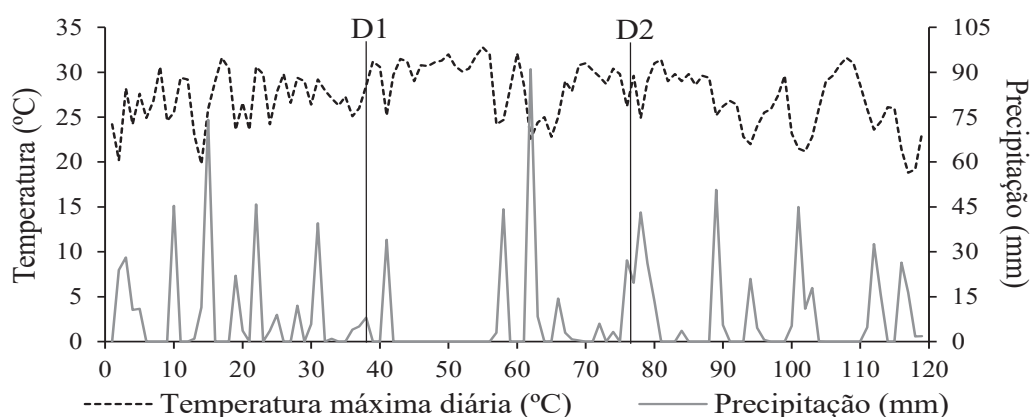


Figura 2 - Dados de precipitação pluvial e temperatura máxima durante o ciclo da cultura. Data da primeira leitura de heliotropismo (D1), data da segunda leitura de heliotropismo (D2).
Fonte: Embrapa Trigo (2016).

5.3.5 Deposição de gotas de produtos fitossanitários

Foi avaliada a deposição de gotas por terços da cultura da soja, no estádio R4, três dias após a avaliação dos movimentos heliotrópico. Utilizou-se pulverizador terrestre com volume de aplicação de 150 L/ha e ponta jato plano defletor (TT 11002) com pressão de trabalho de 450 kPa. A altura da barra de pulverização em relação à cultura da soja foi de 0,5 m e a distância entre bicos de 0,4 m. A velocidade de deslocamento foi de aproximadamente 8 km/h. As aplicações foram feitas apenas com água e em quatro horários do dia, às 8h, 11h, 14h e 17h. As condições ambientais no momento das aplicações foram monitoradas e descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições ambientais nos horários das pulverizações. Passo Fundo, 2016

Horário	Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Velocidade do vento (km/h)
8h	19,5	94,1	6,48
11h	21,5	92,6	8,81
14h	24,2	83,4	7,47
17h	26,8	76,5	6,96

Informações coletadas no momento e local das pulverizações.

Para a disposição dos cartões hidrossensíveis no interior do dossel foi utilizada

uma haste metálica, posicionada perpendicularmente à linha da cultura. A haste apresentava três suportes onde os cartões foram fixados. A posição de cada cartão nos terços foi ajustada à estatura de cada cultivar e modificado de acordo com o ângulo que os folíolos apresentavam. Sempre havia o cuidado para não modificar a angulação que os folíolos apresentavam no momento das pulverizações, dispondo as hastes metálicas a 10 cm da haste principal das plantas. Logo após as pulverizações, os cartões foram coletados, identificados e armazenados em envelopes de papel. A partir da análise dos cartões, através do programa DropScope®, foi obtido a cobertura e a penetração das gotas de pulverização com base na área de cobertura (%) e densidade de gotas (n°/cm^2) em cada terço da planta.

5.3.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

5.4 Resultados

5.4.1 Movimentos heliotrópicos

A cultivar BMX Ativa RR apresentou movimentos diaheliotrópicos às 8h, 12h, 15h, 16h e 19h para o folíolo central (Figura 3). Enquanto o folíolo lateral às 13h apresentou movimento diaheliotrópico e nas demais horas do dia estava com a lâmina foliar protegida dos raios solares. O folíolo central da cultivar NA 5909 RG apresentou três picos de diaheliotropismo durante o dia, às 13h, 15h e 19h, nos demais horários apresentavam-se na posição de paraheliotropismo. O folíolo lateral da cultivar NA 5909 RG apresentou um pico prolongado de diaheliotropismo, das 12h às 14h e nas demais horas do dia apresentou paraheliotropismo.

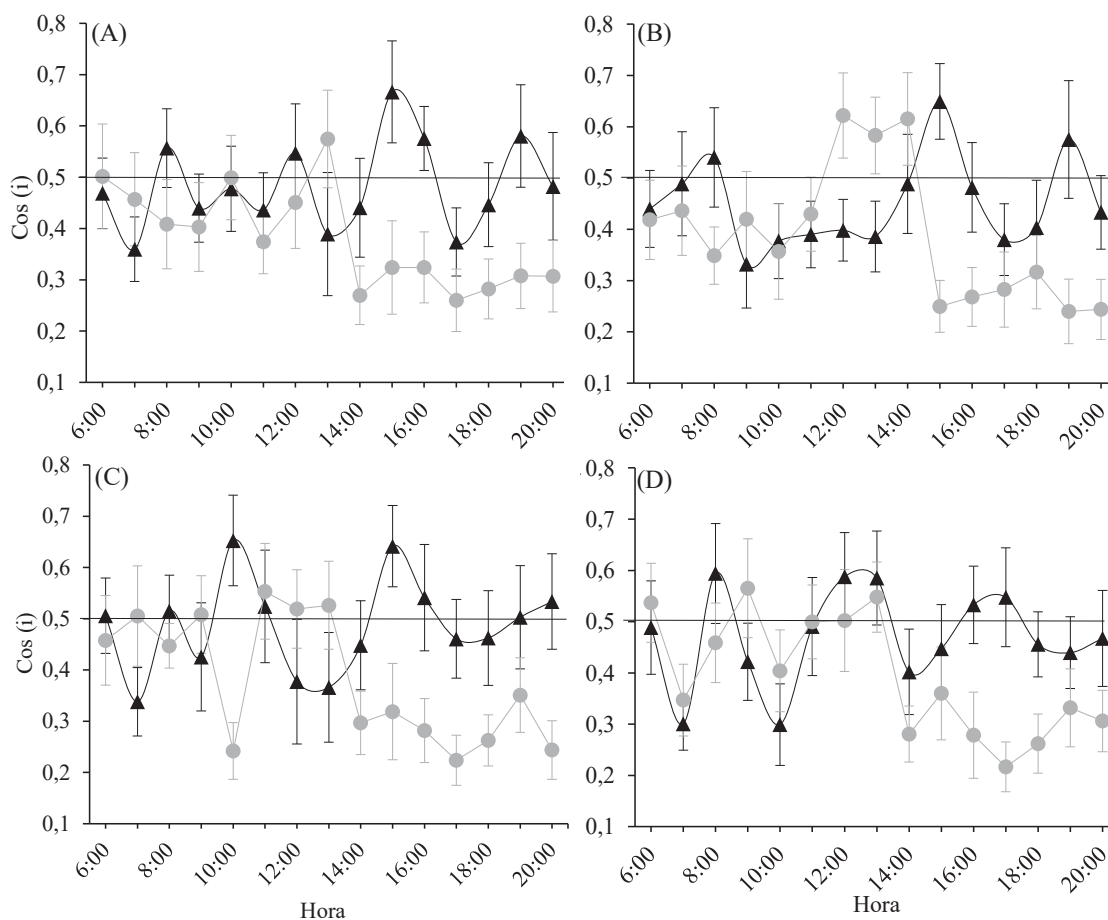


Figura 3 - Movimentos heliotrópicos do folíolo central e lateral para diferentes cultivares de soja no estágio fenológico V6.

Cultivares BMX Ativa RR (A), NA 5909 RG (B), 95R51 (C) e BMX Potência RR (D). Cos (i) acima de 0,5 é diaheliotropismo e abaixo de 0,5 é paraheliotropismo.

A cultivar 95R51 apresentou pequeno movimento diaheliotrópico no início da manhã (8h), sendo esse mais intenso às 10h, 15h e 16h, voltando a interceptar diretamente os raios solares na lâmina foliar das 19h às 20h (Figura 3). Assim como as cultivares NA 5909 RG e 95R51 também apresentaram um pico mais duradouro de diaheliotropismo para o folíolo lateral, inclusive nas mesmas horas do dia, porém com intensidade menor. A cultivar BMX Potência RR, foi a cultivar que apresentou maior número de picos de diaheliotropismo para o folíolo lateral, com duração menor que as cultivares 95R51 e NA 5909 RG. Ainda, a cultivar apresentou maximização na interceptação de radiação solar nas lâminas foliares dos folíolos centrais às 8h, 12h, 13h, 16h e 17h. Para todas as cultivares os picos para maximizar a interceptação direta de luz dos folíolos laterais se

deram até no máximo às 14h, após, pode-se observar que houve um intenso paraheliotropismo até o momento do sol se pôr, ao contrário dos folíolos centrais.

Diferentemente da avaliação no estágio fenológico vegetativo, no estágio reprodutivo as plantas demonstraram evitar raios solares diretamente sobre as lâminas foliares, tanto para folíolos centrais como laterais (Figura 4). A frequência e intensidade dos picos de diaheliotropismo são inferiores no estágio reprodutivo.

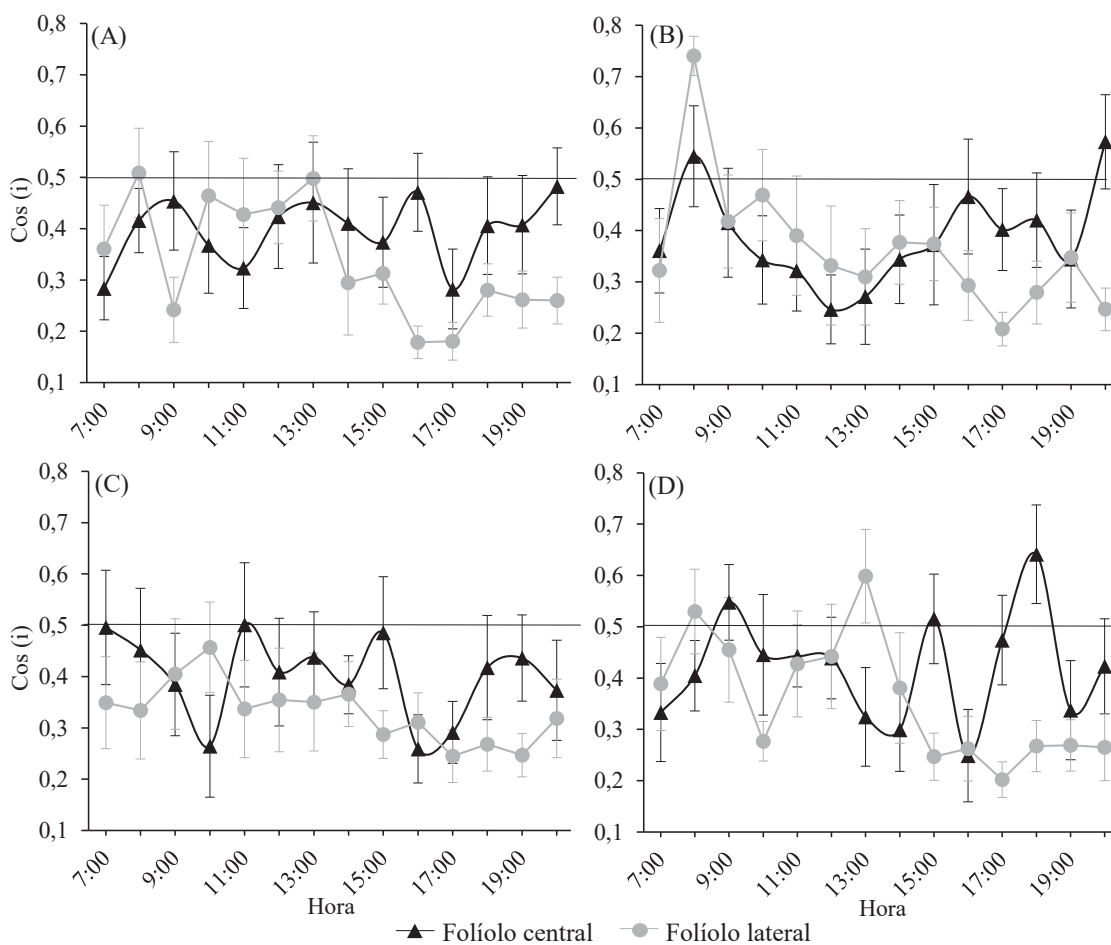


Figura 4 - Movimentos heliotrópicos do folíolo central e lateral para diferentes cultivares de soja no estágio fenológico R4. BMX Ativa RR (A), NA 5909 RG (B), 95R51 (C) e BMX Potência RR (D). Cos (i) acima de 0,5 é diaheliotropismo e abaixo de 0,5 é paraheliotropismo.

A cultivar BMX Ativa RR apresentou fraco diaheliotropismo às 8h para o folíolo lateral, enquanto no decorrer do dia foi encontrado apenas o movimento paraheliotrópico para todos os folíolos (Figura 4). A cultivar NA 5909 RG maximizou a interceptação de radiação solar nas lâminas dos folíolos centrais e laterais as 8h da manhã e as 20h apenas para o folíolo central. A cultivar 95R51 apresentou para os folíolos centrais diaheliotropismo às 8h e laterais às 17h, para os demais horários do dia apresentou paraheliotropismo. A cultivar BMX Potência RR, foi a cultivar que mais apresentou movimentos para maximizar a interceptação direta de luz. Apresentou movimentos diaheliotrópicos às 9h, 15h e 18h para o folíolo central, enquanto os folíolos laterais foram às 8h e 13h.

5.4.2 Deposição de gotas

Ao analisar as cultivares e horários, pode-se observar que todas as cultivares apresentaram maior percentual de cobertura no terço médio das plantas no horário das 14h (Tabela 2). O horário de menor cobertura foi no início da manhã (8h). Para o horário das 8h, 14h e 17h, a cultivar 95R51 obteve maior cobertura no terço médio, enquanto para o horário das 11h a cultivar BMX Ativa RR obteve maior desempenho. A cultivar que teve menor cobertura foi a NA 5909 RG para todos os horários testados.

Tabela 2 - Área de cobertura (%) no terço médio das plantas entre cultivares e horários de aplicações. Passo Fundo, 2016

Cultivares	Hora			
	8h	11h	14h	17h
BMX Ativa RR	ab 2,37 BC	a 4,05 A	b 3,93 A	b 3,13 B
NA 5909 RG	cd 1,52 C	cd 2,12 AB	cd 2,89 A	d 1,17 C
95R51	a 3,02 C	ab 3,86 B	a 6,01 A	a 3,96 B
BMX Potência RR	c 1,29 CD	c 2,38 B	bc 3,45 A	c 2,02 BC

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna (entre cultivares) e letra maiúscula na linha (entre horas), não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. (C.V.(%): 11,86).

Para o percentual de cobertura e densidade de gotas perante as cultivares nos terços das plantas, pode-se denotar a superioridade da cultivar 95R51 (Tabela 3). Para a

área de cobertura e número de gotas, nos terços inferior e médio a cultivar 95R51 apresentou as maiores médias, seguida pela cultivar BMX Ativa RR.

Tabela 3 - Percentual de área de cobertura e número de gotas para diferentes cultivares nos terços inferior, médio e superior das plantas. Passo Fundo, 2016

Cultivares	Área de cobertura (%)			Densidade de gotas (nº/cm ²)		
	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior
BMX Ativa RR	1,37 b	3,37 b	24,49 ns	10,67 b	38,65 b	279,87 ns
NA 5909 RG	0,91 c	1,83 d	24,24	7,84 c	21,64 d	284,86
95R51	1,76 a	4,21 a	24,35	13,41 a	48,92 a	279,82
BMX Potência RR	1,04 c	2,28 c	23,91	8,72 c	28,65 c	291,81
C.V. (%)	17,47	11,86	7,84	18,26	16,58	7,83

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Para os diferentes horários de aplicação fitossanitária, às 14h obteve-se maiores médias para percentuais de cobertura e número de gotas, no terço inferior e médio do dossel vegetativo (Tabela 4). Ao contrário para o terço superior, o número de gotas foi superior às 8h e 17h e inferior às 14h. Dessa forma, os horários próximos ao meio dia demonstraram ser mais eficientes em chegar produto no interior do dossel vegetativo, enquanto que no início e final do dia, o produto aplicado tende a ficar no terço superior do dossel vegetativo.

Tabela 4 - Percentual de cobertura e número de gotas para diferentes horários de aplicação, no terço inferior, médio e superior. Passo Fundo, 2016

Horário	Área de cobertura (%)			Densidade de gotas (nº/cm ²)		
	Inferior	Médio	Superior	Inferior	Médio	Superior
8	0,88 b	1,95 d	25,14 ns	5,70 c	25,36 c	326,43 a
11	1,52 a	3,10 b	23,76	13,09 b	38,41 b	271,65 b
14	1,68 a	4,07 a	23,66	15,66 a	44,78 a	224,42 c
17	1,01 b	2,57 c	24,41	6,02 c	28,89 c	313,86 a
C.V. (%)	17,47	11,86	7,84	18,26	16,58	7,83

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

5.5 Discussão

O diaheliotropismo dos folíolos laterais e centrais, foram mais intensos no estágio vegetativo (V6) comparado com o estágio reprodutivo (R4). Isso indica que nos estádios reprodutivos a soja protege-se mais da perda de água, bem como de outros estresses causados pela interceptação direta de luz solar. Posições diaheliotrópicas foram drasticamente reduzidas no estágio reprodutivo (R5) comparado com os estádios vegetativos (V7-V10), indicando que em estágios finais de desenvolvimento, a soja tende a posicionar seus folíolos paralelos aos raios solares diretos (RAKOCEVIC et al., 2010).

O movimento paraheliotrópico tem sido associado com a baixa disponibilidade hídrica do solo (EHLERINGER; FORSETH, 1980). Porém, pode ser observado nos horários de maior demanda evaporativa em plantas submetidas a uma condição hídrica favorável (CALDAS et al., 1997), fato que foi possível observar em ambas as avaliações, principalmente no estágio reprodutivo. As plantas não se encontravam em condições de déficit hídrico, como mostra a Figura 2. Em ambas as avaliações a temperatura máxima foi semelhante, 28,5 °C para a primeira e 29,8 °C para a segunda avaliação, confirmando que as condições ambientais não são a justificativa para a diferença nos movimentos. Assim sendo, a diferença é devida aos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da soja.

A eficiência da tecnologia de aplicação para o controle de doenças é determinada pelo número e o tamanho de gotas/cm² que chegam ao alvo biológico. Para as quatro cultivares estudadas, a baixa deposição de gotas e consequentemente baixa cobertura dos tecidos no terço médio e inferior foi observada. O número de gotas/cm² no terço inferior em comparação com o terço superior foi de 3,81, 2,75, 4,79 e 2,98% para as cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente.

Com a restrição de penetração e conseqüentemente baixa cobertura dos tecidos vegetais, o ingrediente ativo não atinge o alvo em quantidades adequadas, comprometendo o residual de controle, logo, se faz necessário nova aplicação, encurtando o intervalo entre as aplicações. No momento da pulverização as cultivares apresentavam índice de área foliar de 4,15, 4,75, 3,72 e 4,66 para as cultivares BMX Ativa RR, NA 5909 RG, 95R51 e BMX Potência RR, respectivamente (dados não apresentados). Wolf e Daggupati (2009), obtiveram cobertura no terço inferior que não ultrapassou 10% do tecido, sugerindo que a densidade de folhas é o fator que mais influencia a penetração das gotas.

A aplicação de produtos fitossanitários em determinados horários do dia pode ser uma alternativa para tornar esta prática mais eficiente, ao possibilitar a deposição de maiores quantidades de ingrediente ativo na parte inferior do dossel vegetativo. Nos horários das 11h e 14h, houve maior penetração de gotas e percentual de cobertura nos terços inferiores. Enquanto que no início da manhã e final da tarde, houve maior deposição de gotas no terço superior. Isso ocorre, pois próximo ao meio dia os folíolos de todas as cultivares estavam em posição de paraheliotropismo, facilitando a entrada de gotas no interior do dossel vegetativo. Porém ao se observar o horário das 17h, quando o sol se aproxima do horizonte, os folíolos também estavam em posição paraheliotrópico, e mesmo assim a deposição das gotas se deu preferencialmente no terço superior. Isso demonstra que o paraheliotropismo próximo aos horários de meio dia, beneficiam penetração de gotas no interior do dossel vegetativo.

Deve-se considerar que os movimentos heliotrópicos são definidos a partir do ângulo dos folíolos em comparação a posição do sol e não com o ângulo do solo. Dessa forma, o diaheliotropismo durante todo o dia irá apresentar ângulos menores dos folíolos em relação ao solo, bem como paraheliotropismo no início da manhã e final da tarde. Todavia, a posição paraheliotrópica próxima aos horários de meio dia, são caracterizados por folíolos perpendiculares ao solo, apresentando ângulos próximos a 90° em relação ao solo.

Fatores climáticos como temperatura, umidade relativa e velocidade do vento devem ser monitorados para evitar a evaporação e a deriva das gotas. As condições ambientais nos momentos das pulverizações estavam próximas as condições consideradas ideais. Conforme Andef (2004, p. 14), a condição mais segura para as aplicações ocorre quando a velocidade do vento está na faixa de 3,2 a 6,5 km/h, temperatura do ar não ultrapassa 30 °C e a umidade relativa do ar acima de 60%. Deste modo, sugere-se quando possível conciliar a angulação das folhas com a condições ambientais favoráveis no momento da pulverização, o que pode melhorar o controle de doenças através da maior deposição de ingrediente ativo no interior do dossel vegetativo.

5.6 Conclusões

Movimentos paraheliotrópicos no final da manhã e início da tarde, permitem maior deposição de produto fitossanitário no terço médio e inferior das plantas, em condições ambientais favoráveis para pulverização.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultivar 95R51 obteve melhor resultado para interceptação de radiação solar e deposição de gotas de produtos fitossanitários no terço inferior, seguida da cultivar BMX Ativa RR. Como resultado disso, essas cultivares apresentaram maior produtividade de grãos, evidenciando que as características arquitetônicas podem melhorar aspectos que estão diretamente ligados a produtividade. É importante considerar que a planta num todo pode e deve ser produtiva, algumas cultivares, como por exemplo NA 5909 RG produz pouco no terço inferior.

As cultivares BMX Potência RR e NA 5909 RG apresentaram arquitetura de plantas que aumentaram a restrição à deposição de gotas de produtos fitossanitários no terço inferior do dossel vegetativo. Isso reflete em maior número de aplicações durante o ciclo, maiores custos de produção e risco de contaminação ambiental e pessoal. Por mais que o número de gotas encontrado no interior do dossel vegetativo não atingiu o considerado ideal pela literatura, podemos observar que plantas com menor área foliar, estatura e ramificações, apresentaram maior deposição de gotas no terço inferior. Ainda, deve ser destacado que os movimentos paraheliotrópicos próximo ao meio dia, proporcionaram melhora nessa deposição.

Dessa forma, programas de melhoramento devem considerar aspectos ligados a arquitetura das plantas, para melhorar o sistema produtivo. Os resultados encontrados nesse trabalho, demonstram que se pode melhorar a produção da soja, sem aumento nos insumos e consequentemente dos custos do produtor, apenas ajustar o balanço energético das plantas, através da melhoria da interceptação de radiação solar e deposição de produtos fitossanitários.

7 CONCLUSÃO GERAL

Plantas de menor IAF, menor número de ramificações e menor estatura, apresentam maior interceptação de radiação solar e deposição de gotas de produtos fitossanitários no interior do dossel vegetativo, também foram as cultivares de maior rendimento de grãos. O movimento paraheliotrópico próximo ao meio dia proporciona maior deposição de gotas das pulverizações de tratamentos fitossanitários no terço inferior e médio das plantas.

REFERÊNCIAS

- ADEBOYE, M. B.; SCHULTZ, B.; ADEKALU, K. O.; PRASAD, K. Water productivity and radiation use efficiency of soybeans under water conservation practices in Ile-Ife, Nigeria. **International Journal of Agricultural Policy and Research**, v. 4, n. 10, p. 202-216, 2016.
- AFIFI, M.; SWANTON, C. Maize seed and stem roots differ in response to neighbouring weeds. **Weed Research**, v. 51, n. 5, p. 442-450, 2011.
- ANDEF – Associação Nacional de defesa Vegetal. **Manual de tecnologia de aplicação**. Campinas: Línea Creativa, 2004. 50 p.
- BAHRY, C. A.; NANDINO, M.; VENSKE, E.; FIN, S. S.; ZIMMER, P. D.; SOUZA, V. Q. E.; CARON, B. O. Efeito do nitrogênio suplementar sobre os componentes de rendimento da soja em condição de estresse hídrico. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 155-160, 2014.
- BEDENDO, I. P.; AMORIM, L. Ambiente e doença. In: AMORIM, L.; RESENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A (Ed.). **Manual de fitopatologia**, Piracicaba: Agronômica Ceres, v.1, 4. ed. p. 133-147, 2011.
- BEHLING, A.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; NETTO, S. P.; RODRIGUES, A. L.; CARON, B. O.; SIMON, A. A.; Tracking leaf area index and coefficient of light extinction over the harvesting cycle of black wattle. **Journal of Forest Research**, v. 27, n. 6, p. 1211-1217, 2016.
- BIABANI, A.; HASHEMI, M.; HERBERT, S. J. Agronomic performance of two intercropped soybean cultivars. **International Journal of Plant Production**, v. 2, n. 3, p. 215-222, 2008.
- BOLLER, W.; FERREIRA, M. C.; COSTA, D. I. da. Condições do ar e angulação das folhas influenciam a qualidade das pulverizações na cultura da soja? **Revista Plantio Direto**, v. 121, p. 33-37, 2011.
- BORGES, B. M. M. N.; SILVA JÚNIOR, L. C. da; LUCAS, F. T.; SILVA, W. J. da. Relação entre o fluxo luminoso interceptado em diferentes épocas no índice de área foliar de diferentes forrageiras. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1589-1594, 2011.
- BROUWER, B.; ZIOLKOWSKA, A.; BAGARD, M.; KEECH, O.; GARDESTRÖM, P. The impact of light intensity on shade-induced leaf senescence. **Plant, Cell and Environment**, v. 35, n. 6, p. 1084-1098, 2012.

BRUIN, J. L.; PEDERSEN, P. Growth, yield, and yield component changes among old and new soybean cultivars. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 124-130, 2009.

BUNCE, J. A. Light dependence of carboxylation capacity for C3 photosynthesis models. **Photosynthetica**, v. 54, n. 3, p. 1-7, 2016.

CALDAS, L. S.; LUTTGE, U.; FRANCO, A. C.; HARIDASAN, M. Leaf heliotropism in *Pterodon pubescens*, a woody legume from the Brazilian cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 9, n. 1, p. 1-7, 1997.

CAMPOS, M. F. de; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Arquitetura de plantas de soja e a aplicação de reguladores vegetais. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 3, n. 1, p. 153-158, 2010.

CECHIN, I.; ROCHA, V. de J.; FUMIS, T. de F. Sensitivity of yellow passion fruit to ultraviolet-B radiation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 10, p. 1422-1427, 2012.

CHEN, Y.; NELSON, R. L. Evaluation and classification of leaflet shape and size in wild soybean. **Crop Science**, v. 44, n. 2, p. 671-677, 2004.

CHRISTOFOLETTI, J. C. **Pulverização ou aplicação?**. São Paulo: Teejet South America. 1999. 71 p. (Boletim Técnico BT-01/99).

CHRISTOVAM, R. de S.; RAETANO, C. G.; AGUIAR JUNIOR, H. O.; DAL-POGETTO, M. H. F. do A.; PRADO, E. P.; GIMENES, M. J.; KUNZ, V. L. Assistência de ar em barra de pulverização no controle da ferrugem asiática da soja. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 231-238, 2010.

COYNE, D. P.; STEADMAN, J. R.; ANDERSON, F. N. Effect of modified plant architecture of great Northern dry bean varieties (*Phaseolus vulgaris*) on white mold severity, and components of yield. **Plant Disease Reporter**, v. 58, n. 4, p. 379-382, 1974.

CUNHA, J. P. A. R. da; PERES, T. C. M. Influência de pontas de pulverização e adjuvante no controle químico da ferrugem asiática da soja. **Acta Scientiarum, Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 597-602, 2010.

DARWIN, C. **The power of movement in plants**. London: William Clowes and Sons, 1880. 490 p.

DEBORTOLI, M. P.; TORMEN, N. R.; BALARDIN, R. S.; FAVERA, D. D.; STEFANELLO, M. T.; PINTO, F. F.; UEBEL, J. D. Espectro de gotas de pulverização e controle da ferrugem-asiática da soja em cultivares com diferentes arquiteturas de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 920-927, 2012.

EBADI, A.; SAJED, K.; GHARIB-ESHGHI, A. Evaluation of light extinction coefficient, radiation use efficiency and grain yield of soybean genotypes. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 2, p. 222-229, 2014.

EHLERINGER, J. R.; FORSETH, I. N. Solar tracking by plants. **Science**, v. 210, p.1094-1098, 1980.

EHLERINGER, J. R.; HAMMOND, S. D. Solar tracking and photosynthesis in cotton leaves. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 39, n. 1, p. 25-35, 1987.

EMBRAPA TRIGO. **Informações meteorológicas**. 2016. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/app/principal/agromet.php>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

EVERS, J. B.; VOS, J.; ANDRIEU, B.; STRUIK, P. C. Cessation of tillering in spring wheat in relation to light interception and red:far-red ratio. **Annals of Botany**, v. 97, n. 4, p. 649-658, 2006.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 12 p. (Special Report, 80).

FIGUEIREDO, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. A.; LIMA, M. B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 11, p. 1432-1439, 2013.

FORSETH, I. N.; EHLERINGER J. R. Ecophysiology of two solar tracking desert winter annuals. IV. Effects of leaf orientation on calculated daily carbon and water use efficiency. **Oecologia**, v. 58, p. 10-18, 1983.

FOURCAUD, T.; ZHANG, X.; STOKES, A.; LAMBERS, H.; KÖRNER, C. Plant growth modelling and applications: the increasing importance of plant architecture in growth models. **Annals of Botany**, v. 101, n. 8, p. 1053-1063, 2008.

FURTADO, G. Q.; ALVES, S. A. M.; CARNEIRO, L. C.; GODOY, C. V.; MASSOLA JÚNIOR, N. S. Influência do estágio fenológico e da idade dos trifólios de soja na infecção de *Phakopsora pachyrhizi*. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 2, p. 118-122, 2009.

GIMP. **GNU Image Manipulation Program**. Version 2.8. Available at: <<https://docs.gimp.org/2.8/en/>>. Accessed on: 25 October 2016.

GODIN, C. Representing and encoding plant architecture: A review. **Annals of Forest Science**, v. 57, n. 5, p. 413-438, 2000.

GODIN, C.; CARAGLIO Y. A multiscale model of plant topological structures. **Journal Theoretical Biology**, v. 191, n. 1, p. 1-46, 1998.

GODIN, C.; SINOQUET, H. Functional–structural plant modelling. **New Phytologist**, v. 166, n. 3, p. 705-708, 2005.

HIROSE, T. Development of the Monsi-Saeki theory on canopy structure and function. **Annals of Botany**, v. 95, n. 3, p. 483-494, 2005.

JULIATTI, F. C.; SAGATA, E.; JACCOUD FILHO, D. de S.; JULIATTI, B. C. M. Métodos de inoculação e avaliação da resistência de genótipos de soja à *Sclerotinia sclerotiorum*. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 958-968, 2014.

KADUR, G.; SWAPAN, B.; SUNITA, K.; SANJEEV, Y.; ARJUN, T.; SANJAY, B.; ABHINAV, R.; MOHANTY, P. Growth enhancement of soybean (*Glycine max*) upon exclusion of UV-B and UV-B/A components of solar radiation: Characterization of photosynthetic parameters in leaves. **Photosynthesis Research**, v. 94, n. 2-3, p. 299-306, 2007.

KASCHUK, G.; KUYPER, T. W.; LEFFELAAR, P. A.; HUNGRIA, M.; GILLER, K. E. Are the rates of photosynthesis stimulated by the carbon sink strength of rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbioses? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 6, p. 1233-1244, 2009.

KOESTER, R. P.; NOHL, B. M.; DIERS, B. W.; AINSWORTH, E. A. Has photosynthetic capacity increased with 80 years of soybean breeding? An examination of historical soybean cultivars. **Plant, Cell & Environment**, v. 39, n. 5, p. 1058-1067, 2016.

KOLLER, D. Yearly Review: the control of leaf orientation by light. **Photochemistry and Photobiology**, v. 44, n. 6, p. 819-826, 1986.

KUMUDINI, S.; GODOY, C. V.; KENNEDY, B.; PRIOR, E.; OMIELAN, J.; BOERMA, H. R.; HERSHMAN, D. Role of host-plant resistance and disease development stage on leaf photosynthetic competence of soybean rust infected leaves. **Crop Science**, v. 50, n. 6, p. 2535-2542, 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.

LARSON, P.; DICKSON, R. Distribution of imported 14C in developing leaves of eastern cottonwood according to phyllotaxy. **Planta**, v. 111, n. 2, p. 95-112, 1973.

LEE, H.; GARRETT, W. M.; SULLIVAN, J.; FORSETH, I.; NATARAJAN, S. S. Proteomic analysis of the pulvinus, a heliotropic tissue, in *Glycine max*. **International Journal of Plant Biology**, n. 5, p. 8-12, 2014.

LEMOINE, R.; CAMERA, S. L.; ATANASSOVA, R.; DÉDALDÉCHAMP, F.; ALLARIO, T.; POURTAU, N.; JEAN-LOUIS BONNEMAIN, J.-L.; LALOI, M.; COUTOS-THÉVENOT, P.; MAUROUSSET, L.; FAUCHER, M.; GIROUSSE, C.; LEMONNIER, P.; PARRILLA, J.; MICKAEL DURAND, M. Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, art. 272, 2013.

LI, R.; LI, J.; LI, S.; QIN, G.; NOVÁK, O.; PENCIK, A.; LJUNG, K.; AOYAMA, T.; LIU, J.; MURPHY, A.; GU, H.; TSUGE, T.; QU, L. J. ADP1 affects plant architecture by regulating local auxin biosynthesis. **PLoS Genetics**, v. 10, n. 1, p. 1-18, 2014.

LIMA, S. F. de.; ALVAREZ, R. de C. F.; THEODORO, G. de F.; BAVARESCO, M.; SILVA, K. S. Efeito da semeadura em linhas cruzadas sobre a produtividade de grãos e a severidade da ferrugem asiática da soja. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, p. 954-962, 2012.

LIU, B.; LI, Y. S.; LIU, X. B.; WANG, C.; JIN, J.; HERBERT, S. J. Lower total soluble sugars in vegetative parts of soybean plants are responsible for reduced pod number under shading conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 13, p. 1852-1857, 2011.

LIU, B.; LIU, X. B.; WANG, C.; LI, Y. S.; JIN, J.; HERBERT, S. J. Soybean yield and yield component distribution across the main axis in response to light enrichment and shading under different densities. **Plant Soil Environment**, v. 56, n. 8, p. 384-392, 2010.

LIU, X. B.; HERBERT, S. J.; JIN, J.; ZHANG, Q. Y.; WANG, G. H. Responses of photosynthetic rates and yield/quality of main crops to irrigation and manure application in the black soil area of Northeast China. **Plant and Soil**, v. 261, n. 1, p. 55-60, 2004.

MADALOSSO, M. G.; DOMINGUES, L. S.; DEBORTOLI, M. P.; LENZ, G.; BALARDIN, R. S. Cultivares, espaçamento entrelinhas e programas de aplicação de fungicidas no controle de *Phakopsora pachyrhizi* Sidow em soja. **Ciência Rural**, v. 40, n. 11, p. 2256-2261, 2010.

MARTINS, J. D.; RADONS, S. Z.; STRECK, N. A.; KNIES, A. E.; CARLESSO, R. Plastocrono e número final de nós de cultivares de soja em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 954-959, 2011.

MATHEW, J. P.; HERBERT, S. J.; ZHANG, S. H.; RAUTENKRANZ, F. A. A.; LITCHFIELD, G. V. Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 1156-1161, 2000.

MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; ALMEIDA NETO, A. I.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre características agrônômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2010.

MEOTTI, G. V.; BENIN, G.; SILVA, R. R.; BECHE, E.; MUNARO, L. B. Épocas de semeadura e desempenho agrônomo de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 14-21, 2012.

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F. dos.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, A. de L.; BONATO, C. M.; CONRADO, T. Efeito de biorregulador na germinação e no vigor de sementes de soja. **Revista Ceres**, v. 58, n. 5, p. 651-660, 2011.

NAVARRO JÚNIOR, H. M.; COSTA, A. C. Contribuição relativa dos componentes do crescimento para produção de grãos de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 269-274, 2002.

NOBEL, P. S. **Physicochemical and Environmental Plant Physiology**. 3. ed. San Diego: Elsevier/Academic Press, 2005. 567 p.

OZKAN, H. E.; ZHU, H.; DERKSEN, R. C.; GULER, H.; KRAUSE, C. Evaluation of various spraying equipment for effective application of fungicides to control Asian soybean rust. **Aspects of Applied Biology**, v. 77, n. 1, p. 1-8, 2006.

PAGE, E. R.; TOLLENAAR, M.; LEE, E. A.; LUKENS, L.; SWANTON, C. J. Shade avoidance: An integral component of crop-weed competition. **Weed Research**, v. 50, n. 4, p. 281-288, 2010.

PARVEJ, M. R.; SLATON, N. A.; ROBERTS, T. L.; DELONG, R. E.; MASSEY, C. G.; DEMPSEY, R. J.; FRYER, M. S. Dry matter and potassium accumulation and partitioning in determinate and indeterminate soybean varieties. **AAES Research Series**, v. 616, p. 34-42, 2013.

PATRICK, J. W.; BOTHA, F. C.; BIRCH, R. G. Metabolic engineering of sugars and simple sugar derivatives in plants. **Plant Biotechnology Journal**, v. 11, n. 2, p. 142-156, 2013.

PEARCY, R. W.; RODEN, J. S.; GAMON, J. A. Sunfleck dynamics in relation to canopy structure in a soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 52, n. 3-4, p. 359-372, 1990.

PEDERSEN, P.; LAUER, J. G. Soybean growth and development in various management systems and planting dates. **Crop Science**, v. 44, n. 2, p. 508-515, 2004.

PENGELLY, B. C.; BLAMEY, F. P. C.; MUCHOW, R. C. Radiation interception and the accumulation of biomass and nitrogen by soybean and three tropical annual forage legumes. **Field Crops Research**, v. 63, n. 2, p. 99-112, 1999.

PERINI JR, L.; FONSECA JUNIOR, N. S.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2531-2544, 2012.

PETTER F. A.; ALVES, A. U.; SILVA, J. A. da.; CARDOSO, E. de A.; ALIXANDRE, T. F.; ALMEIDA, F. A. de.; PACHECO, L. P. Produtividade e qualidade de sementes de soja em função de doses e épocas de aplicação de potássio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 89-100, 2014.

PETTER, F. A.; SILVA, J. A. da.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. de. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, v. 75 n. 2, p. 173-183, 2016.

PILAU, F. G.; ANGELOCCI, L. R. Área foliar e interceptação de radiação solar pela copa de uma laranjeira. **Bragantia**, v. 74, n. 4, p. 476-482, 2015.

PILAU, F. G.; ANGELOCCI, L. R. Padrões de interceptação de radiação solar por cafeeiros em função da área foliar. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 127-136, 2016.

PRADAL, C.; BOUDON, F.; NOUGUIER, C.; CHOPARD, J.; GODIN C. PlantGL: A Python-based geometric library for 3D plant modelling at different scales. **Graphical Models**, v. 71, n.1, p. 1-21, 2009.

PRICHARD, J. M.; FORSETH, I. N. Photosynthetic responses of two heliotropic legumes from contrasting habitats. **Plant, Cell and Environment**, v. 11, n. 7, p. 591-601, 1988.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Diferenciação floral em cafeeiro arábica (*coffea arabica* l.) sob diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, v. 6, n. 3, p. 256-268, 2011.

RAKOCEVIC, M.; MÜLLER, M.; MATSUNAGA, F. T.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. Stress-induced DREB1A gene changes heliotropism and reduces water stress in soybean plants under greenhouse conditions. In: 2016 **IEEE International Conference on Functional-Structural Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications** (FSPMA 2016 Qingdao, China. 2016). New York, USA: IEEE, 2017. p. 183-188. 2017.

RAKOCEVIC, M.; NEUMAIER, N.; GOUVEIA, W. M.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L. Heliotropismo em soja para simulações de interceptação. In: **V Congresso Brasileiro de Soja Mercosoja**, Goiânia-GO. Londrina-PR: Embrapa Soja, p. 208. 2009.

RAKOCEVIC, M.; NEUMAIER, N.; OLIVEIRA, G. M. de.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. Heliotropic responses of soybean cultivars at three phenological stages

and under two water regimes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 661-670, 2010.

REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2016/2017 e 2017/2018**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2016. p. 127.

ROESE, A. D.; MELO, C. L. P.; GOULART, A. C. P. Espaçamento entre linhas e severidade da ferrugem-asiática da soja. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 4, p. 300-305, 2012.

SARLIKIOTI, V.; VISSER, P. H. B. de.; MARCELIS, L. F. M. Exploring the spatial distribution of light interception and photosynthesis of canopies by means of a functional-structural plant model. **Annals of Botany**, v. 107, n. 5, p. 875-883, 2011.

SCHÖFFEL, E. R.; VOLPE, C. A. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para a produção de fitomassa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 241-249, 2001.

SCHWARTZ, H. F.; STEADMAN, J. R.; COYNE, D. P. Influence of *Phaseolus vulgaris* blossoming characteristics and canopy structure upon reaction to *Sclerotinia sclerotiorum*. **Phytopathology**, v. 68, n. 3, p. 465-470, 1978.

SCHWERZ, F.; CARON, B. O.; ELLI, E. F.; OLIVEIRA, D. M. de.; MONTEIRO, G. C.; SOUZA, V. Q. de. Avaliação do efeito de doses e fontes de nitrogênio sobre variáveis morfológicas, interceptação de radiação e produtividade do girassol. **Revista Ceres**, v. 63, n. 3, p. 380-386, 2016.

SILVA, P. R. A.; TAVARES, L. A. F.; SOUSA, S. F. G. de.; CORREIA, T. P. da S.; RIQUETTI, N. B. Rentabilidade na semeadura cruzada da cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 293-297, 2015.

SINCLAIR, T. R.; MUCHOW, R. C. Radiation use efficiency. **Advances in Agronomy**, v. 65, p. 215-265, 1999.

SMITH, H. Phytochromes and light signal perception by plants an emerging synthesis. **Nature**, v. 407, n. 6804, p. 585-591, 2000.

SOUZA, D. S. de M.; POLIZEL, A. C.; HAMAWAKI, O. T.; BONFIM-SILVA E. M.; KOETZ, M.; HAMAWAKI, R. L. Seleção de genótipos de soja de ciclo semiprecoce/médio em Rondonópolis, MT. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1335-1346, 2014.

SOUZA, C. A.; FIGUEIREDO, B. P.; COELHO, C. M. M; CASA, R. T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.

SOUZA, P. J. O. P.; ROCHA, E. J. P.; RIBEIRO, A.; SOUZA, E. B. Radiation balance in a soybean ecosystem in the Amazon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 582-592, 2010.

SPADER, V.; DESCHAMPS, C. Grain yield of soybean cultivars using different densities and sowing dates in a high-altitude region of south Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1823-1834, 2015.

STOCKLE, C. O.; KEMANIAN, A. R. Crop radiation capture and use efficiency: a framework for crop growth analysis. In: SADRAS, V.; CALDERINI, D. (Ed.). **Crop physiology**. San Diego: Academic Press, 2009. p. 145-170.

STRECK, E. V.; KAMPF, N. DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul, 2008. 222 p.

SZARESKI, V. J.; SOUZA, V. Q. de.; CARVALHO, I. R.; NARDINO, M.; FOLLMANN, D. N.; DEMARI, G. H.; FERRARI, M.; OLIVOTO, T. Ambiente de cultivo e seus efeitos aos caracteres morfológicos e bromatológicos da soja. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, n. 2, p. 79-88, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TEIXEIRA, G. C. da S.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 9-17, 2015.

THIMIJJAN, R. W.; HEINS, R. D. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. **Hort Science**, v. 18, n. 6, p. 818-822, 1983.

TIVOLI, B.; CALONNEC, A.; RICHARD, B.; NEY, B.; ANDRIVON, D. Current knowledge on plant/canopy architectural traits that reduce the expression and development of epidemics. **European Journal of Plant Pathology**, v. 135, n. 3, p. 471-478, 2012.

TORMEN, N. R.; SILVA, F. D. L. da; DEBORTOLI, M. P.; UEBEL, J. D.; FÁVERA, D. D.; BALARDIN, R. S. Deposição de gotas no dossel e controle químico de *Phakopsora pachyrhizi* na soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 802-808, 2012.

TORRES, F. E.; DAVID, G. V.; TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; CORREA, C. G.; LUZ JÚNIOR, R. A. Desempenho agronômico e dissimilaridade genética entre genótipos de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 11-117, 2015.

VEASEY, E. A.; PIOTTO, F. A.; NASCIMENTO, W. F. do; RODRIGUES, J. F.; MEZETTE, T. F.; BORGES, A.; BIGUZZI, F. A.; SANTOS, F. R. C. dos; SOBIERAJSKI, G. da R.; RECCHIA, G. H.; MISTRO, J. C. Processos evolutivos e a origem das plantas cultivadas. **Ciência Rural**, v. 41, n. 7, p. 1218-1228, 2011.

VOS, J.; EVERS, J. B.; BUCK-SORLIN, G. H.; ANDRIEU, B.; CHELLE, M.; VISSER, P. H. B. de. Functional–structural plant modelling: a new versatile tool in crop science. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 8, p. 2101-2115, 2010.

VOS, J.; MARCELIS, L. F. M.; EVERS, J. B. Functional-structural plant modelling in crop production: adding a dimension. In: VOS, J.; MARCELIS, L. F. M.; VISSER, P. H. B. de; STRUIK, P. C.; EVERS, J. B. (Ed.). **Functional-structural plant modelling in crop production**. Dordrecht: Springer, 2007. p. 1-12.

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; SILVA, M. A. de A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 734-738, 2016.

WIECHERS, D.; KAHLEN, K.; STUTZEL, H. Evaluation of a radiosity based light model for greenhouse cucumber canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n. 10, p. 906-915, 2011.

WOLF, R. E.; DAGGUPATI, N. P. Nozzle type effect on soybean canopy penetration. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 1, p. 23-30, 2009.

YANG, F.; HUANG, S.; GAO, R.; LIU, W.; YONG, T.; WANG, X.; WU, X.; YANG, W. Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: Far-red ratio. **Field Crops Research**, v. 155, p. 245-253, 2014.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; RICHTER, G. L.; BECKER, C. C.; ROCHA, T. S. M da.; CERA, J. C.; WINCK, J. E. M.; CARDOSO, A. P.; TAGLIAPIETRA, E. L.; WEBER, P. S. Contribuição das ramificações e a evolução do índice de área foliar em cultivares modernas de soja. **Bragantia**, v. 749, n. 3, p. 279-290, 2015.

ZHANG, L.; ALLEN, L. H.; VAUGHAN, M. M.; HAUSER, B. A.; BOOTE, K. J. Solar ultraviolet radiation exclusion increases soybean internode lengths and plant height. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 184, p. 170-178, 2014.

ZHENG, B.; SHI, L.; MA, Y.; DENG, Q.; LI, B.; GUO, Y. Comparison of architecture among different cultivars of hybrid rice using a spatial light model based on 3-D digitizing. **Functional Plant Biology**, v. 35, n. 10, p. 900-910, 2008.

ZHENG, H. Y.; CHEN, H. D. A preliminary study on the resources of wild soybean in Jilin province. **Scientia Agricultura Sinica**, v. 13, p. 26-32, 1980.

ZUFFO, A. M.; ZAMBIAZZI, E. V.; GESTEIRA, G. de S.; REZENDE, P. M. de; BRUZI, A. T.; SOARES, I. O.; GWINNER, R.; BIANCHI, M. C. Agronomic performance of soybean according to stages of development and levels of defoliation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 19, p. 2089-2096, 2015.



PPGAgro

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMV