

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE – RS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:  
AGRICULTURA E AMBIENTE**

**PLASTOCRONO, EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO E  
ESTIMATIVA DE DURAÇÃO DAS FASES  
FENOLÓGICAS NA CULTURA DA SOJA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Ana Paula Rockenbach**

**Frederico Westphalen, RS, Brasil  
2015**

**PLASTOCRONO, EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO E  
ESTIMATIVA DE DURAÇÃO DAS FASES FENOLÓGICAS  
NA CULTURA DA SOJA**

**Ana Paula Rockenbach**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**

**Orientador: Prof Drº Bráulio Otomar Caron**

Frederico Westphalen, RS, Brasil

2015

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Educação Superior Norte – RS  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia:  
Agricultura e Ambiente**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**PLASTOCRONO, EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO E ESTIMATIVA DE  
DURAÇÃO DAS FASES FENOLÓGICAS NA CULTURA DA SOJA**

elaborada por  
**Ana Paula Rockenbach**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Braulio Otomar Caron, Dr<sup>o</sup>**  
(Presidente/Orientador)

---

**Paulo Cesar Sentelhas, Dr<sup>o</sup>**  
(ESALQ)

---

**Gizelli Moiano de Paula, Dr<sup>a</sup>**  
(Coorientadora/UFSM)

---

**Carine Cocco, Dr<sup>a</sup>**  
(UFSM)

**Frederico Westphalen, 19 de fevereiro de 2015.**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

Rockenbach, Ana Paula  
PLASTOCRONO, EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO E ESTIMATIVA DE  
DURAÇÃO DAS FASES FENOLÓGICAS NA CULTURA DA SOJA / Ana  
Paula Rockenbach.-2015.  
65 p.; 30cm

Orientadora: Braulio Otomar Caron  
Coorientadora: Gizelli Mioano de Paula  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, CESNORS-FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia -  
Agricultura e Ambiente, RS, 2015

1. Glycine max 2. Temperatura 3. Soma Térmica 4.  
Radiação solar 5. Modelagem Agrícola I. Caron, Braulio  
Otomar II. Paula, Gizelli Mioano de III. Título.

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Ana Paula Rockenbach. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Linha Bonita, s/n interior. CEP: 99530-000 – Chapada/RS, Brasil.

Fone (54)9666 0560 Endereço eletrônico: anapagronomia@yahoo.com.br

## **Dedicatória**

Dedico este título aos meus pais Ilse e Darcicio, que sempre me apoiaram e me deram  
condições de estudar  
Ao meu noivo Renato pelo apoio e entendimento nos momentos de ausência

## **Agradecimentos**

À Deus pela oportunidade da existência.

Aos pais Ilse e Darcicio pelo dom mais precioso: a vida. Obrigada pelo apoio, amor e compreensão. São meus exemplos de fé, honestidade, simplicidade e força de vontade. Agradeço por ensinarem a dar valor as coisas, a honrar e amar a terra e nela produzir alimentos. Por mostrarem que só temos sucesso se tivermos humildade, iniciativa e vontade de trabalhar. Da mesma forma, agradeço aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos pelo apoio de sempre e pelos momentos de alegria vividos.

Ao noivo Renato pelo amor, amizade, carinho, paciência, apoio, confiança, companheirismo e compreensão nos momentos de ausência. Por estar sempre disposto a ajudar e me acompanhar.

À Universidade Federal de Santa Maria, campus Frederico Westphalen/RS, e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente (PPGAAA) pela oportunidade de ter acesso a um curso de Pós Graduação. Também a CAPES pela bolsa de estudo.

Ao professor Braulio Otomar Caron, orientador e amigo, pela acolhida, compreensão, incentivo à pesquisa e confiança depositadas em mim, pelas orientações e ensinamentos, obrigada por me dar esta oportunidade. A professora Gizelli Moiano de Paula, co-orientadora e amiga, pelo apoio, amizade, companheirismo, ensinamentos e conselhos. E pela companhia de chimarrão e caminhada. Aos professores Denise Schmidt, Velci Queiróz de Souza e Paulo Augusto Manfron pela oportunidade e apoio durante o mestrado.

Aos professores Braulio Otomar Caron, Gizelli Moiano de Paula, Paulo Cesar Sentelhas e Denise Schmidt, e a pós-doutoranda Carine Cocco pela disponibilidade em participar da banca de defesa. Aos demais professores do PPGAAA pelas vivências, conhecimentos, contribuições e auxílios durante o curso.

Aos eternos amigos e colegas do Laboratório de Agroclimatologia Luciano Schwerz, Elder Eloy, Elvis Elli, Gean Monteiro, Marvius Pavan, Maurício Pedrassani, Julia Schneider, Thaise Engroff, Felipe Schwerz, Douglas de Oliveira, Luciano Schievenin, Cleiton Korcelski, Carolina Trentin e Thais Zanatta pela ajuda, compreensão, companheirismo e amizade verdadeira formada nestes dois anos. Pelos momentos de muito trabalho compartilhados, mas também pelos momentos de alegria e descontração, agradeço à vocês.

Aos colegas da terceira turma do PPGAAA pelos momentos alegres e pelo companheirismo. Enfim, a todas as pessoas que de uma maneira me ajudaram durante este período, colaborando para a realização de mais sonho...

*Muito Obrigada!!!*

## Epígrafe

“Seja humilde, e permanecerás íntegro.

Curva-te, e permanecerás ereto.

Esvazia-te, e permanecerás repleto.

Gasta-te, e permanecerás novo.

O sábio não se exhibe, e por isso brilha.

Ele não se faz notar, e por isso é notado.

Ele não se elogia, e por isso tem mérito.

E, porque não está competindo, ninguém no mundo pode competir com ele”.

*Lao Tse*

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### PLASTOCRONO, EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO E ESTIMATIVA DE DURAÇÃO DAS FASES FENOLÓGICAS NA CULTURA DA SOJA

Autora: Ana Paula Rockenbach  
Orientador: Braulio Otomar Caron  
Frederico Westphalen, 19 de fevereiro de 2015.

O objetivo deste estudo foi avaliar o crescimento e desenvolvimento de cultivares de soja submetidas a arranjos espaciais, associados aos elementos meteorológicos temperatura e radiação solar, e também a contribuição dos elementos temperatura, radiação solar, precipitação e soma térmica acumulada na duração das fases de desenvolvimento. As cultivares utilizadas foram BMX Ativa RR, BMX Turbo RR e BMX Potência RR e os arranjos espaciais de 45, cruzado, 20, 20x40, 20x60 e 20x80 cm. Conduziram-se dois experimentos a campo na área experimental do Laboratório de Agroclimatologia da Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen/RS nos anos agrícolas 2012/2013 e 2013/2014. Durante o cultivo foram feitas as seguintes avaliações: contagem semanal do número de nós, análise de crescimento semanal e acompanhamento da escala fenológica. A partir destas, obteve-se o plastocrono, a eficiência de conversão e os modelos de regressão para as fases fenológicas. No ano agrícola 2012/2013 o maior plastocrono foi da cultivar BMX Turbo RR no arranjo espacial de 20 cm e o menor na cultivar BMX Potência RR no arranjo de 20x80 cm. No ano agrícola 2013/2014 o maior plastocrono foi da cultivar BMX Ativa RR no arranjo cruzado e o menor nesta mesma cultivar, no arranjo de 20x40 cm. Para todas as cultivares o único arranjo espacial que diferiu nos dois anos, foi o de 20x40 cm onde obteve menores valores de plastocrono no segundo ano. O arranjo de 20x40 cm é favorecido pela aproximação das linhas internas de 20 cm, pelo melhor aproveitamento da radiação pelo rápido fechamento destas entrelinhas. As entrelinhas externas de 40 cm favorecem o desenvolvimento, além de facilitarem a aplicação dos tratamentos fitossanitários. Maiores eficiências de conversão das cultivares são obtidos nos arranjos pareados. Os arranjos pareados e 20 cm, por ter o maior índice de área foliar e possivelmente maior interceptação da radiação difusa aumentam a eficiência de conversão e a produtividade das cultivares BMX Ativa RR e BMX Turbo RR. A soma térmica acumulada nas diferentes fases fenológicas de cultivares de soja varia de acordo com o ano agrícola, e é determinante na duração e seguimento das fases. É o fator que mais influenciou em todas as fases de desenvolvimento das cultivares, contribuindo com mais de 95% nos modelos de regressão. Os dados meteorológicos associados a fenologia identificam as diferentes condições meteorológicas as quais a cultura é exposta e demonstram a plasticidade que esta espécie apresenta.

**Palavras-chave:** *Glycine max.* Temperatura. Soma Térmica. Radiação solar. Modelagem Agrícola.



## ABSTRACT

Master dissertation  
Graduate Program in Agronomy: Agriculture and Environment  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### PLASTOCHRON, CONVERSION EFFICIENCY AND DURATION OF ESTIMATING THE PHASES PHENOLOGICAL IN SOYBEAN CROP

Author: Ana Paula Rockenbach  
Advisor: Bráulio Otomar Caron  
Frederico Westphalen, February 19, 2015.

This study aimed to evaluate the growth and development of soybean cultivars submitted in different spatial arrangements associated with weather temperature elements and solar radiation, and also the contribution of temperature elements, solar radiation, precipitation and the thermal time the duration of the development phases. The cultivars used were BMX Ativa RR, BMX Turbo RR e BMX Potência RR and the spatial arrangements were 45, crossed, 20, 20x40, 20x60 and 20x80 cm. Two field experiments were conducted in the experimental area of Agroclimatology Laboratory of the Federal University of Santa Maria, campus Frederico Westphalen/RS in the growing seasons of 2012/2013 and 2013/2014. During the crop cycle asked the following ratings: weekly count of the number of nodes; growth analysis; and monitoring of phenological scale. From these data, there was obtained plastochron, the conversion efficiency and regression models for the phenological stages. In the growing seasons 2012/2013 the plastochron cultivar BMX Turbo RR in spatial arrangement of 20 cm and the lowest BMX Potência RR, in the arrangement of 20x80 cm. In the growing seasons 2013/2014 the plastochron cultivar BMX Ativa RR in the cross arrangement and the lowest this cultivar in the arrangement of 20x40 cm. For all cultivars the only spatial arrangement which differed in both years, was to 20x40 cm which had lower plastochron values in the second year. The arrangement of 20x40 cm is favored by the approach of the internal lines of 20 cm, the best use of solar radiation by the rapid closure of these lines. The external lines of 40 cm favor the development, and facilitate the application of phytosanitary treatments. Higher conversion efficiencies of cultivars are obtained in paired arrangements. Paired arrangements and 20 cm, for having the highest leaf area index and possibly increased interception of diffuse radiation increase the conversion efficiency and productivity of the cultivars BMX Ativa RR and BMX Turbo RR. The thermal time in different phenological stages of soybean cultivars varies according to the growing seasons, and is determining the duration and follow-up phases. It is the factor that most influenced at all stages of development of cultivars, contributing over 95% in the regression models. Meteorological data associated with phenology identify the different weather conditions which culture is exposed and demonstrate the plasticity that this species has.

**Keywords:** *Glycine max.* Temperature. Thermal sum. Solar radiation. Agricultural modeling.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### ARTIGO I

- Figura 1. Precipitação pluviométrica e a temperatura média do ar nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014 .....211
- Figura 2. Número de nós acumulados na haste principal da soja (NN) e a soma térmica acumulada (°C dia), utilizada para o cálculo do plastocrono em uma planta dentro de uma repetição (cinco plantas) da cultivar BMX Ativa RR, no arranjo espacial de 45 cm no ano 2013/2014..... 222

### ARTIGO II

- Figura 1. Eficiência de conversão ( $g.MJ^{-1}$ ) nas fases vegetativa, reprodutiva e o total do ciclo das cultivares BMX Ativa RR e BMX Turbo RR nos arranjos espaciais de 45cm (a,g), cruzado (b,h), 20cm (c,i), 20x40cm (d,j), 20x60cm (e,k), 20x80cm (f,l) respectivamente. Frederico Westphalen, RS, 2015.....38

### ARTIGO III

- Figura 1. Temperatura média do ar (°C) mensal dos anos agrícolas 2012/2013 e 2013/2014. UFSM, Frederico Westphalen/RS, 2014.....56
- Figura 2. Soma térmica acumulada nas fases fenológicas de semeadura – emergência (S – E); emergência –vegetativo final (E - Vn); vegetativo final – floração plena (Vn – FP); e florescimento pleno – maturação fisiológica (FP – MF) para as cultivares BMX Ativa RR, BMX Turbo RR e BMX Potência RR nos anos agrícolas 2012/2013 e 2013/2014. UFSM, Frederico Westphalen/RS, 2014.....57
- Figura 3. Elementos meteorológicos e índice bioclimático nas fases de desenvolvimento da cultura da soja S-E (semeadura-emergência), E-VN (emergência-vegetativo final), VN-FP (vegetativo final-florescimento pleno) e FP-MF (florescimento pleno-maturação fisiológica) no ano agrícola 2012/2013 para as cultivares BMX Ativa RR (a), BMX Turbo RR (b) e BMX Potência RR (c).....60
- Figura 4. Elementos meteorológicos e índice bioclimático nas fases de desenvolvimento da cultura da soja S-E (semeadura-emergência), E-VN (emergência-vegetativo final), VN-FP (vegetativo final-florescimento pleno) e FP-MF (florescimento pleno-maturação fisiológica) no ano agrícola 2013/2014 para as cultivares BMX Ativa RR (a), BMX Turbo RR (b) e BMX Potência RR (c).....61

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

Tabela 1. Plastocrono ( $^{\circ}\text{C dia n}^{\circ-1}$ ) das cultivares de soja submetidas à diferentes arranjos espaciais (cm) nos anos agrícolas de 2012/2013 (1 $^{\circ}$ ano) e 2013/2014 (2 $^{\circ}$ ano).....	233
Tabela 2. Plastocrono ( $^{\circ}\text{C dia n}^{\circ-1}$ ) de cada cultivar de soja submetida a diferentes arranjos espaciais comparados ao arranjo recomendado (45 cm) no ano agrícola 2012/2013 (1 $^{\circ}$ ano) e em 2013/2014 (2 $^{\circ}$ ano) .....	255

### ARTIGO II

Tabela 1. Índice de área foliar das cultivares de soja BMX Ativa RR e BMX Turbo RR em diferentes estádios fenológicos e em arranjos espaciais distintos. Frederico Westphalen, RS, 2015.....	40
Tabela 2. Produtividade das cultivares de soja BMX Ativa RR e BMX Turbo RR em diferentes arranjos espaciais, comparados ao arranjo recomendado de 45 cm. Frederico Westphalen, RS, 2015.....	42

### ARTIGO III

Tabela 1. Modelos de regressão para as fases fenológicas da cultura da soja, para as cultivares BMX Ativa RR, BMX Turbo RR e BMX Potência RR: semeadura – emergência (S – E), emergência – vegetativo final (E – Vn), vegetativo final – floração plena (Vn- FP), floração plena – maturação fisiológica (FP – MF), no ano agrícola de 2012/2013. Frederico Westphalen/RS, 2014.....	58
Tabela 2. Modelos de regressão para as fases fenológicas da cultura da soja, para as cultivares BMX Ativa RR, BMX Turbo RR e BMX Potência RR: semeadura – emergência (S – E), emergência – vegetativo final (E – Vn), vegetativo final – floração plena (Vn- FP), floração plena – maturação fisiológica (FP – MF), no ano agrícola de 2013/2014. Frederico Westphalen/RS, 2014.....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RS – Rio Grande do Sul  
UFMS – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof – professor  
Dr<sup>o</sup> – doutor  
Dr<sup>a</sup> – doutora  
ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”  
PPGAAA – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente  
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
BMX – Brasmax  
RR – resistente ao roundup  
cm – centímetro  
°C dia nó<sup>-1</sup> – graus dia por nó  
% – porcentagem  
CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento  
et al – e outros  
°C dia – graus dia  
m – metro  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Cfa – temperado chuvoso, verão quente  
ha<sup>-1</sup> – hectare  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
STd – soma térmica diária  
STa – soma térmica acumulada  
Tmed – temperatura média  
Tb – temperatura base  
∑ – somatório  
NN – número de nós  
°C – graus  
mm – milímetros  
CV – coeficiente de variação  
g. MJ<sup>-1</sup> – grama por Megajoule  
nm – nanômetro  
RFA – radiação fotossinteticamente ativa  
LAGRO – Laboratório de Agroclimatologia  
m<sup>2</sup> – metros quadrados  
CESNORS – Centro de Educação Superior do Rio Grande do Sul  
MJ.m<sup>2</sup> – megajoule por metro quadrado  
cal cm<sup>2</sup> dia – calorias por centímetro quadrado por dia

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>ARTIGO I - Plastocrono em cultivares de soja submetidas a arranjos espaciais.....</b>	<b>17</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>17</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>17</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>27</b>
<b>ARTIGO II - Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa de cultivares de soja em arranjos espaciais.....</b>	<b>30</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>30</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>30</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>31</b>
<b>Material e Métodos.....</b>	<b>33</b>
<b>Resultados e Discussão .....</b>	<b>35</b>
<b>Conclusão .....</b>	<b>42</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>42</b>
<b>ARTIGO III – Soma térmica e elementos meteorológicos nas fases fenológicas de cultivares de soja.....</b>	<b>45</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>45</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>45</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>46</b>
<b>Material e Métodos.....</b>	<b>47</b>
<b>Resultados e discussão.....</b>	<b>48</b>
<b>Conclusão .....</b>	<b>52</b>
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>52</b>
<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>

## INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a oleaginosa mais cultivada no mundo, sendo a principal fonte de óleo vegetal e importante fonte de proteína. No Brasil, na safra 2013/2014, a área semeada atingiu o recorde de 30,17 milhões de hectares (CONAB, 2014). Estes indicadores, que se modificam ano a ano, demonstram a importância da cultura no agronegócio brasileiro.

Atualmente, a produção de soja tem sido crescente devido à aplicação constante de tecnologias no cultivo, como materiais genéticos de elevado potencial produtivo e resistentes a herbicidas e insetos, bem como à profissionalização dos produtores rurais. Inúmeros fatores podem influenciar no seu cultivo, dentre os quais, os elementos meteorológicos, como radiação solar, fotoperíodo, temperatura do ar e precipitação pluviométrica. Estes são os responsáveis pelas variações de curto prazo na produtividade da cultura, devido a variabilidade climática de cada ano (FERREIRA; COSTA; SOUZA, 2007).

Um dos manejos essenciais para que se alcance o máximo potencial produtivo da soja, é o arranjo espacial de plantas. Este deverá fornecer à planta um espaço adequado ao seu desenvolvimento, proporcionando o melhor aproveitamento da radiação solar e o rápido sombreamento do solo. Fatores de manejo empregados antes e durante o cultivo, como espaçamento e densidade de plantas, adubação, aplicação de agrotóxicos, dentre outros, também podem afetar e alterar significativamente o seu desenvolvimento. E para que estes fatores não interfiram negativamente sobre a cultura, inúmeros estudos são realizados para que haja melhor manejo da cultura no campo e, conseqüente, crescimento e desenvolvimento favorável da cultura, levando a um rendimento elevado.

O espaçamento mais utilizado para o cultivo de soja é de 45 cm. Alternativas como espaçamentos reduzidos, cruzado e as linhas pareadas têm sido avaliadas para indicar aquele que proporciona o melhor crescimento vegetal e conseqüente maior produtividade da cultura. Espaçamentos reduzidos trazem alguns benefícios ao cultivo, como o sombreamento mais rápido das entrelinhas e melhor distribuição espacial das plantas na lavoura. A semeadura cruzada consiste em duas operações de semeadura na mesma área, proporcionando uma melhor distribuição de plantas. Este modelo de semeadura foi usado por produtores ganhadores do desafio de produtividade nacional de soja nas safras 2010/2011 e 2011/2012 levando a uma repercussão de destaque na mídia nacional e entre produtores brasileiros. Como desvantagem,

este sistema de semeadura eleva a compactação do solo, devido às duas operações de semeadura.

A semeadura em linhas pareadas, utilizada com mais frequência nos Estados Unidos, também visa otimizar os recursos do meio e aumentar a produtividade. Para a cultura da soja as sementes são semeadas em fileiras duplas com um espaçamento entrelinhas internas de 0,20 m e entrelinhas externas de 0,40 ou 0,60 m. A grande inviabilidade, atualmente, deste modelo de semeadura no Brasil, é a falta de semeadoras com possibilidade de regulagem para este tipo de espaçamento.

O desenvolvimento vegetal da cultura pode ter algumas alterações de acordo com os espaçamentos utilizados. A melhor maneira de avaliar este desenvolvimento é através do método da soma térmica, pois esta não leva em consideração os dias de um calendário civil, mas os graus dias acumulados pela planta, pois esta necessita de uma determinada soma térmica acumulada acima de sua temperatura base para que se desenvolva. A maneira de avaliar os estádios fenológicos de uma cultura é através do surgimento de folhas e nós na haste principal. Para a planta de soja, pode ser estimado pelo intervalo de tempo entre o aparecimento de dois nós sucessivos na haste principal, denominado de plastocrono. O plastocrono pode variar de acordo com a cultivar e as condições meteorológicas. É uma importante avaliação fisiológica pois indica o acúmulo de graus dia necessário para que a planta emita um novo nó e consequentemente alcance seus estádios fenológicos.

A eficiência de conversão também é uma importante avaliação fisiológica, uma vez que estima a matéria seca produzida por unidade de radiação interceptada. Quanto maior a matéria seca produzida para a mesma radiação interceptada, maior a eficiência desta planta. Esta é influenciada pelos manejos adotados durante o cultivo, dentre os quais, o arranjo de plantas. O melhor arranjo espacial de plantas é aquele que proporciona distribuição mais uniforme de plantas por área, possibilitando melhor utilização da radiação, nutrientes e água.

Atualmente, o desenvolvimento das culturas também tem sido avaliado por meio de modelos matemáticos. Esta é uma das tendências da ciência agrônoma, que detecta os fatores que podem limitar o cultivo e, também, prever rendimento em função das condições em que as plantas se desenvolvem. Ao analisar os elementos meteorológicos no desenvolvimento das espécies, é possível inferir qual é aquele que mais influência no desenvolvimento e no rendimento.

As seguintes hipóteses foram atribuídas ao estudo: as cultivares de soja respondem de maneira diferente aos arranjos espaciais; os arranjos de linhas pareadas, utilizado nos Estados Unidos, favorece o crescimento e desenvolvimento da cultura; a velocidade de crescimento da

espécie, é uma importante determinação durante o cultivo e é utilizada nos modelos de simulação de desenvolvimento da cultura; aumentar a eficiência de conversão da espécie; estimar o desenvolvimento das plantas através de modelos matemáticos.

Este trabalho tem como objetivo geral, avaliar o crescimento e desenvolvimento de cultivares de soja submetidas a arranjos espaciais, associados aos elementos meteorológicos temperatura e radiação solar, e também a contribuição dos elementos temperatura, radiação solar, precipitação e soma térmica acumulada na duração das fases de desenvolvimento.

Como objetivos específicos: determinar o plastocrono de três cultivares de soja em diferentes arranjos espaciais; avaliar a eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa seca, de cultivares de soja de hábito de crescimento determinado e indeterminado em diferentes arranjos espaciais, e calcular a soma térmica acumulada, avaliar modelos agrônômicos e definir os dados meteorológicos associados às diferentes fases fenológicas de três cultivares de soja, submetidas a arranjos espaciais em dois anos agrícolas.



## **ARTIGO I - Plastocrono em cultivares de soja submetidas a arranjos espaciais**

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi determinar o plastocrono de três cultivares de soja em diferentes arranjos espaciais. Foram realizados dois experimentos a campo, um no ano agrícola 2012/2013 e outro no ano agrícola 2013/2014. As cultivares usadas foram BMX Ativa RR, BMX Turbo RR e BMX Potência RR e os arranjos espaciais foram 45, cruzado, 20, 20x40, 20x60, 20x80 cm, em três repetições. No ano agrícola 2012/2013 o maior plastocrono foi da cultivar BMX Turbo RR com 77,19 °C dia nó<sup>-1</sup> no arranjo espacial de 20 cm, e o menor valor na cultivar BMX Potência RR com 60,52°C dia nó<sup>-1</sup> no arranjo de 20x80 cm. No ano agrícola 2013/2014 o maior plastocrono foi na cultivar BMX Ativa RR no arranjo cruzado com 75,82 °C dia nó<sup>-1</sup>, e o menor nesta mesma cultivar, no arranjo de 20x40 cm com 57,27 °C dia nó<sup>-1</sup>. Para todas as cultivares o único arranjo espacial que diferiu nos dois anos, foi o de 20x40 cm no qual se obteve os menores valores de plastocrono no segundo ano. O arranjo de 20x40 cm é favorecido pela aproximação das linhas internas de 20 cm, pelo melhor aproveitamento da radiação solar e pelo rápido fechamento destas entrelinhas. As entrelinhas externas de 40 cm favorecem o desenvolvimento, além de facilitarem a aplicação dos tratamentos fitossanitários.

**Palavras-chave:** emissão de nós, desenvolvimento, *glycine max*

### **Plastochron in soybean cultivars subjected to space arrangements**

**Abstract:** The objective of this study was to estimate the plastochron of three soybean cultivars in different spatial arrangements. Two experiments were conducted in the field, one in the crop year 2012/2013 and another in 2013/2014. The cultivars used were BMX Ativa RR, BMX Turbo RR and BMX Potência RR and the spatial arrangements were 45, crossed, 20, 20x40, 20x60, 20x80 cm, with three replications. In 2012/2013 the largest plastochron was observed for BMX Turbo RR cultivar with 77,19 °C day node<sup>-1</sup> in the spatial arrangement of 20 cm, and the lowest for BMX Potência RR with 60,52 °C day node<sup>-1</sup> in the arrangement of 20x80 cm. In 2013/2014 the largest plastochron was observed for BMX Ativa RR cultivar in the cross arrangement with 75,82 °C day node<sup>-1</sup>, and the lowest for the same cultivar, in the arrangement of 20x40 cm with 57,27 °C day node<sup>-1</sup>. For all cultivars the only spatial arrangement which differed in both years, was to

20x40 cm which had the lowest plastochron values in the second year. The arrangement of 20x40 cm is favored by the approximation of the internal lines of 20 cm, the best use of solar radiation by the rapid closure of these lines. The external lines of 40 cm favored the development, and facilitate the application of phytosanitary treatments.

**Key words:** node appearance, development, *glycine max*

## INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a oleaginosa mais cultivada no mundo, sendo a principal fonte de óleo vegetal e importante fonte de proteína. No Brasil na safra 2013/2014 a área semeada atingiu o recorde de 30,17 milhões de hectares (CONAB, 2014). Estes indicadores, que se modificam ano a ano, demonstram a importância da cultura no agronegócio brasileiro, assim como fatores de mercado e de logística, que podem influenciar na área semeada. Além disso, as condições meteorológicas influenciam no desenvolvimento e crescimento vegetal e, conseqüentemente, na produtividade.

E para caracterizar o desenvolvimento vegetal das espécies a unidade de tempo mais adequada é a soma térmica (°C dia) (Streck et al., 2005). Essa unidade de tempo é a que melhor descreve o desenvolvimento das plantas, pois para cada espécie vegetal atingir um determinado estágio de desenvolvimento, necessita de uma determinada soma térmica acumulada acima da temperatura base, abaixo da qual a planta não se desenvolve, ou é tão lento que pode ser desprezado (Kantolic, 2008). A velocidade do surgimento de folhas ou nós na haste de uma planta, é um importante variável para o desenvolvimento vegetal (Martins et al., 2011). E pode ser estimado em uma planta de soja por meio do intervalo de tempo entre o aparecimento de dois nós sucessivos na haste principal, sendo denominado plastocrono (Streck et al., 2008).

O plastocrono também pode variar de acordo com os manejos culturais, como já observado por Martins et al. (2011), que observou diferenças de plastocrono em soja de acordo com a época de semeadura. O arranjo de plantas como um trato cultural também pode influenciar na resposta aos mais diversos fatores ambientais e produtivos, podendo ser modificado pela variação na densidade ou no espaçamento entre linhas, alterando assim, a forma da área disponível a cada planta (Rambo et al., 2003). Segundo as indicações técnicas para a cultura da soja (RPSRS, 2012), nas épocas indicadas de semeadura, devem ser empregados espaçamentos de 20 a 50 cm entre fileiras, variando

de acordo com o tipo de solo e posicionamento de sementeira dentro do zoneamento. Atualmente o espaçamento mais utilizado é de 45 cm entre linhas.

Espaçamentos reduzidos trazem alguns benefícios ao cultivo como o sombreamento mais rápido das entrelinhas, o que é fator crucial no controle de plantas daninhas, a maior captação de energia luminosa (Garcia et al., 2007) e elevadas produtividades (Rambo et al., 2003; Mattioni et al., 2008; Solano & Yamashita, 2011). Além disto, menores espaçamentos em uma mesma população proporcionam melhor distribuição espacial das plantas na área com maior aproveitamento da radiação solar, pois permitem a redução da densidade de plantas nas linhas (Tourino et al., 2002).

Outros espaçamentos utilizados são os de sementeira cruzada e de linhas pareadas. O sistema de sementeira cruzada consiste em duas operações de sementeira na mesma área, o que pode aumentar a compactação do solo. Este sistema de sementeira foi usado pelos ganhadores do Desafio de Produtividade Nacional de Soja nas safras 2010/2011 e 2011/2012 o que levou a uma repercussão de destaque na mídia nacional e entre produtores brasileiros (Procópio et al., 2013). Porém, a cultura é suscetível ao ataque de diversos patógenos devido ao maior adensamento e a redução dos espaçamentos, estabelecendo um microclima diferenciado que pode favorecer o estabelecimento de alguns patógenos, como por exemplo, o de ferrugem asiática nos folíolos da metade inferior da planta (Lima et al., 2012).

A sementeira em linhas pareadas utilizada com frequência nos Estados Unidos também visa otimizar os recursos do meio e aumentar a produtividade. Para a cultura da soja as sementes são semeadas em fileiras duplas com um espaçamento entrelinhas internas de 0,20 m e entrelinhas externas de 0,40 ou 0,60 m (Carvalho, 2014). A grande inviabilidade deste modelo de sementeira no Brasil é a falta de semeadoras com possibilidade de regulagem para este tipo de espaçamento. Portanto, o desenvolvimento vegetal da cultura da soja ao longo do ciclo deve ser avaliado nos distintos arranjos espaciais. O objetivo deste trabalho foi determinar o plastocrono em três cultivares de soja em diferentes arranjos espaciais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Foram conduzidos dois experimentos de campo, um no ano agrícola 2012/2013 e outro no ano agrícola 2013/2014. O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento Passo Fundo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico,

textura argilosa, profundo e bem drenado (EMBRAPA, 2006), e o clima da região é do tipo Cfa pela classificação climática de Köppen.

Nos dois anos agrícolas, foram utilizados os arranjos espaciais de 45, cruzado, 20, e linhas pareadas de 20x40, 20x60 e 20x80 cm, representados na Figura 1, e as cultivares BMX Ativa RR, BMX Turbo RR e BMX Potência RR. O delineamento experimental usado foi de blocos completamente casualizados com três repetições. As parcelas eram de três metros de comprimento e as larguras variaram de acordo com o arranjo, sendo cinco linhas nos arranjos de 45 e cruzado, dez linhas no espaçamento de 20, cinco linhas pareadas em 20x40, 20x60, 20x80 cm perfazendo a largura de 2,25; 2,25; 2; 2,6; 3,4 e 4,2 m respectivamente.

As sementeiras foram realizadas nos dias 28/11/2012 e 02/12/2013 e a adubação de base foi aplicada de forma manual. Considerou-se como emergência quando 50% das plantas estivessem com os cotilédones emergidos. O raleio nos dois anos foi realizado sete dias após a emergência para uma densidade de 250.000 plantas ha<sup>-1</sup>. O manejo para controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado de acordo com as recomendações para a cultura da soja.

Na linha central de cada parcela após a emergência foram marcadas cinco plantas e contou-se o número de nós visíveis na haste principal duas vezes na semana, determinando também, seu estágio fenológico segundo a escala de Fehr & Caviness (1977). Um nó foi considerado visível quando a folha associada a ele estava com as bordas de pelo menos um limbo foliar desenrolado e não mais se tocando (Johnson, 1997).

Durante todo o período de desenvolvimento da cultura, nos dois anos, foram coletados dados meteorológicos, como a temperatura do ar e precipitação pluviométrica obtidos na Estação Automática pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Ao avaliar os dados de temperatura, observou-se que a temperatura mínima durante o cultivo nunca foi abaixo de 10°C, e por isso, a soma térmica diária (STd, °C dia) foi calculada a partir da emergência (Gilmore & Rogers, 1958) conforme Eq. 1.

$$STd=(Tmed-Tb).1dia \quad (1)$$

sendo:

Tmed - é a temperatura média do ar, calculada pela média entre as temperaturas máxima e mínima do ar de cada dia

Tb - é a temperatura base e para a soja considerou-se 10°C (Piper et al., 1996)

A soma térmica acumulada (STa, °C dia) foi calculada pela Eq. 2.

$$STa= \sum STd \quad (2)$$

Assim, para cada planta marcada obteve-se a regressão linear entre o número de nós (NN) na haste principal e a soma térmica acumulada (STa), a partir disto, calculou-se o plastocrono pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear. Os valores de plastocrono foram submetidos aos testes de média de Tukey a 5% de probabilidade de erro, e para a comparação entre arranjos espaciais, utilizou-se como arranjo recomendado o de 45 cm, e esta comparação foi feita pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados meteorológicos temperatura média do ar e precipitação pluviométrica dos anos agrícolas 2012/2013 e 2013/2014 são apresentados na Figura 1. A temperatura média do ar foi similar nos dois anos com valores médios próximos a 25 °C. Estas estiveram dentro da faixa ótima para o desenvolvimento da soja que varia de 20 a 33°C de acordo com o estágio fenológico (Setiyono et al., 2007). O mês de fevereiro tanto em 2012/2013 como em 2013/2014 apresentou a maior temperatura máxima de 35,9 e 36,7 °C respectivamente, ultrapassando a faixa ótima. Porém, não alcançando a temperatura máxima cardinal que varia de 38 a 45 °C, de acordo com o estágio (Setiyono et al., 2007), onde o crescimento e desenvolvimento são consideravelmente menores.

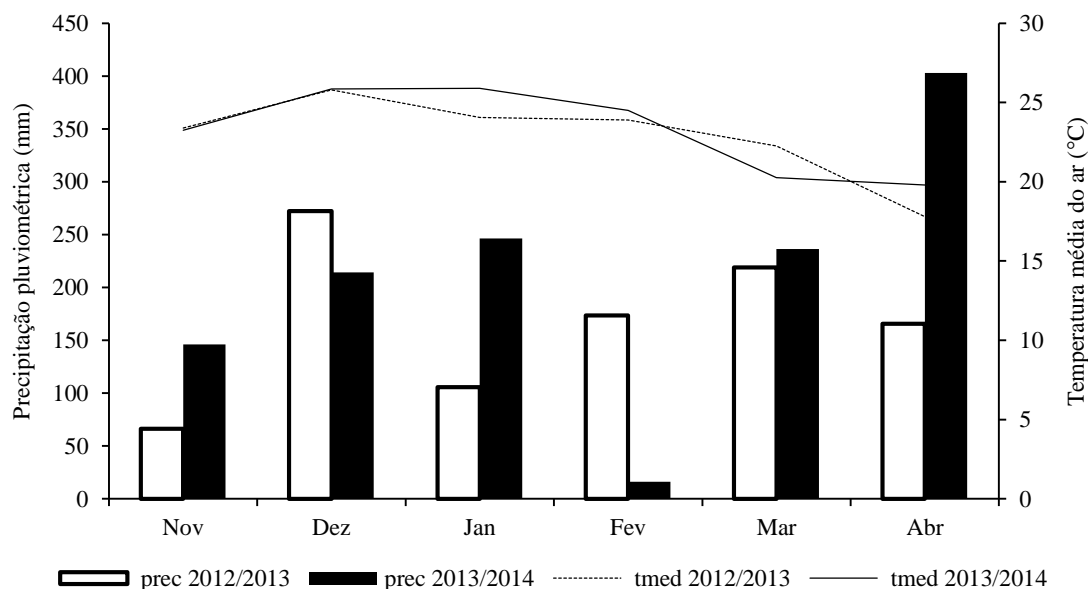


Figura 1. Precipitação pluviométrica (prec) e a temperatura média do ar (tmed) nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014

As precipitações foram maiores no período de cultivo no ano de 2013/2014 do que em 2012/2013, com 1.262 e 1.002,2 mm, respectivamente. Porém, a distribuição foi melhor

a partir de dezembro no primeiro ano, já no segundo ano, houve pouca precipitação em fevereiro, com volume total de apenas 16,2 mm, o que pode ter influenciado no crescimento da cultura, principalmente na formação de vagens e enchimento de grãos.

A relação entre o número de nós e a soma térmica acumulada (Figura 2), indica que a temperatura do ar como um importante fator ambiental que influencia o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, a emissão de nós, demonstrando assim, que a estimativa de plastocrono pelo método de regressão linear é apropriado (Sinclar et al., 2005; Streck et al., 2005).

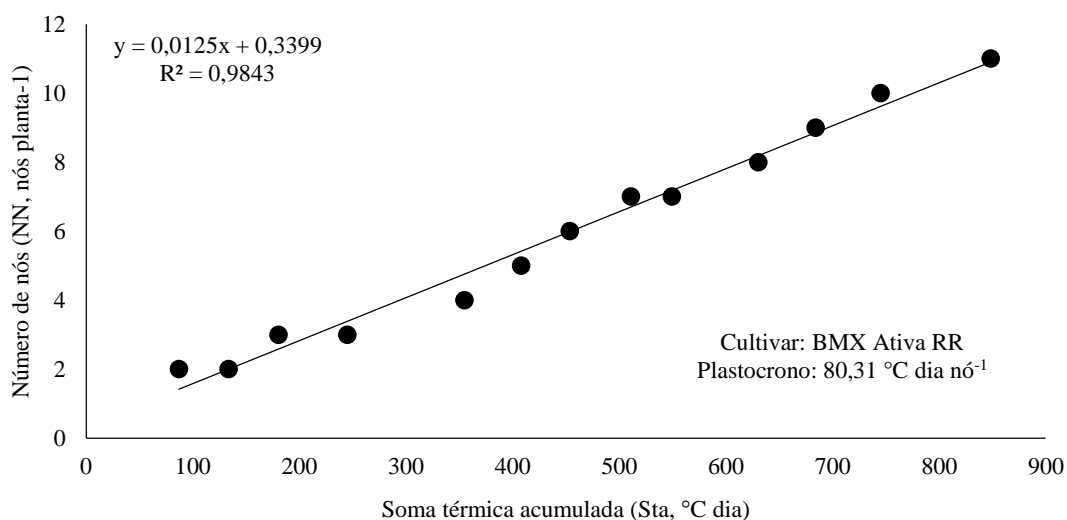


Figura 2. Número de nós acumulados na haste principal da soja (NN) e a soma térmica acumulada (°C dia), utilizada para o cálculo do plastocrono em uma planta dentro de uma repetição (cinco plantas) da cultivar BMX Ativa RR, no arranjo espacial de 45 cm no ano 2013/2014

De maneira geral, o plastocrono variou de 57,27 a 77,19°C dia nó<sup>-1</sup> entre as cultivares nos dois anos (Tabela 1). O primeiro ano agrícola de 2012/2013 apresentou diferenças significativas para todas as cultivares. Em geral, a cultivar BMX Turbo RR apresentou-se superior as demais em todos os arranjos espaciais, apenas no cruzado, que não diferiu da cultivar BMX Ativa RR. A cultivar BMX Potência RR, valores de plastocrono menor do que as demais cultivares no primeiro ano, resultando em acúmulo de soma térmica menor em relação às outras (Tabela 1).

Já o elevado plastocrono para a cultivar BMX Turbo RR, indica um crescimento mais lento, pois necessita de maior acúmulo de graus dia para emitir o próximo nó. Para a cultivar BMX Ativa RR, o plastocrono apresentou-se intermediário, em relação as outras cultivares no primeiro ano, seu intervalo de tempo entre a emissão de dois nós não

apresentou-se tão rápido. Segundo Streck et al. (2008), as diferenças de plastocrono entre cultivares não estão relacionadas ao ciclo da cultivar, o que pode ser observado neste trabalho, como por exemplo, no primeiro e no segundo ano agrícola, não ocorreram diferenças significativas entre a cultivar BMX Ativa RR e BMX Potência RR em alguns arranjos espaciais, sendo estas completamente discrepantes pois possuem grupos de maturação de 5,6 e 6,7 respectivamente (BRASMAX, 2014).

Tabela 1. Plastocrono ( $^{\circ}\text{C dia n}^{\circ-1}$ ) das cultivares de soja submetidas à diferentes arranjos espaciais (cm) nos anos agrícolas de 2012/2013 (1<sup>o</sup> ano) e 2013/2014 (2<sup>o</sup> ano)

Arranjos espaciais (cm)	Ano agrícola	Cultivares		
		BMX Ativa RR	BMX Potência RR	BMX Turbo RR
45	1 <sup>o</sup> ano	68,48 a B*	63,76 b C	72,57 a A
45	2 <sup>o</sup> ano	69,27 a AB	73,10 a A	65,24 b B
Cruzado	1 <sup>o</sup> ano	73,33 a AB	69,45 a B	73,87 a A
Cruzado	2 <sup>o</sup> ano	75,82 a A	73,74 a A	68,19 b B
20	1 <sup>o</sup> ano	70,44 a B	63,25 a C	77,19 a A
20	2 <sup>o</sup> ano	70,04 a A	66,60 a AB	64,90 b B
20x40 <sup>(1)</sup>	1 <sup>o</sup> ano	68,52 a B	65,23 a B	75,18 a A
20x40	2 <sup>o</sup> ano	57,27 b A	60,84 b A	60,76 b A
20x60	1 <sup>o</sup> ano	63,16 a C	67,32 a B	73,83 a A
20x60	2 <sup>o</sup> ano	64,34 a A	62,43 b A	62,44 b A
20x80	1 <sup>o</sup> ano	65,79 a B	60,52 a C	73,67 a A
20x80	2 <sup>o</sup> ano	67,77 a A	62,06 a B	64,39 b AB

\*Letras minúsculas comparam na coluna, e maiúsculas na linha. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade de erro. <sup>1</sup>Linhas pareadas em espaçamento de 20cm, separadas por 40cm de espaçamento. CV: 8,77%

No segundo ano agrícola (2013/2014), as cultivares apresentaram diferença significativa em praticamente todos os arranjos, apenas em 20x40 e 20x60 cm que foram iguais. Neste cultivo, observou-se o inverso do ano anterior, em relação às cultivares, além das diferenças não serem tão expressivas quanto no ano anterior. A cultivar BMX Turbo RR apresentou-se inferior ou igual às demais em todos os arranjos espaciais, não diferindo das demais cultivares apenas em 20x40 e 20x60 cm. Já a cultivar BMX Ativa RR foi superior ou igual à BMX Potência RR nos arranjos 45, cruzado e 20 cm, apesar de serem de grupos de maturação distintos, seu acúmulo de graus dia<sup>-1</sup> foi semelhante

neste ano. Estes dados corroboram com Sinclar et al. (2005), Streck et al. (2008) e Martins et al. (2011) que ao avaliarem plastocrono de diferentes cultivares de soja também obtiveram diferenças significativas entre as cultivares.

Nos arranjos espaciais as cultivares obtiveram desenvolvimento diferente em cada ano em praticamente todos os arranjos estudados. Observa-se, de maneira geral, que a cultivar BMX Ativa RR foi a que obteve menor variação entre os anos para todos os arranjos, apresentando apenas diferença estatística em 20x40 cm. Já a cultivar BMX Turbo RR foi sempre inferior no segundo ano em relação ao primeiro ano. E a cultivar BMX Potência RR foi apenas igual nos arranjos cruzado, 20 e 20x80 cm. No ano agrícola 2013/2014, houve uma distribuição de chuvas desuniforme, principalmente com um volume de precipitação muito baixo em fevereiro, momento este, em que as cultivares BMX Turbo RR e BMX Potência RR encontravam-se ainda em desenvolvimento, florescimento e algumas plantas em enchimento de grãos. Esta distribuição irregular, associada às maiores temperaturas em relação ao ano anterior, afetaram o desenvolvimento da cultura, exemplo disto, foi o ocorrido com a cultivar BMX Turbo RR que acelerou seu desenvolvimento, reduzindo a soma térmica necessária para a emissão do próximo nó.

Quando comparados os arranjos espaciais em relação ao arranjo recomendado, mais utilizado (45 cm) (Tabela 2), observa-se resposta diferenciada das cultivares em cada ano. A cultivar BMX Ativa RR não diferiu em relação aos arranjos no primeiro ano, já no segundo ano, o arranjo de 20x40 cm apresentou-se inferior ao de 45 cm. A cultivar BMX Potência RR, foi superior no primeiro ano apenas no arranjo cruzado, já no segundo ano os arranjos 20, 20x40, 20x60 e 20x80 cm apresentaram-se inferiores ao plastocrono do arranjo de 45 cm, demonstrando que a temperatura média maior neste ano associada a precipitação irregular elevou os valores de plastocrono em 45 cm e no cruzado, porém a disposição das plantas nos arranjos de 20, 20x40, 20x60 e 20x80 cm fez com que o plastocrono fosse menor, o que corrobora com Streck et al. (2008), que encontrou plastocrono maior em cultivares de soja em ano mais seco. A cultivar BMX Turbo RR não diferiu em relação ao arranjo de 45 cm em nenhum dos anos, apesar de obter uma diferença nas médias de plastocrono, no primeiro ano 74,38 °C dia nó<sup>-1</sup> e no segundo ano 64,32 °C dia nó<sup>-1</sup>.



Tabela 2. Plastocrono ( $^{\circ}\text{C dia n}^{\circ}$ ) de cada cultivar de soja submetida a diferentes arranjos espaciais comparados ao arranjo recomendado (45 cm) no ano agrícola 2012/2013 (1<sup>o</sup> ano) e em 2013/2014 (2<sup>o</sup> ano)

Ano agrícola	Arranjos espaciais (cm)	Cultivares		
		BMX Ativa RR	BMX Potência RR	BMX Turbo RR
1 <sup>o</sup> Ano	45	68,48	63,76	72,57
	cruzado	73,33	69,45 <sup>+</sup>	73,87
	20	70,44	63,25	77,19
	20x40	68,52	65,23	75,18
	20x60	63,16	67,32	73,83
	20x80	65,79	60,52	73,67
	Média	68,23	64,79	74,38
	CV (%)	9,96	6,52	7,03
2 <sup>o</sup> Ano	45	69,27	73,11	65,24
	cruzado	75,82	73,74	68,19
	20	70,04	66,60 <sup>-</sup>	64,9
	20x40	57,27 <sup>-</sup>	60,84 <sup>-</sup>	60,76
	20x60	64,34	62,43 <sup>-</sup>	62,44
	20x80	67,77	62,06 <sup>-</sup>	64,39
	Média	67,42	66,46	64,32
	CV (%)	10,79	8,35	8,59

<sup>+</sup>Diferença significativa superior ao arranjo recomendado (45 cm). <sup>-</sup>Diferença significativa inferior ao arranjo recomendado (45 cm) pelo teste de Dunnett a 0,05 de probabilidade de erro

O estudo dos diferentes arranjos espaciais deve levar em consideração as modificações no crescimento e desenvolvimento dos cultivos. Um dos principais benefícios da redução do espaçamento na cultura da soja em uma mesma população, é a melhor distribuição das plantas na área, resultando em um sombreamento do solo mais rápido, fazendo com que ocorra um melhor aproveitamento da água e também maior e mais rápida interceptação da radiação solar (Rambo et al., 2004; Heiffig et al., 2006), além de estudos que comprovam um maior rendimento de grãos devido ao aumento do número de legumes por  $\text{m}^2$  (Parcianello et al., 2004). Porém, o avanço da doença *Phakopsora pachyhizi*, fez com que os estudos se voltassem para a influência dos arranjos espaciais no progresso da doença e segundo Madalosso et al. (2010) a redução do espaçamento entrelinhas permitiu melhores condições para o estabelecimento e progresso da epidemia além da menor

eficácia de controle, em contrapartida, o espaçamento maior de 60 cm, proporcionou menores valores de doença acumulada e maior produtividade.

Esta doença também encontra condições favoráveis no sistema de semeadura cruzada, onde há um adensamento maior de plantas, além dos problemas com compactação do solo aumentarem devido o dobro de tráfego de máquinas na área, o que pode ser um grande problema em áreas de semeadura direta (Carvalho, 2014). Porém, as informações sobre o crescimento e desenvolvimento da soja neste sistema são escassas na literatura, mas são fundamentais pois um novo modelo de semeadura também acarretará em mudanças no desempenho a campo da cultura (Lima et al., 2012), e por isso a importância do estudo de todos os fatores do desenvolvimento vegetal da espécie. Já a semeadura em linhas pareadas traz grandes benefícios como a alta penetração de luz e agroquímicos no dossel, o que favorece o crescimento e desenvolvimento da cultura (Carvalho, 2014). Mas assim como a semeadura cruzada, são poucas as literaturas disponíveis, pois é um sistema novo no Brasil e deve ser melhor explorado pela pesquisa.

Atualmente, houve uma mudança nas cultivares de soja usadas no Brasil, passando de genótipos de crescimento determinado, ciclo médio a tardio e semeaduras a partir de meados de novembro e durante dezembro, para genótipos de crescimento indeterminado, de grupo de maturidade relativa de 5.0 a 6.5, com concentração de semeadura entre meados de outubro e novembro, além de assim permitir em alguns locais a segunda safra de verão (Strieder et al., 2013).

O conhecimento do intervalo necessário para o surgimento de nós na cultura da soja, é de suma importância para a adesão de práticas de manejo da cultura, dentre as quais, o melhor arranjo espacial que irá promover o melhor desenvolvimento e, conseqüentemente, produtividade elevada. Atualmente, a recomendação dos componentes do arranjo espacial, espaçamento e densidade, já são definidos por comissões de pesquisa e por empresas detentoras das cultivares, porém, arranjos diferenciados, como os usados nos Estados Unidos devem ser estudados aqui no Brasil, pois podem ser uma alternativa para o aumento da produtividade de grãos brasileira. Além do estudo envolvendo as características morfológicas e fisiológicas do cultivo, para que haja uma melhor adaptação da espécie a um novo arranjo espacial.

## CONCLUSÃO

1. No ano agrícola 2012/2013 o maior plastocrono foi da cultivar BMX Turbo RR no arranjo espacial de 20 cm e o menor na cultivar BMX Potência RR no arranjo de 20x80 cm.
2. No ano agrícola 2013/2014 o maior plastocrono foi da cultivar BMX Ativa RR no arranjo cruzado e o menor nesta mesma cultivar, no arranjo de 20x40 cm.
3. Para todas as cultivares o único arranjo espacial que diferiu nos dois anos, foi o de 20x40 cm onde obteve menores valores de plastocrono no segundo ano.
4. O arranjo de 20x40 cm é favorecido pela aproximação das linhas internas de 20 cm, pelo melhor aproveitamento da radiação pelo rápido fechamento destas entrelinhas. As entrelinhas externas de 40 cm favorecem o desenvolvimento, além de facilitarem a aplicação dos tratamentos fitossanitários.

## LITERATURA CITADA

- BRASMAX. Informações das cultivares. <http://www.brasmaxgenetica.com.br/cultivares.php?r=S>. Acesso em 15 de novembro de 2014.
- Carvalho, M. M. Influência de sistemas de semeadura na população de pragas e nas características morfofisiológicas em cultivares de soja. Botucatu: FCA/UNESP, 2014. 66p. Dissertação Mestrado.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, terceiro levantamento, v.2, safra 2014/2015, dezembro, 2014. Brasília: CONAB, 2014. Publicação Mensal. Online.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed, Rio de Janeiro: Embrapa SPI, 2006. 412p.
- Fehr, W, R.; Caviness, C. E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. Special Report, 80
- Garcia, A. Pípolo, A. E.; Lopes, I. de O. N.; Portugal, F. A. F. Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 12p. Embrapa Soja, Circular Técnica, 51
- Gilmore, E. C. Jr.; Rogers, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*, Madison, v.50, p.611-615, 1958.

- Heiffig, L. S.; Câmara, G. M. de S.; Marques, L. A.; Pedroso, D. B.; Piedade, S. M. de S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. *Bragantia*, v.65, p.285-295, 2006.
- Kantolic, A. G. Control ambiental y genético de la fenología del cultivo de soja: impactos sobre el rendimiento y la adaptación de genótipos. *Revista Facultad de Agronomía UBA*, v.28, p.63-88, 2008.
- Johnson, S. R. How a soybean plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology, and Cooperative Extension Service, 1997. 18p. Special Report n.53
- Lima, S. F. de. Alvares, 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, p. 954-962, 2012.
- Madalosso, S. G.; Domingues, L. da 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, p.2256-2261, 2010.
- Martins, J. C.; 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, p.954-959, 2011.
- Mattioni, F.; Corrêa, L. A. V.; Gomes, J. C. C.; Wünc, J. Arranjos espaciais, plantas concorrentes e características agrônômicas de soja (*Glycine max* (Linn) Merrill) em cultivo orgânico. *Revista Brasileira Agrociência*, v.14, p.21-32, 2008.
- Parcianello, G.; Costa, J. A.; Pires, J. L. F.; Rambo, L.; Saggin, K. Tolerância da soja ao desfolhamento afetada pela redução do espaçamento entre fileiras. *Ciência Rural*, v.34, p.357-364, 2004.
- Procópio, S. de O.; Junior, A. A. B.; Debiasi, H.; Franchini, J. C.; Paniso, F. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. *Revista de Ciências Agrárias*, v.56, p.319-325, 2013.
- Piper, E. L.; Boote, K. J.; Jones, J. W.; Grimm, S. S. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Science*, v.36 p.1606-1614, 1996.
- Rambo, L.; Costa, J. A.; Pires, J. L. F.; Parcianello, G.; Ferreira, F. G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. *Ciência Rural*, v.33, p.405-411, 2003.

- Rambo, L.; Costa, J. A.; Pires, J. L. F.; Parcianello, G.; Ferreira, F. G. Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja, em diferentes arranjos de plantas. *Ciência Rural*, v.34, p.33-40, 2004.
- Setiyono, T. D.; Weiss, A.; Specht, J.; Bastidas, A. M.; Cassman, K. G.; Dobermann, A. Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. *Field Crops Research*. V.100, P.257-271, 2007.
- Sinclar, T. R.; Neumaier, N.; Farias, J. R. B.; Nepomuceno, A. L. Comparison of vegetative development in soybean cultivars for low-latitude environments. *Field Crops Research*. v. 92, p.53-59, 2005.
- Solano, L.; Yamashita, O. M. Cultivo da soja em diferentes espaçamentos entre linhas. *Varia Scientia Agrárias*. v.2, p.35-47, 2011.
- Streck, N. A., Tibola, T.; Lago, I.; Buriol, G. A.; Heldwein, A. B.; Schneider, F. M.; Zago, V. Estimativa do plastocrono em meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado sob estufa plástica em diferentes épocas do ano. *Ciência Rural*, v. 35, p.1275-1280, 2005.
- Streck, N. A.; Paula, G. M. de; Camera, C.; Menezes, N. L. de; Lago, I. Estimativa do plastocrono em cultivares de soja. *Bragantia*, Campinas, v.67, p. 67-73, 2008.
- Strieder, M. L.; Pires, J. L. F.; Costamilan, L. M.; Faganello, A.; Vargas, L.; Bertagnolli, P. F.; Corassa, G. M. Rendimento de grão de soja em diferentes arranjos de planta, safra 2012/2013. In: Costamilan, L. M.; Carrão-Panizzi, M. C. (ed.). *Soja: Resultados de pesquisa 2012/2013*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, outubro 2013. 19p. Documentos Online, 145
- Tourino, M. C. C. Rezende, P. M. de; Salvador, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.1071-1077, 2002.

**ARTIGO II - Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa de cultivares de soja em arranjos espaciais**

**Conversion efficiency of photosynthetically active radiation of soybean cultivars in space arrangements**

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa seca de cultivares de soja de hábito de crescimento determinado e indeterminado, em diferentes arranjos espaciais. Conduziu-se um experimento na safra 2013/2014 na Universidade Federal de Santa Maria, campus Frederico Westphalen/RS, avaliando-se duas cultivares de soja (BMX Ativa RR/determinado e BMX Turbo RR/indeterminado) em arranjos espaciais (45, cruzado, 20, 20x40, 20x60, 20x80 cm). A partir da emergência até o ponto de maturação, realizaram-se 14 avaliações de fitomassa, com intervalo de sete dias, em que uma planta por repetição foi amostrada. Maiores eficiências de conversão das cultivares são obtidos nos arranjos pareados. Os arranjos pareados e 20 cm, por ter o maior índice de área foliar e possivelmente maior interceptação da radiação difusa aumentam a eficiência de conversão e a produtividade das cultivares BMX Ativa RR e BMX Turbo RR.

**Palavras-chave:** Espaçamento. *Glycine max* L. Merrill. Hábito de crescimento.

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the conversion efficiency of photosynthetic active radiation intercepted in dry matter of soybean cultivars of determined and indetermined growth habit in different spatial arrangements. Na field experimente was conducted in the 2013/2014 growing season at Universidade Federal de Santa Maria, in the campus of Frederico Westphalen/RS, evaluating two soybean cultivars (BMX Ativa RR and

BMX Turbo RR) in different spatial arrangements (45, crossed, 20, 20x40, 20x60, 20x80 cm). From the emergency to the maturation, 14 samples of biomass, were obtained in an interval of seven days, with a plant per repetition. Higher conversion efficiencies of cultivars are obtained in paired arrangements. Paired arrangements and 20 cm, due to higher leaf area index and possibly higher interception of diffuse radiation, increased the conversion efficiency and productivity of BMX Ativa RR and BMX Turbo RR cultivars.

**Key Works:** Spacing. *Glycine max* L. Merrill. Growth habit.

### **Introdução**

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de grande importância na agricultura e economia brasileira. Na safra agrícola de 2013/2014, a produção foi recorde atingindo 86.120,8 mil toneladas (CONAB, 2014). Para que seu potencial produtivo seja alcançado, as práticas de manejo da cultura como a época de semeadura, densidade populacional e espaçamento são essenciais.

Alternativas de espaçamentos para a cultura da soja têm sido estudadas em relação ao sistema tradicional de 45 cm entrelinhas, como a redução do espaçamento, a semeadura cruzada e o uso de linhas pareadas com espaçamentos diferenciados nas entrelinhas internas e externas. Dentre as vantagens, a redução do espaçamento entre linhas possibilita que a cultura encurte o tempo necessário para interceptar o máximo de radiação solar incidente, incrementando a quantidade de energia captada por unidade de área e tempo (HEIFFIG et al., 2006; KUNZ et al., 2007).

A semeadura cruzada além de possibilitar um sombreamento mais rápido do solo, auxiliando no controle de plantas daninhas, melhora também o aproveitamento da área, apesar de ter como desvantagem a realização de duas operações de semeadura (SILVA et al., 2015; CARVALHO et al., 2013). As linhas pareadas possibilitam que a espécie compense o menor

espaçamento na entrelinha interna, com o maior espaçamento da entrelinha externa, o que favorece o seu desenvolvimento (CARVALHO, 2014).

Um dos principais elementos meteorológicos que influencia o crescimento das culturas, é a radiação solar, e que atualmente vem se destacando nas pesquisas que buscam a elevação dos rendimentos (KUNZ et al., 2007). No entanto, nem toda a radiação solar que incide sobre as plantas é utilizada no processo de conversão, devido à sensibilidade seletiva dos cloroplastos (ASSIS; MENDEZ, 1989). A fração utilizada pelas plantas é a radiação fotossinteticamente ativa, que possui fluxo de fótons na faixa de 400 a 700 nm do espectro solar, e representa apenas 45 - 50% da radiação solar total (ASSIS; MENDEZ, 1989).

Para as plantas que têm à disposição quantidades adequadas de água e nutrientes, a produção de fitomassa seca é governada pela absorção de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Assim, a RFA interceptada, que é convertida em fitomassa, revela a eficiência do uso da radiação da espécie (MONTEITH, 1977), determinada pelo coeficiente angular da regressão linear entre a fitomassa seca produzida e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (KUNZ et al., 2007; CARON et al., 2012; CARON et al., 2014).

A disponibilidade e o aproveitamento da radiação solar pelas plantas são influenciados diretamente pela sua estrutura, que é composta pelo arranjo e ângulo foliar, densidade populacional, espaçamento e pela fisiologia das mesmas (FAGAN et al., 2013). A cultura da soja apresenta elevada área foliar e rápida emissão de folíolos, o que leva a um grande incremento na interceptação de radiação solar, até determinado momento em que se inicia o auto-sombreamento, e que acarretará o acréscimo no coeficiente de extinção de luz. Neste momento, mesmo o aumento do índice de área foliar não elevará a interceptação (CASAROLI et al., 2007), fator este crucial para a elevação da eficiência de conversão da cultura.



O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa seca, de cultivares de soja de hábito de crescimento determinado e indeterminado em diferentes arranjos espaciais.

### **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido a campo, na área experimental do Laboratório de Agroclimatologia (LAGRO) da Universidade Federal de Santa Maria/UFSM campus Frederico Westphalen/RS (27° 23' 48'' S, 53° 25' 45'' O, 490 m de altitude), no ano agrícola 2013/2014. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é Cfa.

O delineamento experimental usado foi de blocos casualizados em esquema fatorial 6x2, ou seja, seis arranjos espaciais (45, cruzado, 20, e linhas pareadas de 20x40, 20x60 e 20x80 cm) e duas cultivares de hábito de crescimento distintos (BMX Ativa RR/determinada e BMX Turbo RR/indeterminada), com três repetições, totalizando 36 parcelas amostrais. A semeadura foi realizada no dia 02/12/2013, com a adubação de base aplicada de forma manual. Considerou-se como emergência quando 50% das plântulas estiveram emersas em média oito dias após a semeadura, e o raleio foi realizado sete dias após a emergência para uma densidade de 250.000 plantas ha<sup>-1</sup>, em todos os tratamentos.

A partir da emergência até o ponto de maturação fisiológica, realizaram-se 14 avaliações semanais de fitomassa, quando uma planta por repetição foi amostrada, totalizando 504 plantas durante todo o ciclo. As plantas foram levadas ao LAGRO, para separação das amostras em cotilédones, folhas, haste, ramos, flores, legumes, restos (folhas senescentes e menores que cinco centímetros) e discos foliares, para posterior secagem em estufa de circulação de ar forçado a 65°C, até atingir massa constante.

A área foliar (AF), em m<sup>2</sup> por planta foi calculada pelo seguinte modelo:

$$AF = (n^{\circ} \text{ discos} * \text{área vazador} * (\text{MS folhas} + \text{discos}) / \text{MS discos})$$

Onde  $n^\circ$  discos: é o número de discos feitos por amostra; área vazador: é a área do vazador em  $m^2$ ; MS folhas + discos: é a matéria seca total das folhas, em gramas; MS discos: é a matéria seca dos discos, em gramas.

O índice de área foliar (IAF) foi determinado a partir da área foliar de cada planta e da área de solo explorada por esta, pela equação:

$$IAF = AF/SS$$

Onde AF é a área foliar em  $m^2$  e SS é a superfície do solo explorada por uma planta em  $m^2$ , que é de  $0,04 m^2$ .

A radiação solar global foi coletada em estação automática pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), vinculada ao LAGRO, do Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais do CESNORS (Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul). A radiação fotossinteticamente ativa incidente foi estimada considerando 45% da radiação solar global (ASSIS; MENDEZ, 1989), não havendo distinção entre dias nublados e de céu limpo. A radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi) foi determinada com base no modelo de VARLET - GRANCHER et al. (1989):

$$RFAi = 0,95*(RFAinc)*(1-e^{-(k*IAF)})$$

Onde RFAinc é a radiação fotossinteticamente ativa incidente, k é o coeficiente de extinção luminosa, IAF é o índice de área foliar. O coeficiente de extinção luminosa (k) usado foi de 0,5. Segundo PENGELLY et al. (1999), o coeficiente de extinção luminosa pode variar entre 0,5 a 0,6 para a soja, considerando uma média do ciclo.

De acordo com MONTEITH (1977), a eficiência de conversão pode ser calculada pela relação entre a produção média de fitomassa seca acumulada e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada, conforme a seguinte equação:

$$PFS = eb * RFAi$$

em que, PFS é a produção de fitomassa seca em  $\text{g.m}^{-2}$ ; eb é a eficiência de conversão da RFAi em fitomassa seca produzida, em  $\text{g MJ}^{-1}$ ; RFAi é a radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada, em  $\text{MJ m}^{-2}$ . Os dados de índice de área foliar a partir do estádio V7 até R5 foram submetidos à análise estatística e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A colheita dos grãos foi realizada quando a cultura apresentava-se em ponto de maturação fisiológico, em uma área de  $1\text{m}^2$ . As plantas foram levadas ao LAGRO para debulha, pesagem e posterior correção para umidade de 13%. Para a comparação entre arranjos espaciais, utilizou-se como arranjo recomendado o de 45 cm, e esta comparação foi feita pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

## **Resultados e Discussão**

A matéria seca acumulada apresentou relação linear positiva com radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada durante o cultivo, com altos coeficientes de determinação indicando resposta crescente de matéria seca em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada, o que corrobora com resultados de CARON et al. (2012). A radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada no cultivo da soja, durante os 100 dias de avaliação, para a cultivar BMX Ativa RR e BMX Turbo RR variou de 470 a  $612 \text{ MJ m}^{-2}$  e 531 a  $646 \text{ MJ m}^{-2}$ , respectivamente. Os maiores valores de radiação foram observados nos arranjos espaciais de linhas pareadas de 20x40, 20x60 e 20x80 cm, onde, conseqüentemente, ocorreram os maiores acúmulos de matéria seca.

A cultivar BMX Ativa RR, de hábito de crescimento determinado, apresentou diferenças na eficiência de conversão de acordo com os arranjos espaciais (Figura 1). No arranjo de 45 cm, a eficiência de conversão do total do ciclo foi de  $0,97 \text{ g MJ}^{-1}$ , considerado baixo quando comparado aos demais, que apresentaram  $1,07 \text{ g MJ}^{-1}$ ,  $1,34 \text{ g MJ}^{-1}$ ,  $1,31 \text{ g MJ}^{-1}$ ,  $1,32 \text{ g MJ}^{-1}$  e

1,78 g MJ<sup>-1</sup> respectivamente nos arranjos de semeadura cruzada, 20, 20x40, 20x60, e 20x80 cm, demonstrando que a modificação no arranjo de maneira geral foi positiva. Os arranjos de 20 cm e de linhas pareadas apresentaram as maiores eficiências de conversão quando comparadas aos demais arranjos nas fases fenológicas vegetativa e reprodutiva, como observado na Figura 1.

Para a cultivar BMX Turbo RR, de hábito de crescimento indeterminado, observou-se resultados semelhantes a cultivar anterior (Figura 1), com o arranjo de 45 cm apresentando a menor eficiência de conversão em relação aos demais, com 1,00 g MJ<sup>-1</sup>. Para os demais arranjos foram encontrados 1,21 g MJ<sup>-1</sup> na semeadura cruzada, 1,38 g MJ<sup>-1</sup> em 20 cm, 1,59 g MJ<sup>-1</sup> em 20x40 cm, 1,56 g MJ<sup>-1</sup> em 20x60 cm, e 1,50 g MJ<sup>-1</sup> em 20x80 cm. As maiores eficiências de conversão foram nos arranjos de 20cm e linhas pareadas nas fases vegetativa e reprodutiva.

O arranjo de 45 cm na fase reprodutiva para a cultivar BMX Turbo RR, foi o único que apresentou uma grande diferença na produção de matéria seca entre os estádios de formação de vagens, R3 e R4, culminando com o mês de fevereiro que obteve um volume de precipitação muito baixo, apenas 16,2 mm e a maior temperatura de todo o período, 36,7°C. A necessidade de água durante o ciclo da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta. Os períodos de grande exigência são a germinação-emergência e floração-enchimento de grãos, nos quais tanto o excesso quanto o déficit são prejudiciais para o estabelecimento uniforme da cultura na lavoura e para o desenvolvimento de folhas, flores e abortamento de vagens, resultando em redução do rendimento de grãos (MANOSSO et al., 2005). Por meio desses resultados, inferese que para esta cultivar, a modificação do arranjo proporcionou melhor disposição de plantas e, conseqüentemente, melhor sombreamento do solo, o que pode ter favorecido seu desenvolvimento e menor sensibilidade ao baixo volume de precipitação.

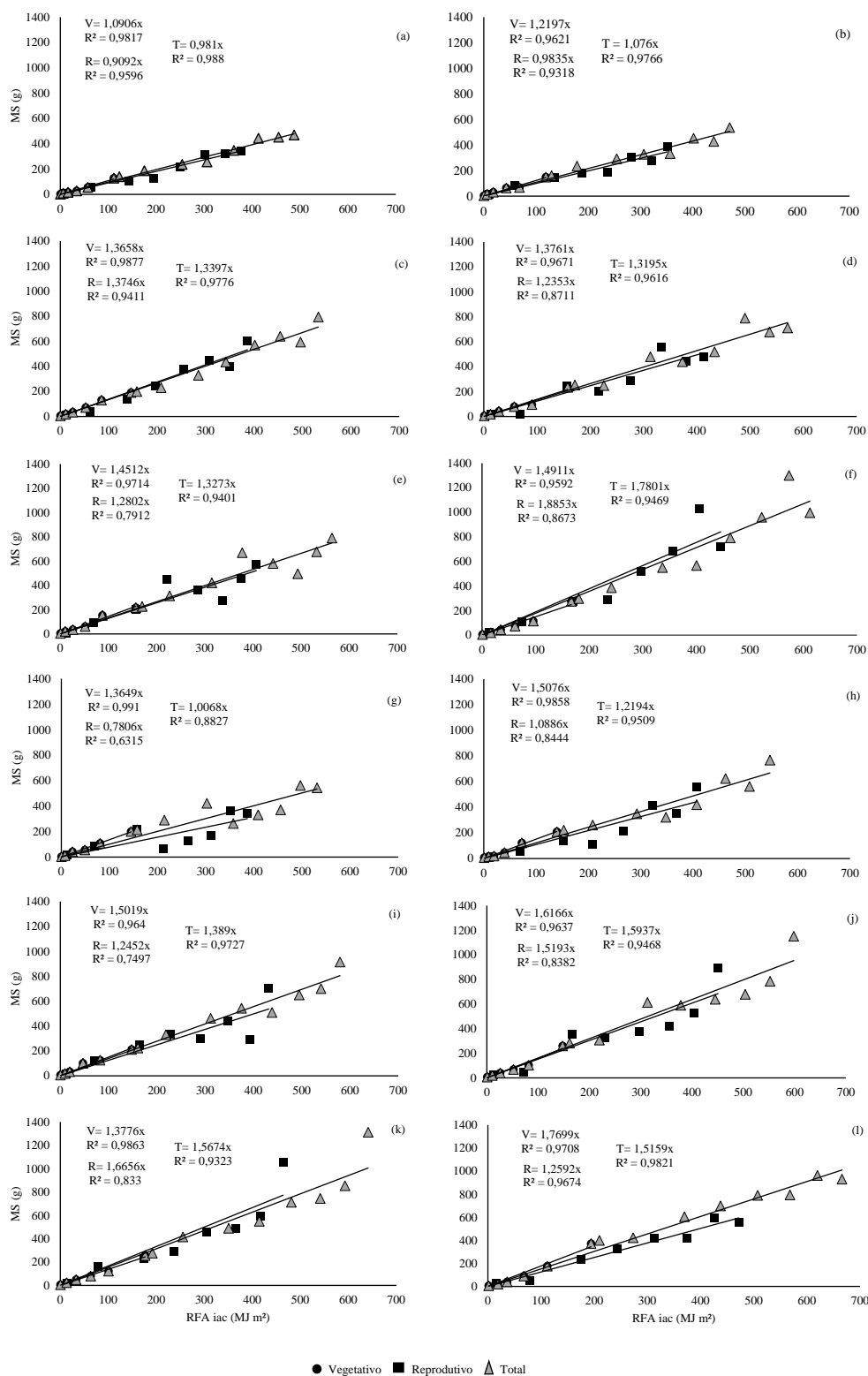
Em culturas anuais, como a soja, as práticas de manejo como a época de semeadura, a escolha da cultivar, o espaçamento e a densidade de semeadura são fatores que influenciam no desenvolvimento e, conseqüentemente, no rendimento da de grãos (MAUAD, et al., 2010).

Uma das formas de aumentar a interceptação de radiação e, conseqüentemente, o rendimento de grãos é por meio da escolha adequada do arranjo de plantas a ser usado (ARGENTA et al., 2001).

As cultivares utilizadas neste estudo apresentam características distintas, sendo que a cultivar BMX Ativa RR possui hábito de crescimento determinado, com porte baixo e poucas ramificações. Já a BMX Turbo RR tem hábito de crescimento indeterminado, com porte médio e alta ramificação, fatores que determinam a resposta diferenciada aos arranjos espaciais de cultivo. A redução do espaçamento para 20 cm e as linhas pareadas aumentaram a eficiência de conversão das cultivares, justificadas pela maior interceptação de radiação solar, o melhor aproveitamento da radiação nas folhas do terço médio e inferior das plantas nos cultivos pareados e possivelmente o melhor aproveitamento da radiação difusa pelo aumento do índice de área foliar.

Logo, o arranjo espacial de plantas torna-se uma importante prática no manejo dos cultivos, em virtude da resposta apresentada nos diferentes arranjos, visto que a interceptação de radiação solar é um dos fatores determinantes no crescimento e desenvolvimento de qualquer vegetal (CARON et al., 2012). Assim sendo, a quantidade de energia convertida em matéria seca, depende da porcentagem de absorção e da eficiência da utilização da energia interceptada (ARGENTA et al., 2001).

O melhor arranjo espacial é aquele que proporciona distribuição mais uniforme de plantas por área, possibilitando melhor utilização da radiação, nutrientes e água (ARGENTA et al., 2001). Quando conduzidas linhas de semeadura pareadas, a entrelinha externa de maior espaçamento possibilita uma compensação pela proximidade da entrelinha interna. Isto proporciona uma melhor distribuição das folhas ao longo da haste principal da planta, além de aumentar o tempo de fechamento ou reduzir o fechamento das entrelinhas de cultivo da soja, o



**Figura 1.** Eficiência de conversão ( $\text{g MJ}^{-1}$ ) nas fases vegetativa (V), reprodutiva (R) e o total (T) do ciclo das cultivares BMX Ativa RR e BMX Turbo RR nos arranjos espaciais de 45 cm (a,g), cruzado (b,h), 20 cm (c,i), 20x40 cm (d,j), 20x60 cm (e,k), 20x80 cm (f,l) respectivamente. Frederico Westphalen, RS, 2015.

que favorece as folhas do terço inferior da cultura, principalmente pela penetração facilitada dos produtos fitossanitários (HOLTZ et al., 2014).

A interceptação de radiação solar é dependente do índice de área foliar (IAF) e do coeficiente de extinção luminosa (k). A soja apresenta elevada área foliar e rápida emissão de folíolos, o que causa um grande incremento na interceptação de radiação, rápido sombreamento do solo e de plantas competidoras (CASAROLI et al., 2007). Porém, este aumento no IAF ocorre até um determinado momento, após ocorre auto sombreamento acarretando também, um aumento do coeficiente de extinção luminosa, e assim, mesmo aumentando o IAF, não aumenta a interceptação de radiação.

O valor crítico de IAF da soja, para que possa interceptar 95% da radiação solar, é de 3,9 (SCHÖFFEL; VOLPE, 2001), sendo que, este valor é influenciado pelo estágio fenológico da cultura e pelos arranjos espaciais usados, como observado por HEIFFIG et al. (2006), que ao trabalhar com soja em diferentes espaçamentos e densidades de plantas, verificou que o IAF foi máximo no estágio R5, correspondente ao início do enchimento de grãos, nos espaçamentos de 0,20 a 0,60 m entre linhas.

Neste caso, o IAF máximo atingido pela cultivar BMX Ativa RR foi de 5,0 em R5, e para BMX Turbo RR 5,4 em R3, ambas no arranjo pareado de 20x80 cm (Tabela 1). Estes estádios são de suma importância no desenvolvimento da soja, pois a partir do enchimento de grãos intensifica-se a demanda da planta por água, nutrientes e fotoassimilados (HEIFFIG et al., 2006). De maneira geral, observou-se aumento linear no IAF no decorrer dos estádios e superioridade nos estádios reprodutivos.

Para a cultivar BMX Turbo RR, o IAF máximo foi nos estádios de R1 e R3, quando apresentou o maior IAF do cultivo, com 5,8 no arranjo de 20x80 cm, igualando-se ao 20x60 cm com 4,8, diferenciando se dos demais arranjos. Assim como para a cultivar anterior, esta também apresentou um aumento linear do IAF com o passar dos estádios. O arranjo espacial

de linhas pareadas trouxe acréscimo no IAF das duas cultivares. Da mesma forma, verificou-se resposta positiva com a eficiência de conversão apresentada anteriormente, sendo que estes arranjos foram superiores aos demais.

**Tabela 1.** Índice de área foliar das cultivares de soja BMX Ativa RR e BMX Turbo RR em diferentes estádios fenológicos e em arranjos espaciais distintos. Frederico Westphalen, RS, 2015.

Arranjos espaciais (cm)	Estádios fenológicos						
	BMX Ativa RR						
	V7	V8	R1	R2	R3	R4	R5
45	0,7 aB	1,1 abB	2,4 bA	3,0 bA	2,6 bA	2,4 bA	2,9 bcA
cruzado	1,1 aB	1,0 bB	2,2 bAB	2,5 bA	2,5 bA	2,5 bA	2,0 cAB
20	1,3 aB	1,7 aB	2,5 bAB	2,5 bAB	2,7 bA	3,2 abA	3,0 bcA
20x40	1,4 aC	1,7 aBC	3,4 abAB	2,7 bB	4,1 aA	3,1 bAB	3,3 bAB
20x60	1,1 aC	2,3 aB	3,2 abAB	3,4 abAB	3,7 abAB	4,3 aA	3,3 bAB
20x80	1,1 aC	2,0 aC	3,8 aA	4,3 aA	4,8 aA	3,7 abB	5,0 aA
	BMX Turbo RR						
	V7	V8	R1	R2	R3	R4	R5
45	1,0 aB	1,7 aB	3,0 bAB	3,5 aA	3,7 bA	2,2 bAB	2,3 aAB
cruzado	0,9 aB	2,0 aAB	3,1 bA	3,1 aA	3,3 bA	2,7 bA	3,2 aA
20	1,6 aB	1,8 aB	3,1 bAB	3,9 aA	4,3 abA	4,1 abA	3,3 aAB
20x40	1,1 aB	1,5 aB	3,6 bA	3,5 aA	5,0 abA	4,2 abA	4,3 aA
20x60	1,3 aB	2,2 aB	4,8 abA	4,7 aA	4,5 abA	4,0 abA	4,4 aA
20x80	1,8 aC	3,0 aBC	5,8 aA	4,1 aB	5,4 aA	5,4 aA	4,7 aA

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.



O aumento da eficiência de conversão possivelmente está relacionado ao maior IAF associado ao maior aproveitamento da radiação difusa disponível nesses arranjos. Por ser multidirecional, a radiação difusa é mais eficiente na penetração do dossel vegetal, quando comparada à direta que é unidirecional causando um auto sombreamento das folhas inferiores (BURIOL et al., 1995).

ELLI et al. (2013), ao avaliarem a interceptação de radiação solar em soja sob arranjos espaciais distintos, observaram nos arranjos de 20x40, 20x60 e 20x80 cm, interceptação de 92% em estágio R5, onde inicia o enchimento de grãos, sendo de suma importância que a planta intercepte o máximo de radiação para que haja conversão desta energia solar em fitomassa. Os mesmos autores afirmam que o arranjo espacial e o estágio fenológico influenciam na interceptação de radiação global da cultura da soja, pois houve variação nas respostas em função dos dois fatores.

A produtividade de grãos das cultivares seguiu a mesma tendência, onde os arranjos de 20 cm e de linhas pareadas foram os mais produtivos (Tabela 2). Quando considerado o arranjo de 45 cm como o recomendado, apenas para a cultivar BMX Turbo RR nos arranjos de 20 e 20x40 houve diferença significativa superior na produtividade. Corrobora com os resultados anteriores, pois a eficiência de conversão e o índice de área foliar também foram maiores nesses arranjos.

Arranjos espaciais reduzidos levam a maiores produtividades como já observado por MATTIONI et al., 2008. Já as linhas pareadas possibilitam que a planta compense o menor espaçamento da entrelinha interna com o da entrelinha externa, o que favorece o seu crescimento e desenvolvimento, levando ao aumento da produtividade (CARVALHO, 2014). Assim, devem ser realizados mais estudos avaliando arranjos espaciais, levando em consideração cultivares e anos agrícolas para melhor avaliação e possível recomendação.

**Tabela 2.** Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) das cultivares de soja BMX Ativa RR e BMX Turbo RR em diferentes arranjos espaciais, comparados ao arranjo recomendado de 45 cm. Frederico Westphalen, RS. 2015.

Arranjos espaciais (cm)	BMX Ativa RR	BMX Turbo RR
45	2744,6	2114,0
cruzado	2196,3	3091,3
20	2748,0	3771,3 <sup>+</sup>
20x40	3266,0	3884,0 <sup>+</sup>
20x60	2671,7	2871,6
20x80	2522,3	3046,0

<sup>+</sup>Diferença significativa superior ao arranjo recomendado (45 cm) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro.

### Conclusão

Maiores eficiências de conversão das cultivares são obtidos nos arranjos pareados. Os arranjos pareados e 20 cm, por ter o maior índice de área foliar e possivelmente maior interceptação da radiação difusa aumentam a eficiência de conversão e a produtividade das cultivares BMX Ativa RR e BMX Turbo RR.

### Referências Bibliográficas

ARGENTA, G. et al. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. **Ciência Rural**, v.31, n.6, p. 1075-1084, 2001.

ASSIS, F. N. de; MENDEZ, M. E. G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 24(7):797-800, julho 1989.

BURIOL, G. A. et al. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, v.25, n.1, p. 1-4, 1995.

CARVALHO, L. C. et al. Novas técnicas de arranjos de semeadura na cultura da soja. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.9, n.17; p.1940. 2013.

CARVALHO, M. M. **Influência de sistemas de semeadura na população de pragas e nas características morfofisiológicas em cultivares de soja**. 2014. 66p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu/SP.

CARON, B. O. et al. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 36, n.5, p. 833-842, 2012.

CARON, B. O. et al. Eficiência do uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* A. ST. HIL. cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. **Ciência florestal**, v.24, n.2, abr.-jun., 2014.

CASAROLI, D. et al. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura da soja - uma revisão. **Revista da FZVA**. v. 14, n.2, p. 102-120, 2007.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas**. Área plantada, produtividade e produção - Soja. 2014.

ELLI, E. F. et al. Influência de diferentes estádios fenológicos e arranjos espaciais na interceptação de radiação global em cultivares de soja. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer, v.9, n.16, p. 1288-1297. 2013.

FAGAN, E. B. et al. Lei de Beer e sua relação com a ecofisiologia de plantas. **Cerrado Agrociências**. UNIPAM, (4):78-97, nov. 2013.

HEIFFIG, L. S. et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v.65, n.2, p.285-295, 2006.

HOLTZ, V. et al. Deposição de calda de pulverização e produtividade da soja cultivada em diferentes arranjos espaciais. **Ciência Rural**, v.44, n.8, ago, 2014.

KUNZ, J. H. et al. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.42, n.11, p.1511-1520, nov. 2007.

MANOSSO, P. C. A produtividade de soja, trigo e milho e suas relações com a precipitação pluviométrica no município de Apucarana-PR no período de 1968 a 2002. **GEOGRAFIA Revista do Departamento de Geociências**, v.14, n.1, jan./jun. 2005.

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

MATTIONI, F. et al. Arranjos espaciais, plantas concorrentes e características agronômicas de soja (*Glycine max* (Linn) Merrill) em cultivo orgânico. **Revista Brasileira Agrocência**, v.14, p.21-32, 2008.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production em Britain. **Proceedings of the Royal Society of London**, v.281, n.980, p.277-294, 1977.

PENGELLY, B. C. et al. Radiation interception and the accumulation of biomass and nitrogen by soybean and three tropical anual forage legumes. **Field Crops Research**, v.63, p.99-112, 1999.

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.

SILVA, P. R. A. et al. Rentabilidade na semeadura cruzada da cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.3, p.293-297, 2015.

VARLET-GRANCHER, C. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par um couvert végétal. **Agronomie**, v.9, n.5, p.419-439, 1989.

### **ARTIGO III – Elementos meteorológicos associados a modelos agronômicos para estimar a duração de fases fenológicas em soja**

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi calcular a soma térmica acumulada, avaliar modelos agronômicos e determinar os dados meteorológicos associados às diferentes fases fenológicas de três cultivares de soja, submetidas a arranjos espaciais em dois anos agrícolas. Dois experimentos a campo, foram conduzidos na área experimental do Laboratório de Agroclimatologia (LAGRO) da Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, campus Frederico Westphalen/RS nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014. O delineamento experimental usado foi de blocos casualizados em esquema fatorial 6x3x3, ou seja, seis arranjos espaciais (45, cruzado, 20, 20x40, 20x60 e 20x80 cm) e três cultivares de ciclos e hábito de crescimento distintos (BMX Ativa RR/determinada, BMX Turbo RR/indeterminada e BMX Potência RR/indeterminada) com três repetições. As semeaduras foram realizadas nos dias 28/11/2012 e 02/12/2013. As fases fenológicas avaliadas foram: semeadura – emergência; emergência – vegetativo final; vegetativo final – floração plena; floração plena – maturação fisiológica. A partir disto, relacionaram-se a duração de cada fase com os elementos meteorológicos: temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, precipitação, radiação solar e soma térmica acumulada. A soma térmica acumulada nas diferentes fases fenológicas de cultivares de soja varia de acordo com o ano agrícola, e é determinante na duração e seguimento das fases. É o fator que mais influenciou em todas as fases de desenvolvimento das cultivares, contribuindo com mais de 95% nos modelos de regressão. Os dados meteorológicos associados a fenologia identificam as diferentes condições meteorológicas as quais a cultura é exposta e demonstram a plasticidade que esta espécie apresenta.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L, Merrill, temperatura, soma térmica, fenologia, modelos matemáticos.

**Abstract:** The objective of this study was to calculate the accumulated thermal sum, evaluate regression models and determine the meteorological variables associated the different phenological phases of three soybean cultivars submitted to spatial arrangements in two years. Two field experiments in the experimental area of Agroclimatology Laboratory (LAGRO) of the University Federal of Santa Maria / UFSM, campus Frederico Westphalen/RS in the growing seasons of 2012/2013 and 2013/2014. The experimental design was a randomized complete block design with factorial 6x3x3, ie six spatial arrangements (45, crossed, 20, 20x40, 20x60 and 20x80cm), and three varieties of different cycles and growth habit (BMX Ativa RR / determined BMX Turbo RR / indeterminated and BMX Potência RR / indeterminated), with three repetitions. Sowing was held on 11/28/2012 and 02/12/2013. The phenological phases evaluated were: sowing – emergence; emergence - final vegetative; final vegetative - full bloom; full bloom - physiological maturity. The duration of each crop phase was correlated with the weather elements: maximum temperature, minimum temperature, average temperature, precipitation, solar radiation and thermal sum accumulated. The thermal sum accumulated is an important meteorological element in the development of crops. For soybeans is determining the duration and follow-up of phenological phases. It is the weather element that most influenced at all phases of development of cultivars, contributing over 95% in the regression models, which are appropriate tools for determining the

duration of the phases and the soybean crop development. Meteorological data associated with phenology identify the different weather conditions which culture is exposed, and demonstrate the plasticity that this species has.

**Key-words:** *Glycine max* L, Merrill, temperature, thermal sum, phenology.

## Introdução

A cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) é um dos principais cultivos de verão na região sul do Brasil. Pelo seu alto teor de proteína e óleo, é destaque tanto no mercado nacional quanto internacional, influenciando diretamente na economia de pequenos, médios e grandes estabelecimentos rurais. Nos últimos anos, a sua produção tem sido crescente, devido à aplicação constante de tecnologias no cultivo, como materiais genéticos de elevado potencial produtivo e a profissionalização dos produtores rurais (MELO, 2003). Inúmeros fatores podem influenciar o seu desenvolvimento, dentre os quais, os elementos meteorológicos, como radiação solar, fotoperíodo, temperatura e precipitação. Estes são os responsáveis pelas variações de curto prazo na produtividade da cultura, devido às alterações meteorológicas de cada ano (FERREIRA; COSTA; SOUZA, 2007).

Fatores de manejo, empregados antes e durante o cultivo, como espaçamento e densidade de plantas, adubação, aplicação de agrotóxicos, dentre outros, também podem afetar significativamente o seu desenvolvimento. O desenvolvimento das espécies é acompanhado através de escalas fenológicas. Para a cultura da soja, a escala utilizada é a de Fehr e Caviness (1977) que leva em consideração o número de nós, florescimento, tamanho e enchimento das vagens, se estendendo até a maturação fisiológica da espécie, classificando os estádios em vegetativos ou reprodutivos.

Um dos elementos meteorológicos que mais influencia o desenvolvimento da soja é a temperatura do ar. Dentre os índices mais utilizados para relacionar o grau de desenvolvimento de uma cultura com a temperatura do ar são os graus-dia (GUBIANI, 2005). O conceito de graus-dia ou soma térmica, e graus-dia acumulados ou soma térmica acumulada foi introduzido para superar inadequações no calendário para predizer eventos fenológicos, bem como para o zoneamento agroclimático das culturas (WAGNER, et al. 2011).

Além de influenciarem o desenvolvimento, os elementos meteorológicos precipitação pluvial, radiação solar global, insolação e as temperaturas mínima, média e máxima são importantes parâmetros nos trabalhos de zoneamento agrícola, indicação de épocas de semeadura, irrigação, determinação de produtividade, crédito e seguros agrícolas (CARGNELUTTI FILHO, et al. 2009). Uma maneira de avaliar a contribuição dos elementos no desenvolvimento das espécies é por meio de modelos matemáticos.

Esta é uma das tendências da ciência agrônômica que objetiva detectar os fatores que possam limitar o cultivo, influenciando no potencial produtivo das espécies, além de prever rendimentos em função das condições em que as plantas se desenvolvem. Assim, modelos agrometeorológicos relacionados com crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas em diferentes ambientes podem fornecer informações que permitem ao setor agrícola tomar decisões importantes (CARON, et al. 2007).

Uma decisão muito importante no estabelecimento da cultura é a escolha da cultivar que melhor se adapta às condições da região. Neste processo, uma das principais características a ser avaliada é o hábito de crescimento. As cultivares com hábito de crescimento determinado paralisam o crescimento vegetativo quando o florescimento inicia. O crescimento indeterminado é caracterizado pela continuação do crescimento vegetativo após o florescimento (SILVEIRA; BONETTI, 2014). Até poucos anos atrás, as cultivares semeadas no Brasil apresentavam características de crescimento determinado, ciclo médio a tardio e eram semeadas a partir de meados de novembro e durante dezembro.

Atualmente, as de crescimento indeterminado destacam-se entre as cultivares de soja semeadas no Brasil, passando ao uso de cultivares com grupo de maturidade relativa de 5,0 a 6,5, com concentração de semeadura entre meados de outubro e novembro. Além disso, permite em alguns locais, a segunda safra de verão (STRIEDER et al. 2013). Devido às variações meteorológicas que ocorrem a cada ano, as cultivares com hábito indeterminado têm se destacado no mercado brasileiro, pois o florescimento ocorre em um período maior. Estas mudanças fazem valer a importância de estudos sobre o crescimento e desenvolvimento de novas cultivares de soja.

O objetivo deste trabalho foi calcular a soma térmica acumulada, avaliar modelos agrônômicos e definir os dados meteorológicos associados às diferentes fases fenológicas de três cultivares de soja, submetidas a arranjos espaciais em dois anos agrícolas.

## **Material e Métodos**

Dois experimentos a campo foram conduzidos na área experimental do Laboratório de Agroclimatologia (LAGRO) da Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, campus Frederico Westphalen/RS (27° 23' 48" S, 53° 25' 45" O, 490 m de altitude), nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é Cfa. Os dados meteorológicos foram coletados em estação automática pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), vinculada ao LAGRO.

O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento Passo Fundo, e é classificado como latossolo vermelho distrófico típico, textura argilosa, profundo e bem drenado (EMBRAPA, 2006). O delineamento experimental usado foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 6x3x3, ou seja, seis arranjos espaciais (45, cruzado, 20, 20x40, 20x60 e 20x80 cm) e três cultivares de ciclos e hábitos de crescimento distintos (BMX Ativa RR/determinada, BMX Turbo RR/indeterminada e BMX Potência RR/indeterminada) com três repetições. Cada parcela tinha 6,75 m<sup>2</sup>.

As semeaduras foram realizadas nos dias 28/11/2012 e 02/12/2013, com a adubação de base aplicada de forma manual, segundo as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004). Considerou-se como emergência quando 50% das plântulas estiveram emersas, em média oito dias após a semeadura, e o raleio foi realizado sete dias após a emergência para uma densidade de 250,000 plantas ha<sup>-1</sup>, em todos os tratamentos. A floração foi definida quando 50% das plantas apresentaram flores abertas na haste principal, caracterizando o estágio R2. O manejo para os controles de insetos, doenças e plantas daninhas foi realizado de acordo com as recomendações para a cultura (RPSRS, 2012).

As fases fenológicas avaliadas foram: semeadura – emergência; emergência – vegetativo final; vegetativo final – floração plena; e floração plena – maturação fisiológica. A partir disto, relacionaram-se a duração de cada fase para cada cultivar com os seguintes elementos meteorológicos: temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, precipitação, radiação solar e soma térmica acumulada.

Ao avaliar os dados de temperatura, observou-se que a temperatura mínima durante o cultivo nunca foi abaixo de 10°C, e por isso a soma térmica diária (STd, °C dia<sup>-1</sup>) foi calculada de acordo com Gilmore e Rogers (1958): STd: (Tmed – Tb) , 1 dia, em que: Tmed é a temperatura média do ar, calculada pela média entre as temperaturas instantâneas do ar de cada dia, Tb é a temperatura base da soja considerada 10°C (PIPER, et al. 1996). A soma térmica acumulada (STa, °C dia<sup>-1</sup>) em cada fase fenológica foi calculada por: STa:  $\sum$ STd. A avaliação da soma térmica acumulada em cada fase fenológica foi ilustrada através de figuras para cada cultivar e ano agrícola.

Para as estimativas de equações de cada fase, utilizou-se o método geral para regressão linear múltipla, através da opção *Stepwise* em nível de 15% de probabilidade de erro, através do programa computacional *Statistical Analysis System Learning Edition 8,0* (SAS, 2003). As variáveis independentes de entrada foram os elementos meteorológicos diários: temperatura máxima (Tmáx, °C), temperatura mínima (Tmín, °C), temperatura média (Tmed, °C), precipitação (Prec, mm), radiação solar (Rad, cal) e soma térmica acumulada (Sta, °C dia<sup>-1</sup>); variáveis dependentes, as fases fenológicas: semeadura – emergência; emergência – vegetativo final; vegetativo final – floração plena; e floração plena – maturação fisiológica de cada cultivar. Como as cultivares não diferiram no número de dias para as diferentes fases entre os arranjos espaciais, foram estimados os modelos apenas para as cultivares. Quando as cultivares diferiram no número de dias em cada fase fenológica, foram estimados modelos específicos por cultivar. A temperatura máxima e a mínima, a média das temperaturas, a soma da radiação solar e precipitação e a soma térmica acumulada em cada fase foram ilustradas em figuras, associando-as a fenologia da cultura.

## Resultados e Discussão

A temperatura média mensal durante o período de cultivo foi semelhante nos dois anos agrícolas, variando de 17° a 25°C (Figura 1). As temperaturas mais altas ocorreram nos meses de dezembro e janeiro nos dois anos e as temperaturas médias estiveram dentro da faixa ótima para o desenvolvimento da soja, que varia de 20 a 33°C (SETIYONO, et al. 2007), de acordo com o estágio fenológico. Este elemento meteorológico está diretamente ligado ao crescimento e desenvolvimento das plantas, influenciando principalmente na quantidade de soma térmica acumulada durante o cultivo.

Nos cultivos de soja, a duração das fases de desenvolvimento são reguladas simultaneamente pela temperatura e fotoperíodo, mas a fenologia do cultivo depende da resposta genotípica a ambos os fatores (KANTOLIC, 2008). Segundo Rodrigues, et al. (2001), as respostas a esses dois fatores não são lineares durante o ciclo da cultura, pois existem subperíodos que ela é incapaz de perceber esses sinais, como por exemplo, o período entre a emergência e a primeira folha verdadeira, quando as plantas de soja são incapazes de perceber o estímulo ao fotoperíodo.



A temperatura do ar influencia os processos de germinação, crescimento, floração, frutificação, nas reações químicas da respiração e da fotossíntese, absorção de água e nutrientes (SEDIYAMA, 2009), mecanismos de abertura e fechamento de estômatos, distribuição de fotoassimilados e na expansão foliar (ANDRIOLO, 2000) influenciando em todas as fases fenológicas da cultura (ROCHA, et al. 2012). Atua diretamente no rendimento, no porte da planta, na altura de inserção do primeiro legume e em outras características da planta de soja (ROCHA, 2009). A absorção de nutrientes aumenta com a elevação da temperatura até um ótimo, na faixa de 35 a 40°C, além da qual decresce, e por fim, em consequência das alterações sofridas pelas enzimas envolvidas no processo de absorção, cessa (THOMAS; COSTA, 2010). Temperaturas do ar baixas podem provocar atrasos nas diferentes fases, enquanto o aumento excessivo pode provocar florescimento precoce, distúrbios na frutificação e acelerar a maturação dos grãos, ocasionando reduções na produção (GUIMARÃES, et al. 2008).

A soma térmica acumulada, constituída pela temperatura, é um importante índice bioclimático para o crescimento e desenvolvimento das espécies. O acúmulo de soma térmica nas fases fenológicas de semeadura - emergência, emergência - final do vegetativo, final do vegetativo - florescimento pleno e florescimento pleno - maturação, para cada cultivar e ano, são apresentados na Figura 2. A fase de semeadura – emergência, compreendida por nove dias em ambos os anos e cultivares, obteve um acúmulo maior de soma térmica no primeiro ano agrícola em relação ao segundo para todas as cultivares. O primeiro ano agrícola caracterizou-se por temperaturas máximas e mínimas maiores que o segundo ano nesta fase, com consequente soma térmica maior, onde o acumulado foi de 155,45°C dia<sup>-1</sup> em 2012/2013, comparados ao ano 2013/2014 com 129,55°C dia<sup>-1</sup>, para todas as cultivares. Esta fase apresenta significativa influência da temperatura do solo e do ar. Segundo Ferreira, Costa e Souza (2007), para que a semente de soja alcance uma taxa de germinação satisfatória, ela necessita de temperatura do solo em torno de 30°C e a temperatura do ar entre 15 e 20°C.

A fase de emergência – vegetativo final compreendeu entre 44 a 54 dias, variando com o ano e a cultivar, e a soma térmica acumulada variou de 600 a 800°C dia<sup>-1</sup>. As cultivares estudadas, apresentaram maior número de dias nesta fase no primeiro ano. Esta fase é de suma importância na definição do início da floração, pois o número de dias desta fase depende da influência da temperatura e do fotoperíodo, existindo um limite de duração do dia suficientemente curto para induzir a floração e suficientemente longo para impedi-la (RODRIGUES, et al. 2001). Na fase de emergência – vegetativo final, a ocorrência de temperaturas baixas pode aumentar o intervalo de tempo até o florescimento (RODRIGUES, et al. 2001). O florescimento só ocorre com temperaturas acima de 13°C (FARIAS, et al. 2007). Nesta fase a temperatura afeta o desenvolvimento, estabelecimento e crescimento de órgãos reprodutivos da soja (KANTOLIC, 2008), provocando danos à floração e diminuindo a capacidade de retenção de legumes (FARIAS, et al. 2009).

A soma térmica acumulada na fase vegetativo final – floração plena foi similar nos dois anos para as cultivares BMX Ativa RR e BMX Turbo RR, pois nos dois anos o período foi de sete dias. Já a cultivar BMX Potência RR acumulou mais soma térmica no segundo ano, nesta fase. O florescimento apresenta a temperatura ótima de 32,4°C e a máxima de 41,9°C (SETYONO, et al. 2007), e é importante que nesta fase as temperaturas sejam adequadas, caso contrário podem elevar o abortamento de flores. Da floração plena a maturação fisiológica apenas a cultivar BMX Turbo RR apresentou diferenças entre os anos de cultivo, acumulando maior

soma térmica no segundo ano com  $956,15^{\circ}\text{C dia}^{-1}$  em 69 dias, comparados ao primeiro ano com  $729,65^{\circ}\text{C dia}^{-1}$  em 61 dias. Nesta fase, no segundo ano agrícola, além do período ser maior observou-se dias com temperaturas máximas muito elevadas, o que aumentou a soma térmica acumulada no período.

A maturação pode ser acelerada pela ocorrência de altas temperaturas, Quando associada a alta umidade, contribuiu para a diminuição da qualidade das sementes, e quando associada a temperatura com a baixa umidade, predispõem às sementes a danos mecânicos (FARIAS, et al. 2007). Setiyono, et al. (2007) ao estimarem as temperaturas mínima, ótima e máxima para diferentes estádios da cultura da soja, observaram diferentes repostas a temperatura, onde as mínimas variaram de 0 a  $7^{\circ}\text{C}$ , as ótimas de 21 a  $32^{\circ}\text{C}$  e as máximas de 38 a  $45^{\circ}\text{C}$ . Estes valores afirmam a plasticidade que esta cultura apresenta, adaptando-se a diversas condições climáticas.

O método mais adequado para caracterizar o crescimento e desenvolvimento das plantas é a soma térmica, pois leva em consideração o efeito da temperatura do ar (STRECK, et al. 2005). A importância desta já foi estudada em diversas culturas como a batata (PAULA, et al. 2005), o milho (WAGNER, et al. 2011) e o tomate (PALARETTI, et al. 2012). A disponibilidade térmica tem influência direta sobre o desenvolvimento fenológico das plantas, de tal forma que locais ou períodos mais quentes determinam desenvolvimento mais rápido destas. Logo, em regiões ou mesmo épocas com temperaturas mais elevadas, há maior precocidade no desenvolvimento (BERGAMASCHI, et al. 2006). As diferenças de data de floração entre os anos, apresentadas por uma cultivar, são devido às variações de temperatura (EMBRAPA, 2004).

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os modelos de regressão para cada fase fenológica da soja nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, respectivamente. De maneira geral, observa-se uma porcentagem de contribuição muito grande da soma térmica acumulada em todas as fases, com valores acima de 95%. As cultivares de soja atuais tendem a responder à temperatura e, conseqüentemente, à soma térmica, o que pode ser comprovado com os resultados deste trabalho.

No ano agrícola 2012/2013, é possível inferir que a fase de semeadura – emergência foi influenciada pela soma térmica acumulada, temperatura máxima e radiação, nesta ordem de importância, destacando a contribuição da soma térmica com 99,95%. Resposta semelhante encontrada na fase de emergência – vegetativo final, onde a soma térmica acumulada representou 99,95 e 99,96% para as cultivares BMX Ativa RR e BMX Turbo RR, e BMX Potência RR, conseqüentemente. Observou-se também que nesta fase a temperatura mínima contribuiu com 0,01% para os dois modelos. No período de florescimento, compreendido pela fase de vegetativo final – floração plena, a soma térmica acumulada foi determinante, contribuindo com 97,55%. Esta fase por ser mais sensível a inúmeros fatores ambientais, também teve a contribuição da temperatura mínima, temperatura média, temperatura máxima e radiação solar. Este período foi compreendido por sete dias para todas as cultivares.

A fase de floração plena – maturação fisiológica para a cultivar BMX Ativa RR foi determinada pela soma térmica acumulada com 99,51%, acompanhada da radiação com 0,07% e a precipitação com 0,03%. Para a cultivar BMX Turbo RR, a soma térmica acumulada, radiação, temperatura máxima, mínima, média, precipitação representaram 99,49%, 0,06%, 0,01%, 0,01% 0,04%, 0,01%, respectivamente. E para a cultivar

BMX Potência RR a soma térmica acumulada, radiação, temperatura média, temperatura mínima e temperatura máxima representaram 99,54%, 0,06%, 0,03%, 0,01%, 0,02%, respectivamente.

Os modelos de regressão do ano agrícola de 2013/2014 são apresentadas na Tabela 2. A soma térmica acumulada foi a que mais contribuiu em todas as fases, representando 99% dos modelos. Na semeadura emergência, período de nove dias, a soma térmica, a temperatura máxima, radiação e temperatura mínima contribuíram com 99,87%, 0,02%, 0,01%, 0,01% respectivamente. Assim como no ano anterior, na fase de emergência – vegetativo final a soma térmica acumulada e a temperatura mínima foram as mais representativas, contribuindo com 99,93% e 0,02% para as cultivares BMX Ativa RR e BMX Turbo RR, e 99,95% e 0,02% para a cultivar BMX Potência RR. Neste ano a precipitação contribuiu nesta fase com 0,01% para ambas cultivares.

A fase de vegetativo final – floração plena foi determinada por inúmeros elementos. Para as cultivares BMX Ativa RR e BMX Turbo RR foram a soma térmica acumulada, temperatura mínima, média, máxima e a precipitação. Já para a cultivar BMX Potência RR a soma térmica acumulada, a temperatura média e a temperatura mínima. Na fase de floração plena – maturação fisiológica para a cultivar BMX Ativa RR a soma térmica acumulada contribuiu com 99,29% e a radiação com 0,06%. A cultivar BMX Turbo RR teve contribuição de 99,44%, 0,12% e 0,01% da soma térmica acumulada, radiação e temperatura mínima, respectivamente. E para a cultivar BMX Potência RR a soma térmica acumulada contribuiu com 99,76%, a radiação com 0,05% e a temperatura máxima com 0,01%.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os dados meteorológicos nas fases fenológicas avaliadas nos anos de 2012/2013 e 2013/2014, respectivamente. Ocorreram diferenças entre as cultivares e os anos agrícolas devido as condições meteorológicas de cada ano e o número de dias de cada fase. Os menores períodos foram as fases de semeadura – emergência com nove dias nos dois anos para todas as cultivares, e vegetativo final – florescimento pleno, que variou de seis a oito dias. O primeiro ano caracterizou-se pelas maiores temperaturas máximas em praticamente todas as fases, variando entre 34° e 35°C. As temperaturas mínimas também foram as menores em comparação ao ano de 2013/2014, em praticamente todas as fases. A radiação solar, a precipitação e a soma térmica acumulada tiveram influência direta do número de dias compreendido em cada fase, e variaram de acordo com o ano e a cultivar. Os períodos de emergência – vegetativo final e florescimento pleno – maturação fisiológica foram as maiores fases e, conseqüentemente, apresentaram os maiores acumulados de radiação e precipitação.

Dentre as fases estudadas, os períodos de semeadura – emergência, e vegetativo final – florescimento pleno são de extrema importância para o desenvolvimento da cultura. Estas representam o bom estabelecimento da cultura no campo e o início da fase reprodutiva, onde as necessidades hídricas e térmicas, respectivamente, influenciam no desenvolvimento de flores (KANTOLIC, 2008). Nos dois anos estudados, a fase de semeadura – emergência apresentou volume de precipitação favorável. Neste mesmo período, a soma térmica acumulada foi de 155,45°C e 129,55°C dia<sup>-1</sup> o que condicionou às plantas boa disponibilidade térmica e hídrica para o desenvolvimento inicial. Não menos importante, as fases de emergência – vegetativo final e florescimento pleno – maturação fisiológica também apresentaram condições satisfatórias para o crescimento e desenvolvimento da cultura. Nas diferentes fases, é possível inferir que a soma térmica acumulada necessária

para a seguimento do desenvolvimento variou de acordo com o ano e a cultivar, mas confirma a resposta positiva da cultura a este índice bioclimático.

A soma térmica é uma medida de tempo fisiológico estudada para fins de modelagem constituída por unidades térmicas e resume-se na estimativa da energia disponível para a planta, em cada dia (OMETTO, 1981). Segundo este conceito, as plantas desenvolvem-se à medida que acumulam unidades térmicas acima de uma temperatura-base, ao passo que, abaixo desta temperatura, o crescimento cessa (MIRANDA; JUNIOR, 2010). A temperatura é a constituinte da soma térmica, e sua influência no desenvolvimento da soja já foi estudada por alguns autores (RODRIGUES, et al. 2001; FARIAS, et al. 2007; FERREIRA; COSTA; SOUZA, 2007; SETIYONO, et al. 2007; KANTOLIC, 2008). Segundo Farias, et al. (2009), a soja se adapta melhor às regiões onde as temperaturas oscilam entre 20°C e 30°C, sendo que a temperatura ideal para seu desenvolvimento está em torno de 30°C. Esta também controla a duração das fases da cultura, acelerando ou atrasando o seu desenvolvimento (SETIYONO, et al. 2007).

Wagner, et al. (2011), ao trabalharem com milho, concluíram que a utilização da soma térmica é uma metodologia prática que pode ser utilizada para previsão de duração de fases fenológicas e do ciclo de desenvolvimento desta cultura. Palaretti, et al. (2012) observaram duração da fase semeadura – colheita do tomateiro de 127 dias com exigência térmica de 1603,25°C dia<sup>-1</sup> acumulados, demonstrando a importância deste método na estimativa de duração das fases, adequando-se melhor do que o uso do calendário civil. Ferreira, Costa e Souza (2007), ao trabalharem com estimativa de modelos no rendimento de soja, concluíram que o uso de modelos foi importante no entendimento das causas de variações na produtividade, em razão das variáveis climáticas. O uso de modelos agronômicos possibilita inferir a importância dos elementos meteorológicos no desenvolvimento das culturas, definindo os mais importantes para as fases fenológicas.

### **Conclusão**

A soma térmica acumulada nas diferentes fases fenológicas de cultivares de soja varia de acordo com o ano agrícola, e é determinante na duração e seguimento das fases. É o fator que mais influenciou em todas as fases de desenvolvimento das cultivares, contribuindo com mais de 95% nos modelos de regressão. Os dados meteorológicos associados a fenologia identificam as diferentes condições meteorológicas as quais a cultura é exposta e demonstram a plasticidade que esta espécie apresenta.

### **Referências Bibliográficas**

ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.18, Supl, p,26-33, 2000.

BAYER – *De primeira sem dúvida* – FOX, 2015. Disponível em <<http://www.deprimeirasemduvida.com.br/estacao?id=2>> Acesso em 12 jan 2015.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. Brasília, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. T.; RADIN, B. Variabilidade temporal e espacial da precisão das estimativas de elementos meteorológicos no Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.4, p.962-970, jul, 2009.

CARON, B. O.; MANFRON, P. A.; LÚCIO, A. D.; SCHMIDT, D.; MEDEIROS, S. L. P.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; NETO, D. D. Equações de estimativa da fitomassa da parte aérea da alfaca. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.37, n.5, p.1248-1254, set-out, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (CQFS RS/SC). *Manual de adubação e calagem para estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*, SBRS/NRS. 10 ed. Porto Alegre, 2004, 400p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. *Tecnologias de produção de soja, região central do Brasil*. Embrapa Soja, Sistemas de Produção, n° 1, 2004. Disponível em <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/exigencias.htm>> Acesso em 18 dez 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2 ed, Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006, 412 p.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. *Circular Técnica 48*. EMBRAPA, Londrina/PR, setembro, 2007.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja, In: MONTEIRO, J. E. B. A. *Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília: INMET, 2009. Cap. 15, p,261-278.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. *Stages of soybean development*. Ames: Iowa State University of science and technology 1977, 11p, (Special Report, 80).

FERREIRA, W. P. M.; COSTA, L. C.; SOUZA, C. de F. Modelo de estimativa de produtividade de soja {*Glycine max* (L.) Merrill} em função da variabilidade da temperatura. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.15, n.4, p.400-407, out./dez., 2007.

GILMORE, E. C. JR.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*, Madison, v.50, n.10, p.611-615, 1958.

GUBIANI, E. I. *Crescimento e rendimento da soja em resposta a épocas de semeadura e arranjo de plantas*. Dissertação de mestrado. 77pág. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, abril, 2005.

GUIMARÃES, F. de S.; REZENDE, P. M. de; CASTRO, E. M., de; CARVALHO, E. de A.; ANDRADE, M. J. B. de; CARVALHO, E. R. Cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para cultivo de verão na região de Lavras – MG. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, n.32, n.4, p.1099-1106, jul/ago., 2008.

KANTOLIC, A. Control ambiental y genético de la fenología del cultivo de soja: impactos sobre el rendimiento y la adaptación de genótipos. *Ver. Facultad de Agronomía, UBA*, 28 (1): 63-88, 2008.

MELO, R. W. de. *Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa do rendimento da soja para o estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de mestrado. 100 pág. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, janeiro, 2003.

MIRANDA, M. N.; JÚNIOR, J. H. C. Soma térmica para o subperíodo semeadura-maturação de feijão cv. carioca em Colorado do Oeste, Rondônia. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.40, n.2, p.180-185, abr./jun. 2010.

OMETTO, J. C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: ed. Agronômica Ceres, 440p., 1981.

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E.; SILVA, D. J. H. da; CECON, P. R. Soma térmica para o desenvolvimento dos estádios do tomateiro. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. v. 6, n. 3, p. 240-246, 2012.

PAULA, F. L. M. de; STRECK, N. A.; HELDWEIN, A. B.; BISOGNIN, D. A.; PAULA, A. L. de; DELLAI, J. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.). *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.5, p.1034-1042, set-out, 2005.

PIPER, E. et al. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Science*, Madison, v.36 p.1606-1614, 1996.

ROCHA, R. S. *Avaliação de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude*. Dissertação de mestrado. 61pág. Universidade Federal do Piauí. Abril, 2009.

ROCHA, R. S.; SILVA, J. A. L. da; NEVES, J. A.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. de C.; Desempenho agrônomico de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina – PI. *Revista Ciência Agrônômica*, v.43, n.1, p.154-162, jan-mar, 2012.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. da. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n.3, p.431-437, mar, 2001.

RPSRS [Reunião de Pesquisa de soja da Região Sul] *Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina safras 2012/2013 e 2013/2014./XXXIX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul*; organizada por Leila Maria Constamilan [et al.] - Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012, 142 p.

SAS LEARNING EDITION. *Getting started with the SAS Learning Edition*. Cary, 200p, 2003.

SEDIYAMA, T. (Org.). *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina, Paraná: Mecenas, 2009. 314 p.

SETIYONO, T. D.; WEISS, A.; SPECHT, J.; BASTIDAS, A. M.; CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A. Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. *Field Crops Research*. 100, 257-271, 2007.

SILVEIRA, D. C.; BONETTI, L. P. Introdução do hábito de crescimento indeterminado na cultura da soja gaúcha. *Anais XIX Seminário interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão*. 2014. Disponível em <<http://www.unicruz.edu.br/seminario/anais/2014/GRADUA%c7%c3O/Resumo%20Simples%20Agrarias%20Exatas%20e%20Ambientais/>> Acesso em 13 jan 2015.

STRECK, N.; TIBOLA, T.; LAGO, I.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; ZAGO, V. Estimativa do plastocrono em meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado sob estufa plástica em diferentes épocas do ano. *Ciência Rural*, v.35, n.6, p.1275-1280, 2005.

STRIEDER, M. L.; PIRES, J. L. F.; COSTAMILAN, L. M.; FAGANELLO, A.; VARGAS, L.; BERTAGNOLLI, P. F.; CORASSA, G. M. Rendimento de grão de soja em diferentes arranjos de planta, safra 2012/2013. In: COSTAMILAN, L. M.; CARRÃO-PANIZZI, M. C. (ed.). *Soja: Resultados de pesquisa 2012/2013*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, outubro 2013. 19p. *Documentos Online*, 145.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos, In: THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. (Org.). *Soja manejo para alta produtividade de grãos*. Porto Alegre: Evangraf, 2010, p. 13-30.

WAGNER, M. V.; JADOSKI, S. O.; LIMA, A. dos S.; MAGGI, M. F.; POTT, C. A.; SUCHORONCZEK, A. Avaliação do ciclo fenológico da cultura do milho em função da soma térmica em Guarapuava, Sul do Brasil. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v.4, n.1, Jan/Abr. (2011).

Figura 1. Temperatura média do ar (°C) mensal dos anos agrícolas 2012/2013 e 2013/2014. UFSM, Frederico Westphalen/RS, 2015.

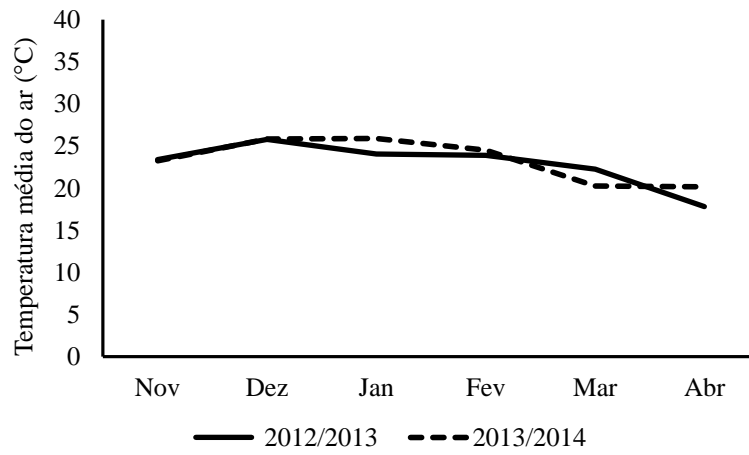




Figura 2. Soma térmica acumulada nas fases fenológicas de semeadura – emergência (S – E); emergência – vegetativo final (E - VN); vegetativo final – floração plena (VN – FP); e florescimento pleno – maturação fisiológica (FP – MF) para as cultivares BMX Ativa RR, BMX Turbo RR e BMX Potência RR nos anos agrícolas 2012/2013 e 2013/2014. UFSM, Frederico Westphalen/RS, 2015.

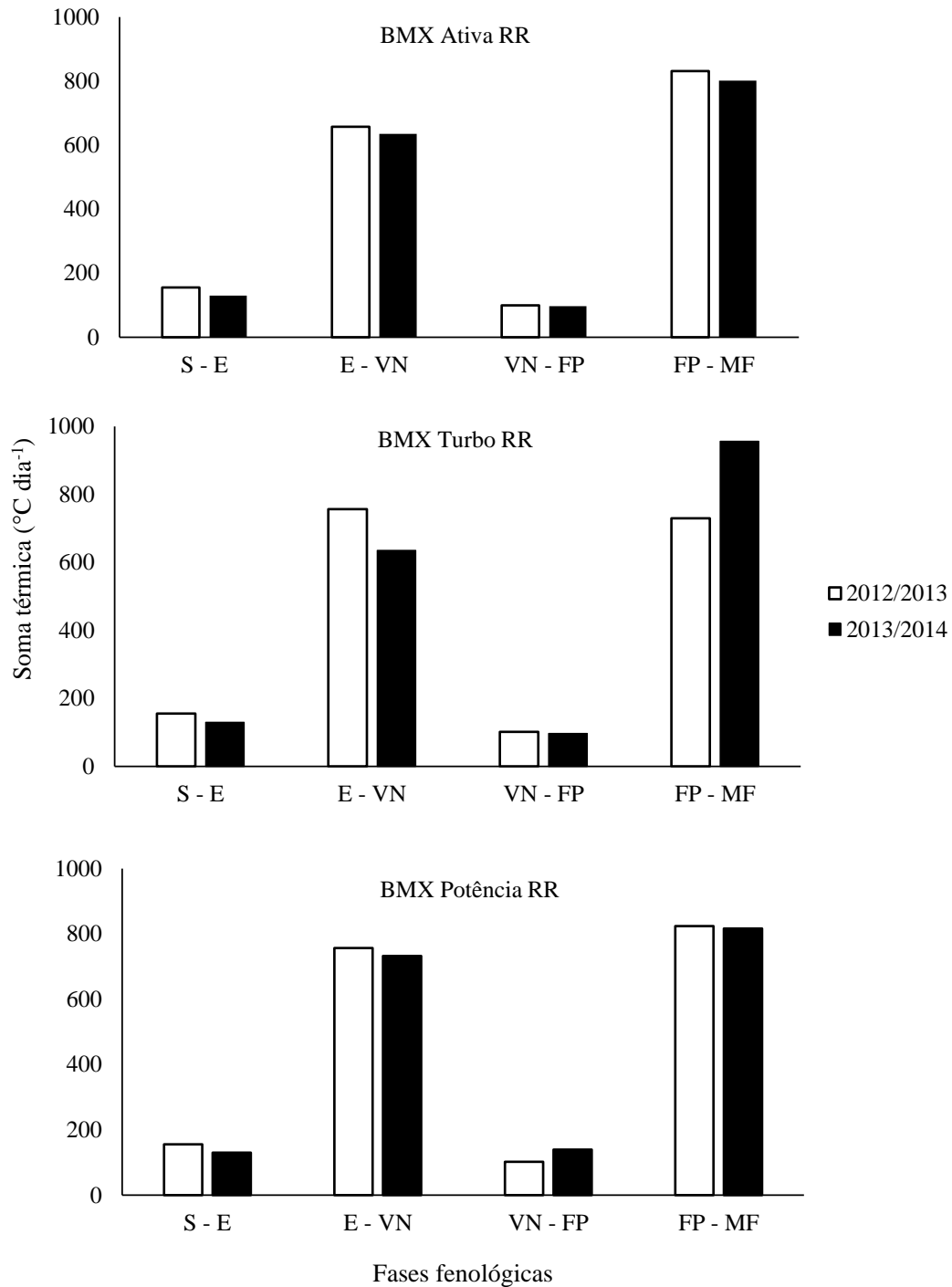


Tabela 1. Modelos de regressão para as fases fenológicas da cultura da soja, para as cultivares BMX Ativa RR, BMX Turbo RR e BMX Potência RR: semeadura – emergência (S – E), emergência – vegetativo final (E – VN), vegetativo final – floração plena (VN- FP), floração plena – maturação fisiológica (FP – MF), no ano agrícola de 2012/2013. Frederico Westphalen/RS, 2015.

Fases fenológicas	Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	% de contribuição
S – E	$= 1,47818 + 0,00054417\text{Rad} - 0,08457\text{Tmáx} - 0,03127\text{Tmín} + 0,05857\text{Tméd} + 0,00222\text{Prec} + 0,06542\text{Sta}$	99,98	Sta= 99,95% Tmáx= 0,02% Rad= 0,01%
E – VN	ATIVA= $0,30696 + 0,02644\text{Tmáx} - 0,08860\text{Tmín} + 0,07205\text{Sta}$	99,96	Sta= 99,95% Tmín= 0,01%
	TURBO/POTÊNCIA= $0,27183 + 0,02410\text{Tmáx} - 0,08465\text{Tmín} + 0,07217\text{Sta}$	99,97	Sta= 99,96% Tmín= 0,01%
VN – FP	$= - 0,01746 - 0,00081950\text{Rad} - 0,15366\text{Tmáx} - 0,19011\text{Tmín} + 0,35998\text{Tméd} + 0,07097\text{Sta}$	98,52	Sta= 97,55% Tmín= 0,15% Tméd= 0,11% Tmáx= 0,32% Rad= 0,39%
FP - MF	ATIVA= $- 4,99062 + 0,00383\text{Rad} + 0,02630\text{Prec} + 0,08341\text{Sta}$	99,61	Sta= 99,51% Rad= 0,07% Prec= 0,03%
	TURBO= $- 1,722039 + 0,00371\text{Rad} + 0,28640\text{Tmáx} + 0,46330\text{Tmín} - 0,84025\text{Tméd} + 0,01403\text{Prec} + 0,08452\text{Sta}$	99,62	Sta= 99,49% Rad= 0,06% Tmáx= 0,01% Tmín= 0,01% Tméd= 0,04% Prec= 0,01%
	POTÊNCIA = $0,04078 + 0,00300\text{Rad} + 0,30216\text{Tmáx} + 0,35168\text{Tmín} - 0,84540\text{Tméd} + 0,08540\text{Sta}$	99,66	Sta= 99,54% Rad= 0,06% Tméd= 0,03% Tmín= 0,01% Tmáx= 0,02%

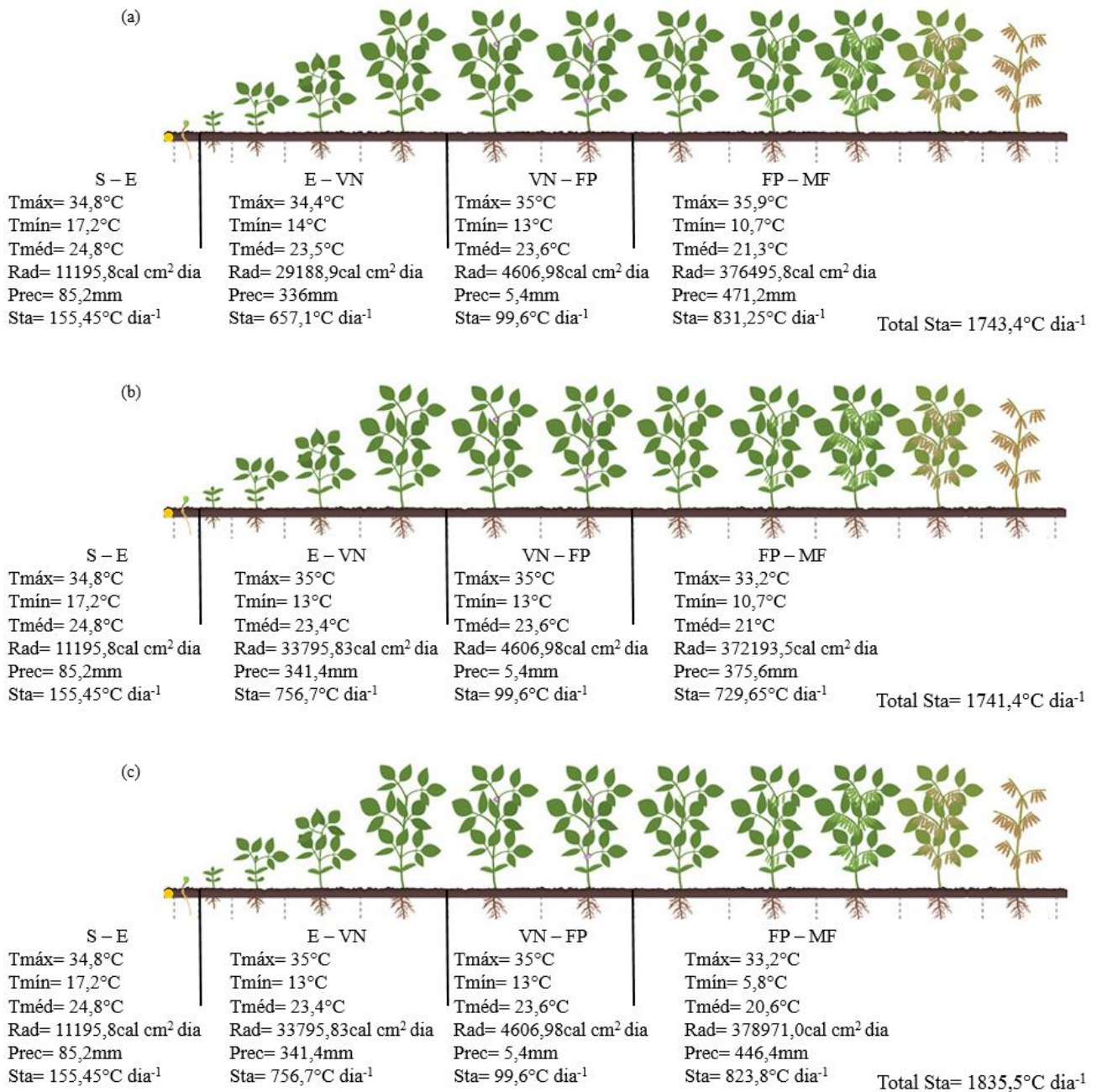
Rad= radiação solar; Tmáx= temperatura máxima; Tmín= temperatura mínima; Tméd= temperatura média; Prec= precipitação pluvial; Sta= soma térmica acumulada

Tabela 2. Modelos de regressão para as fases fenológicas da cultura da soja, para as cultivares BMX Ativa RR, BMX Turbo RR e BMX Potência RR: semeadura – emergência (S – E), emergência – vegetativo final (E – VN), vegetativo final – floração plena (VN- FP), floração plena – maturação fisiológica (FP – MF), no ano agrícola de 2013/2014. Frederico Westphalen/RS, 2015.

Fases fenológicas	Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	% de contribuição
S – E	$= 0,28312 - 0,00056012\text{Rad} - 0,04391\text{Tmáx} + 0,05118\text{Tmín} + 0,07517\text{Sta}$	99,91	Sta= 99,87% Tmáx= 0,02% Rad= 0,01% Tmín= 0,01%
E – VN	ATIVA/TURBO= $1,82252 + 0,00077211\text{Rad} + 0,03523\text{Tmáx} - 0,06135\text{Tmín} - 0,10192\text{Tméd} - 0,00380\text{Prec} + 0,06670\text{Sta}$ POTÊNCIA= $2,42211 + 0,00058487\text{Rad} - 0,09892\text{Tmín} - 0,04353\text{Tméd} - 0,00469\text{Prec} + 0,06643\text{Sta}$	99,96 99,98	Sta= 99,93% Tmín= 0,02% Prec= 0,01% Sta= 99,95% Tmín= 0,02% Rad= 0,01%
VN – FP	ATIVA/TURBO= $0,26926 - 0,72514\text{Tmáx} - 1,36901\text{Tmín} + 1,94492\text{Tméd} + 0,18399\text{Prec} + 0,07696\text{Sta}$ POTÊNCIA= $0,59083 + 0,00021369\text{Rad} + 0,03003\text{Tmín} - 0,04763\text{Tméd} + 0,05733\text{Sta}$	1,00 99,98	Sta= 99,69% Tmín= 0,24% Tméd= 0,01% Tmáx= 0,05% Prec= 0,01% Sta= 99,95% Tméd= 0,02% Tmín= 0,01%
FP - MF	ATIVA= $- 5,49591 + 0,00306\text{Rad} + 0,07458\text{Sta}$ TURBO= $- 8,59509 + 0,00460\text{Rad} + 0,07937\text{Tmín} + 0,07672\text{Sta}$ POTÊNCIA= $- 6,71679 + 0,00171\text{Rad} + 0,07488\text{Tmáx} + 0,07962\text{Sta}$	99,35 99,57 99,82	Sta= 99,29% Rad= 0,06% Sta= 99,44% Rad= 0,12% Tmín= 0,01% Sta= 99,76% Rad= 0,05% Tmáx= 0,01%

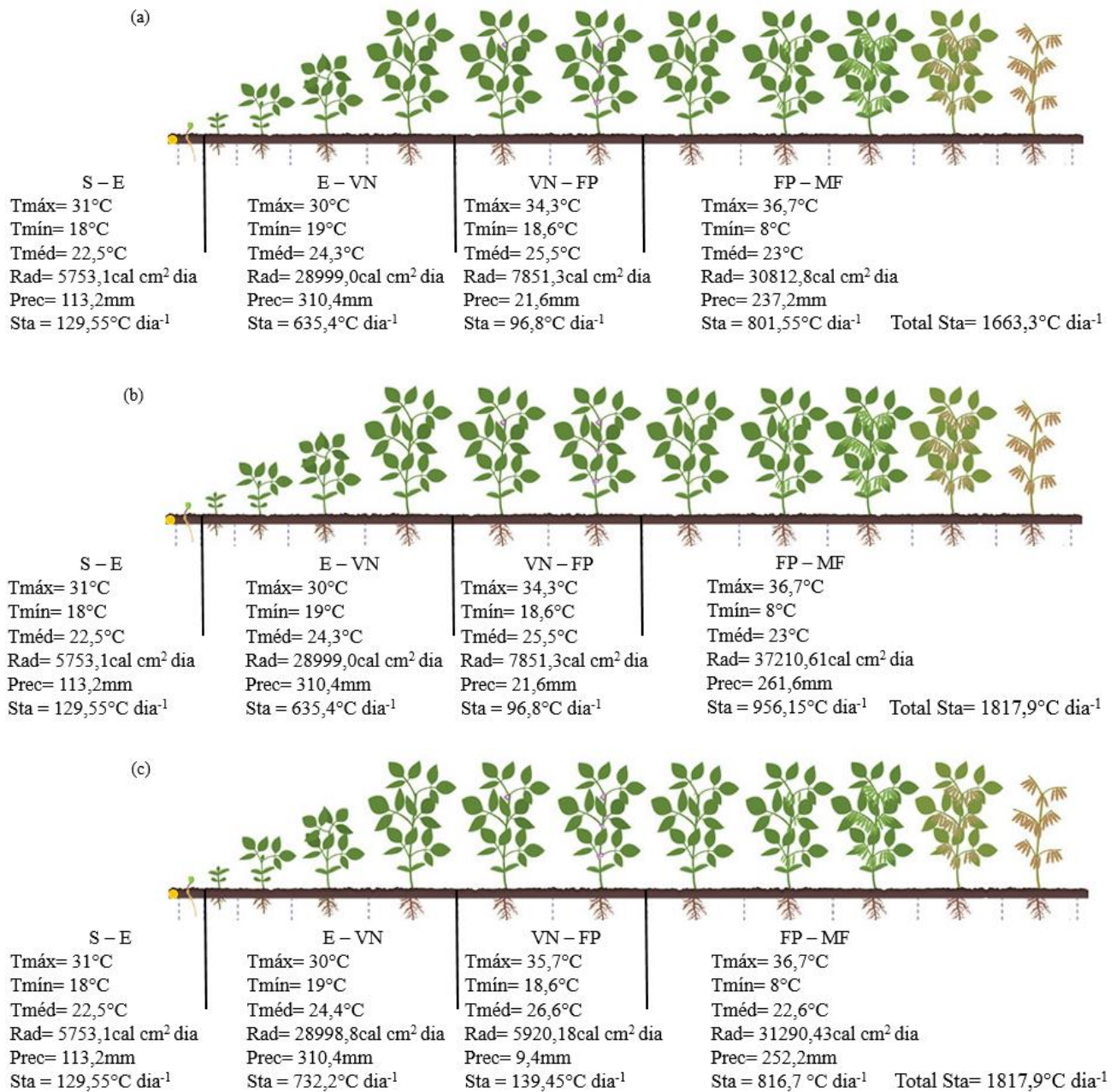
Rad= radiação solar; Tmáx= temperatura máxima; Tmín= temperatura mínima; Tméd= temperatura média; Prec= precipitação pluvial; Sta= soma térmica acumulada

Figura 3. Elementos meteorológicos e índice bioclimático nas fases de desenvolvimento da cultura da soja S-E (semeadura-emergência), E-VN (emergência-vegetativo final), VN-FP (vegetativo final-florescimento pleno) e FP-MF (florescimento pleno-maturação fisiológica) no ano agrícola 2012/2013 para as cultivares BMX Ativa RR (a), BMX Turbo RR (b) e BMX Potência RR (c). Frederico Westphalen/RS, 2015.



Fonte: Adaptado de BAYER (2015).

Figura 4. Elementos meteorológicos e índice bioclimático nas fases de desenvolvimento da cultura da soja S-E (semeadura-emergência), E-VN (emergência-vegetativo final), VN-FP (vegetativo final-florescimento pleno) e FP-MF (florescimento pleno-maturação fisiológica) no ano agrícola 2013/2014 para as cultivares BMX Ativa RR (a), BMX Turbo RR (b) e BMX Potência RR (c). Frederico Westphalen/RS, 2015.



Fonte: Adaptado de BAYER (2015).

## **DISCUSSÃO**

O estudo das cultivares BMX Ativa RR, BMX Turbo RR e BMX Potência RR foi de grande importância por apresentarem ciclos e hábitos de crescimento distintos, e por serem cultivares recomendadas atualmente para esta região (MAPA, 2015). Os arranjos espaciais são importantes ferramentas de manejo na cultura da soja. Estes proporcionam uma disposição de plantas diferenciada no solo. O melhor arranjo espacial é aquele que proporciona distribuição mais uniforme de plantas por área (ARGENTA et al. 2001).

A cultura da soja respondeu positivamente a alteração dos arranjos espaciais nas avaliações realizadas. De maneira geral o arranjo espacial de linhas pareadas beneficiou as três cultivares, tanto na velocidade de emissão de nós (plastocrono), como na eficiência de conversão. Os menores valores de plastocrono significam uma redução na soma térmica necessária para a emissão do próximo nó, o que é positivo, pois a espécie alcança seus estádios fenológicos de maneira mais rápida, possibilitando que a cultura permaneça menos tempo no campo onde estará sujeita a intempéries climáticas e ataque de pragas e doenças.

A eficiência de conversão foi maior nos arranjos pareados, inferindo que a modificação da disposição das linhas de semeadura foi positiva para a conversão da radiação em matéria seca. Este tipo de arranjo pode ter influenciado na interceptação da radiação difusa existente no dossel vegetativo, que por ser multidirecional, torna-se mais eficiente na penetração do dossel (BURIOL et al. 1995). O índice de área foliar também tem influência direta na eficiência, pois esta é dependente da área foliar da planta. Maior área foliar, maior será a interceptação de radiação. Isto ocorrerá até determinado momento, onde o auto sombreamento natural da espécie será responsável por diminuir a interceptação de radiação. A interceptação de radiação solar é um dos fatores determinantes no crescimento e desenvolvimento de qualquer vegetal (CARON et al. 2012).

Uma maneira de avaliar a contribuição dos elementos meteorológicos no desenvolvimento das espécies, é por meio do uso de modelos matemáticos. Esta é uma das tendências da ciência agrônoma que objetiva detectar os fatores que possam limitar o cultivo, influenciando no potencial produtivo das espécies, além, de prever rendimentos em função das condições em que as plantas se desenvolvem. Assim, modelos agrometeorológicos relacionados com crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas em diferentes ambientes podem fornecer informações que permitem ao setor agrícola tomar decisões importantes (CARON et al. 2007).

Para os anos agrícolas e cultivares estudadas, infere-se que as cultivares apresentam resposta a soma térmica acumulada durante o cultivo. Este índice bioclimático contribuiu com mais de 95% nos modelos gerados, nos dois anos e para todas as cultivares. Os dados meteorológicos e o índice bioclimático associados a fenologia da espécie variam de acordo com as condições meteorológicas de cada ano e suas características como, duração do ciclo e hábito de crescimento.

Este estudo tem importância fundamental nas decisões de implantação da cultura da soja. Adequar o melhor arranjo de plantas e a escolha da cultivar que melhor se adapte a esta mudança é relevante para que se possa alcançar a máxima eficiência técnica e econômica da espécie. Para tanto, sugere-se a continuação de estudos com arranjos espaciais de linhas pareadas e a resposta de cultivares a esta modificação. Para estudos de eficiência de conversão, sugere-se a quantificação da radiação difusa em arranjos espaciais.

## **CONCLUSÃO**

Conclui-se que as cultivares apresentaram resposta diferenciada de acordo com o ano agrícola e com o arranjo espacial utilizado. O arranjo de linhas pareadas proporcionou resposta positiva para todas as cultivares estudadas, sugerindo a continuidade de estudos com este arranjo. Para que possa ser recomendado este sistema de semeadura é necessário maiores estudos em diferentes anos agrícolas, com diferentes cultivares e espaçamentos de entrelinhas internas e externas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGENTA, G. et al. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. **Ciência Rural**, v.31, n.6, p. 1075-1084, 2001.

BURIOL, G. A. et al. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, v.25, n.1, p. 1-4, 1995.

CARON, B. O. et al. Equações de estimativa da fitomassa da parte aérea da alfaca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.5, p.1248-1254, set-out, 2007.

CARON, B. O. et al. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 36, n.5, p. 833-842, 2012.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, terceiro levantamento, v.2, safra 2014/2015, dezembro, 2014. Brasília: CONAB, 2014. Publicação Mensal. Online.

FERREIRA, W. P. M.; COSTA, L. C.; SOUZA, C. de F. Modelo de estimativa de produtividade de soja {*Glycine max* (L.) Merrill} em função da variabilidade da temperatura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.15, n.4, p.400-407, out./dez., 2007.

MAPA – Ministério da Agricultura. **Cultivares indicadas para a safra 2014/2015**. Disponível em < <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola/cultivares-de-zoneamento-por-safra>> Acesso em 14 jan 2015.

SETIYONO, T. D. et al. Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. **Field Crops Research**. 100, 257-271, 2007.