UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal

Dissertação

SELETIVIDADE DE HERBICIDAS NA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES UMIDADES DO SOLO

LARIZA BENEDETTI

Pelotas, 2015

LARIZA BENEDETTI

SELETIVIDADE DE HERBICIDAS NA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES UMIDADES DO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fisiologia Vegetal.

Orientador: Dr. Sidnei Deuner

Coorientador: Ph.D. Luis Antonio de Avila

Pelotas, 2015

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B462s Benedetti, Lariza

Seletividade de herbicidas na cultura da soja em função de diferentes umidades do solo. / Lariza Benedetti ; Sidnei Deuner, orientador ; Luis Antonio de Avila, coorientador. — Pelotas, 2015.

75 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, 2015.

1. Glycine max. 2. Mudanças climáticas. 3. Solo. 4. Controle químico. I. Deuner, Sidnei, orient. II. Avila, Luis

Elaborada por Maria Beatriz Vaghetti Vieira CRB: 10/1032

Banca Examinadora

_____

Dr. André Andres

_____

Drª. Letícia Carvalho Benitez

_____

Ph.D. Edinalvo Rabaioli Camargo (Suplente)

_____

Dr. Sidnei Deuner (Orientador)

A minha família:

LAURO ANTÔNIO (pai), ZILDA (mãe), LEONARDO (irmão), João (avô), Maria (avó), João Carlos (tio, *in memoriam*), Catarina e Silvério (avós, *in memoriam*) pelo carinho, amor, respeito e compreensão, sem os quais não teria conseguido realizar mais esta etapa de minha vida.

OFEREÇO E DEDICO

“Nunca tenha certeza de nada, porque a sabedoria começa com a dúvida.”

(Sigmund Freud)

Agradecimentos

A Deus pela vida, proteção e sabedoria durante todos os momentos.

Aos meus pais Lauro e Zilda pelo amor, apoio incondicional, carinho, compreensão, por estarem sempre presentes e pelo incentivo.

Ao meu irmão pela confiança, amor e por ser um amigo essencial.

Ao meu namorado Mateus Michels de Araújo e sua família pelo respeito, carinho, amor e compreensão.

A todos os meus familiares e amigos, que mesmo à distância, me incentivaram e sempre desejaram sorte em minha vida.

A Universidade Federal de Pelotas, especialmente ao Departamento de Botânica e ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

Ao professor e pesquisador Dr. Sidnei Deuner pela confiança, atenção, orientação, sugestões e aprendizado durante o curso de mestrado.

Ao professor e pesquisador Ph.D. Luis Antonio de Avila pela coorientação, aprendizado, auxílio e contribuições prestadas neste caminho.

A pós-doutora Cristina Cuchiara pela paciência, auxílio e revisão da dissertação.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal da UFPel pelo aprendizado.

Aos meus colegas de Pós-graduação, em especial aos colegas do Laboratório, pela amizade e colaboração na condução dos experimentos, sem os quais não seria possível a realização do trabalho proposto.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito do trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

Resumo

BENEDETTI, Lariza. **Seletividade de herbicidas na cultura da soja em função de diferentes umidades do solo.** 2015. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

As mudanças climáticas estão cada vez mais afetando a qualidade e a quantidade da produção agrícola mundial. No estado do Rio Grande do Sul, a busca por alternativas que maximizem a produtividade e contribuam para a sustentabilidade econômica do ecossistema várzea surge como uma justificativa para a utilização da cultura da soja nestas áreas, visto que é uma das principais commodities do agronegócio brasileiro. O controle químico de plantas daninhas se constitui no método de manejo mais adotado, porém, pouco se sabe como a cultura da soja responde ao uso de herbicidas em diferentes umidades do solo. Desta forma, o presente estudo teve por objetivo avaliar respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de soja após a aplicação de herbicidas recomendados para a cultura em três níveis de umidade do solo. O experimento foi arranjado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (7x3) com quatro repetições. Foi utilizada a cultivar de soja BMX Potência RR, cultivadas em vasos (8L), mantendo-se três plantas por vaso as quais, no estádio V3 foram submetidas a três umidades do solo: Capacidade de campo, Solo seco (50% abaixo da capacidade de campo) e Solo saturado (50% acima da capacidade de campo), seguido da aplicação dos tratamentos herbicidas: Glyphosate, Sulfentrazone, S-metolachlor, Glyphosate+Sulfentrazone, Glyphosate+S-metolachlor, Glyphosate+ Sulfentrazone+S-metolachlor, além do tratamento sem herbicida. Aos sete, 14 e 28 dias após a aplicação (DAA) foram avaliados o índice de clorofilas, flavonoides, balanço de nitrogênio e as trocas gasosas no terceiro trifólio completamente desenvolvido. Neste período coletou-se ainda, material foliar para avaliação de potencial osmótico, teor de prolina, peróxido de hidrogênio, peroxidação de lipídios e atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX). Para os pigmentos e índice de balanço de nitrogênio houve pequena variação entre os tratamentos, já as trocas gasosas foram mais afetadas nas plantas em solo seco, principalmente aos 14 e 28 DAA, com efeito acentuado pela presença dos herbicidas. Aos sete DAA o herbicida Glyphosate em solo seco resultou em maior ativação das enzimas antioxidantes SOD e CAT, além da maior produção de peróxido de hidrogênio estando, provavelmente, vinculado ao aumento do estresse oxidativo causado por este herbicida. Entretanto, após 28 dias da aplicação, aumenta a síntese de prolina neste tratamento, o que leva ao ajuste osmótico, e consequente menor atividade enzimática. Em solo saturado e capacidade de campo as respostas desencadeadas pelos herbicidas Glyphosate, Sulfentrazone, S-metolachlor não seguem um padrão, porém, de maneira geral, levam a um menor estresse comparado ao solo seco. Os resultados deste estudo mostram que, embora a variação na umidade do solo, altera o metabolismo da cultura da soja, a aplicação de herbicidas em condições de solo seco ou saturado acentua este efeito, podendo resultar em prejuízos para a cultura.

Palavras-chave: *Glycine max*; mudanças climáticas; solo; controle químico.

Abstract

BENEDETTI, Lariza. **Herbicide selectivity on soybean crop in soil humidity different function.** 2015. 75 f. Dissertation (Master degree) – Post-Graduation Program in Plant Physiology. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Climate change is increasingly affecting the quality and quantity of the world's agricultural production. In the state of Rio Grande do Sul, the search for alternatives that maximize productivity and contribute to the economic sustainability of the wetland ecosystem emerges as a justification for the use of the soybean crop in these areas, since it is one of the main commodities of Brazilian agribusiness. Chemical weed control constitutes the most widely adopted management method, however, little is known as the soybean crop responds to the use of herbicides in different soil moisture. Thus, this study aimed to evaluate physiological and biochemical responses in soy after applying herbicides recommended plants for growing in three soil moisture levels. The experiment was arranged in a randomized design in a factorial arrangement (7x3) with four replications. It was used to cultivate soy BMX Power RR, grown in pots (8L), keeping three plants per pot which, in stage V3 were subjected to three soil moisture: field capacity, Dry soil (50% below capacity field) and saturated soil (50% above the field capacity), followed by herbicide treatment: Glyphosate, Sulfentrazone, S-metolachlor, Glyphosate + Sulfentrazone, Glyphosate + S-metolachlor, Glyphosate + Sulfentrazone + S-metolachlor, beyond without herbicide treatment. At seven, 14 and 28 days after application (DAA) were evaluated chlorophyll content, flavonoids, nitrogen balance and gas exchange in the third trefoil fully developed. This time collected is still, leaf material for evaluation of osmotic potential, proline content, hydrogen peroxide, lipid peroxidation and activity of antioxidant enzymes superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX). For pigments and nitrogen balance index was little variation between treatments, since gas exchange were more affected in dry soil plants, especially at 14 and 28 DAA, with marked effect by the presence of herbicides. At seven DAA the herbicide Glyphosate in dry soil resulted in greater activation of antioxidant enzymes SOD and CAT, as well as increased production of hydrogen peroxide and is probably linked to increased oxidative stress caused by this herbicide. However, after 28 days from the application, increased synthesis of proline in this treatment, which leads to osmotic adjustments and consequent lower enzymatic activity. In saturated soil and field capacity responses triggered by Glyphosate herbicides, Sulfentrazone, S-metolachlor does not follow a pattern, but, in general, lead to lower stress compared to dry soil. The results of this study show that although the variation in soil moisture, changes the soybean crop metabolism, the application of herbicides in dry soil conditions or saturated accentuates this effect and may result in damage to the crop.

Keywords: Glycine max; climate changes; soil; chemical control.

Lista de Figuras

Figura 1. Plantas de soja no dia da aplicação dos tratamentos herbicidas e a disposição dos tratamentos de níveis de umidade: Solo saturado (Esquerda), Solo em Capacidade de Campo (Centro) e Solo Seco (Direita). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2014.....**19**

Figura 2. Índice de clorofila (Chl) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**26**

Figura 3. Índice de flavonoides (Flv) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**29**

Figura 4. Índice de balanço do nitrogênio (NBI) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**31**

Figura 5. Taxa fotossintética líquida (A) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**33**

Figura 6. Condutância estomática (gS) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**34**

Figura 7. Transpiração (E) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**38**

Figura 8. Eficiência no uso da água (EUA) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**39**

Figura 9. Potencial osmótico (MPa) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**42**

Figura 10. Teor de prolina em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**45**

Figura 11. Conteúdo de H_2O_2 em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**47**

Figura 12. Conteúdo de MDA em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**50**

Figura 13. Atividade da enzima Superóxido dismutase (SOD) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas,

comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**53**

Figura 14. Atividade da Ascorbato peroxidase (APX) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**55**

Figura 15. Atividade da enzima Catalase (CAT) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.....**57**

Sumário

1. **INTRODUÇÃO**.....**13**
2. **MATERIAL E MÉTODOS**.....**18**
   2.1. Condições experimentais **18**
   2.2. Índice de clorofila, flavonoides e balanço do nitrogênio.....**21**
   2.3. Trocas gasosas.....**21**
   2.4. Potencial osmótico.....**21**
   2.5. Teor de prolina.....**22**
   2.6. Teores de peróxido de hidrogênio e peroxidação de lipídios.....**22**
   2.7. Ensaio enzimático antioxidante.....**23**
   2.8. Análise estatística.....**24**
3. **RESULTADOS E DISCUSSÃO**.....**24**
4. **CONCLUSÃO**.....**58**
5. **REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICAS**.....**59**
6. **VITA**.....**75**

1. INTRODUÇÃO

Muitas pesquisas relacionadas aos impactos das mudanças climáticas na agricultura têm sido realizadas nos últimos anos, com o intuito de avaliar os efeitos, analisar tendências de resposta ao longo do período e criação de estratégias de manejo. Mudanças na produção global das principais culturas são importantes propulsores dos preços de alimentos, segurança alimentar e decisões do uso da terra. O desempenho destas culturas expostas a uma determinada gestão, solo e clima irão determinar a produtividade média global dos alimentos (LOBELL e FIELD, 2007). Tornando-se assim, necessário entender o papel que a variabilidade climática exerce sobre a qualidade e quantidade das diversas culturas alimentares. Um cenário de mudanças climáticas, que prevê precipitações intensas em diversas regiões do nosso planeta, tem sido objeto de estudos, pois diversas espécies cultivadas não adaptadas provavelmente irão sofrer com o excesso hídrico, além disso, estamos localizados na América do Sul, situando-se em uma região suscetível a altas influências devido às mudanças climáticas (BAILEY-SERRES et al., 2012; IPCC, 2014).

No estado do Rio Grande do Sul (RS), as áreas de várzea são exploradas principalmente com o cultivo de arroz irrigado, mas a baixa rentabilidade da pecuária e os baixos preços de mercado do arroz torna-se necessário a busca por alternativas que maximizem a produtividade e contribuam para a sustentabilidade econômica do ecossistema várzea (MARCHEZAN et al., 2002). As principais opções de espécies produtoras de grãos para diversificação do sistema de produção em várzeas em rotação com o arroz irrigado são o milho, o sorgo e a soja, destacando a cultura da soja como uma das principais commodities do agronegócio brasileiro e apresenta-se como alternativa interessante e viável para ocupar esse segmento (SILVA e PARFITT, 2004; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2015). Além de ser uma alternativa econômica, a soja facilita o controle de plantas invasoras à cultura do arroz, sendo essa uma cultura de verão com boa tolerância a períodos curtos de inundação o que proporciona boas garantias de comercialização,

tornando tendência que o produtor aumente suas áreas com este cultivo (SCHÖFFEL et al., 2001; CORRÊA et al., 2011;)

Segundo o USDA (The United States Department of Agriculture) os Estados Unidos (EUA), Brasil e Argentina são responsáveis por 81% da produção mundial de soja em grãos. No Brasil, é a cultura agrícola que mais cresceu nas últimas três décadas e corresponde a 49% da área plantada em grãos do país. Para evidenciar sua importância, na indústria e no comércio brasileiro, o grão é componente essencial na fabricação de rações animais e com uso crescente na alimentação humana, além de ser uma alternativa para a fabricação do biodiesel, combustível capaz de reduzir em 78% a emissão dos gases causadores do efeito estufa na atmosfera (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2015).

Os dados do oitavo levantamento da safra 2014/15 divulgado pela Conab (2015) indicam que a área plantada nesta safra no Brasil foi de aproximadamente 31,5 milhões ha, sendo 11 milhões ha no Sul, com o RS contribuindo com 5,2 milhões ha, alcançando uma produtividade estimada de 2.816 Kg ha^{-1}. Fazendo comparação a safra de 2004/05, os dados do primeiro levantamento desta safra divulgado pela Conab (2004), a área plantada foi de 22,5 milhões ha no Brasil, 8,5 milhões ha no Sul, sendo que o RS contribuiu com 4 milhões destes e produtividade de 2.280,0 Kg ha^{-1}. Em 10 anos, no RS, os acréscimos observados na área plantada (26%) e na produtividade (23%), possibilitaram ao estado alcançar, neste período agrícola, o recorde de produção da oleaginosa, com produtividade média de 3.000 Kg ha^{-1}. O desempenho da soja nas diversas regiões produtoras do país aponta para uma expectativa de produção na temporada 2014/15 de 95 milhões de toneladas, representando incremento de 56% em relação ao produzido na safra 2004/05 de 60 milhões de toneladas (CONAB, 2004; 2015).

A intensidade e a forma de exploração agrícola das áreas de várzea do RS ao longo dos anos vêm favorecendo a ocorrência de plantas daninhas, principalmente de gramíneas. Características como o rápido crescimento e diversas similaridades com a cultura do arroz dificultam a utilização de métodos de controle. Uma forma de reduzir esse problema é a rotação de culturas, onde a soja apresenta uma eficiência técnica destacada, já que o uso de cultivares de soja que possuam tolerância ao glyphosate representa um dos métodos

mais eficazes na recuperação destas áreas, devido à possibilidade de utilização desse herbicida total para o controle de plantas daninhas (ANDRES et al., 2007; VERNETTI JUNIOR e NUNES, 2010).

O glyphosate é um herbicida não seletivo, de ação sistêmica do grupo químico glicina substituída, sendo aplicado em pós-emergência. Sua ampla utilização em várias culturas tem-se mostrado vantajosa em relação a vários métodos de controle de plantas daninhas. Aspectos relacionados à facilidade de manuseio, eficácia de controle, ganhos de produtividade, entre outros, tornaram esse herbicida, líder mundial de vendas (HARTZLER, 2006; ROUNDUP ORIGINAL BULA, 2015).

O mecanismo de ação do glyphosate é bastante singular, pois é o único herbicida capaz de inibir especificamente a enzima 5-enolpiruvoilshikimate-3-fosfato sintase (EPSPs), responsável por catalisar a condensação do ácido shiquímico e do fosfato piruvato, evitando, assim, a síntese de três aminoácidos aromáticos – triptofano, fenilalanina e tirosina (JAWORSKI, 1972; ZABLOTOWICZ e REDDY, 2004). Em virtude da interferência no processo metabólico de síntese desses aminoácidos, há o aumento da concentração de nitrato, etileno, ácido cinâmico e outros compostos, que atingem níveis tóxicos e ocasionam a interrupção do crescimento e a morte da planta (FERREIRA et al., 2005). Assim, através do melhoramento genético e da biotecnologia, foi possível a transferência de genes com tolerância ao glyphosate a uma planta suscetível, conferindo a esta a tolerância ao glyphosate, como é o caso da soja RR (GRUYS e SIKORSKI, 1999; MONSANTO, 2015).

Devido as suas propriedades físico-químicas específicas, a persistência do glyphosate no solo varia substancialmente apresentando alta capacidade de adsorção e devido a isto, diversos estudos tentam explicar os mecanismos de ligação entre o glyphosate e o solo (MANY e BARRIUSO, 2005; TONI et al., 2006). Solomon e Thompson (2003) sugerem que o glyphosate seja considerado de elevada mobilidade em água, devido à sua grande solubilidade e de seus sais na água, sendo que a união forte e rápida dos sedimentos e partículas do herbicida com a água o removem da solução do solo, tornando assim sua persistência em água menor em relação a persistência no solo (PATERSON, 2004). Entretanto, ainda se faz necessário e importante o

conhecimento do comportamento em diversas condições ambientais (ANDRÉA et al., 2004).

Registrado também para a cultura da soja o herbicida sulfentrazone [2’,4’-dichloro-5-(4-difluoromethyl-4,5-dihydro-3-methyl-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-yl) methanesulfonanilide], utilizado como pré-emergente, pertencente ao grupo químico ariltriazolinonas (BORAL 500 SC BULA, 2015). Nos solos brasileiros, sua meia-vida é 180 dias, sendo a decomposição microbiana a via mais importante de degradação (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011). Ao ser aplicado no solo é absorvido pelas raízes e translocado pelo xilema até o ponto de ação onde, na presença de luz, inibe a enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), que atua na biossíntese da clorofila, acumulando protoporfirina IX, resultando na formação de oxigênio livre, o qual pode causar a peroxidação de lipídios da membrana celular e consequentemente, a ruptura da mesma, ocorrendo assim à morte das plantas suscetíveis. Segundo Roman et. al. (2000), o sulfentrazone, quando aplicado em solo com baixos teores de matéria orgânica e argila, pode causar danos significativos a esta oleaginosa e, sua atividade aumentada com o teor de umidade do solo. Swantek et al. (1998), avaliando injúrias do herbicida sulfentrazone em cultivares tolerantes, também relata que em solos onde ocorreram uma maior precipitação, houve sérios danos devido a maior umidade do solo (HESS, 1993; REDDY e LOCKE, 1998).

Outro herbicida recomendado para a cultura da soja, também como pré-emergente, é o s-metolachlor [2-cloro-N-(2-etil-6-metilfenil)-N-(2-metoxi-1-metiletil) acetamida], pertencente ao grupo químico das cloroacetamidas, está registrado para uso no Brasil nas culturas de feijão, milho, soja e cana-de-açúcar. O ingrediente ativo s-metolachlor é absorvido através do coleóptilo das gramíneas e hipocótilo das folhas largas, e atua na gema terminal inibindo o crescimento das plantas (DUAL GOLD BULA, 2015). Herbicidas do grupo químico das amidas possuem mecanismo de ação associado à inibição da parte aérea das plantas sendo absorvidos durante o processo germinativo das sementes das plantas daninhas, influenciando em diversos processos bioquímicos da plântula e inibindo a divisão celular, a síntese de lipídeos, ácidos graxos, ceras foliares, terpenos, flavonóides, proteínas e divisão celular, e também, por interferirem na regulação hormonal (WEED, 1994; LIEBL, 1995; SILVA et al., 2007;).

Além da interferência de plantas daninhas, a redução da produtividade e da qualidade da soja pode ser atribuída aos fatores edáficos e climáticos que também podem influenciar a eficácia de controle das plantas daninhas com herbicidas. Desta forma, destaca-se a umidade do solo como um dos principais fatores que atuam na persistência dos herbicidas alterando a concentração e a mobilidade desses produtos no solo. Com o aumento da umidade, tem-se menor retenção da molécula do herbicida nas partículas do solo, deixando-o mais solúvel e disponível à absorção pelas raízes das plantas (ZHANG et al., 2001). O contrário ocorre em condições de solo com baixo conteúdo de água, em que a adsorção do herbicida é maior pelas partículas do solo, ficando disponível em menor quantidade para absorção pelas plantas. Além disso, com a diminuição da umidade do solo, há um provável aumento na atividade microbiana devido à maior aeração do solo, o que contribui substancialmente na degradação dos herbicidas, já que a ação microbiana é principal forma de degradação (GOETZ, 1990; WITT e FLINT, 1997; FERRI e VIDAL, 2003).

Um dos processos mais importantes em relação aos herbicidas é a sorção destes no solo, uma vez que determina a quantidade de herbicida, o tempo que ele ficará retido no solo e sua disponibilidade na solução. A sorção é um processo dinâmico físico-químico da interação herbicida-sedimento-água, correlacionado com a natureza dos sólidos no sistema (tamanho e distribuição da partícula, tipo de argila e matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e ânions), e a característica do herbicida (pressão de vapor, solubilidade em água, constante de dissociação eletrolítica, coeficiente de partição octanol-água, entre outras). A proporção do herbicida disponível na solução do solo pode afetar a absorção pelas plantas, a degradação microbiana, a fotólise, a lixiviação e o transporte (LOCKE et al., 2008; KRAEMER et al., 2009).

A exposição das plantas aos mais diversos estresses abióticos e bióticos provocam alterações fisiológicas e bioquímicas em seus tecidos, como mudança nas trocas gasosas, índice de pigmentos, ajuste osmótico e outros metabólitos para enfrentar certas situações adversas. Embora algumas espécies possuem tolerância a determinados ingredientes ativos, a aplicação de herbicidas conjuntamente com a alteração do nível de umidade do solo pode causar estresse oxidativo levando ao aumento das espécies reativas de oxigênio (EROs), que em condições normais de crescimento possuem seu

acúmulo equilibrado. Sendo assim, em condições ambientais desfavoráveis, as plantas ativam um sistema de detoxificação sintetizando e promovendo a ação de enzimas antioxidantes como superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) (FOYER e NOCTOR, 2000; FIDALGO et al., 2004; MICHALAK, 2006; SONG et.al., 2007).

Diante do exposto, o presente estudo teve por objetivo avaliar respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de soja após a aplicação de herbicidas recomendados para a cultura em três níveis de umidade do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Condições experimentais

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2014/15 em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), no município de Capão do Leão/RS, em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (7x3) com quatro repetições. O fator A foi composto pelos tratamentos herbicidas (Glyphosate, Sulfentrazone, S-metolachlor, Glyphosate+Sulfentrazone, Glyphosate+S-metolachlor, Glyphosate+Sulfentrazone+S-metolachlor), recomendados para a cultura da soja, além do tratamento controle (ausência de herbicida) e o fator B consistiu de três níveis de umidade do solo: Capacidade de campo, Solo Seco (50% abaixo da capacidade de campo) e, Solo Saturado (50% acima da capacidade de campo).

Foram utilizados vasos plásticos com capacidade de oito litros, preenchidos com 8 Kg de solo homogeneizado, peneirado e adubado, conforme a recomendação para a cultura (INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA A CULTURA DA SOJA NO RS E SC, 2014). O solo utilizado foi um Planossolo Hidromórfico Eutrófico típico, com as seguintes características: pH água (1:1) = 5,6; CTC efetiva= 5,7cmol$_c$ dm^{-3}; Matéria Orgânica= 1,93%; Argila= 13%; Classe de argila= 4; Ca= 3,6 cmol$_c$ dm^{-3}; Mg= 1,8 cmol$_c$ dm^{-3}; Al trocável= 0,1 cmol$_c$ dm^{-3}; P-Mehlich= 51,9 mg dm^{-3}; K= 51,9 mg dm^{-3}. A análise química foi realizada no Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos da UFPel.

A cultivar de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) utilizada foi a BMX Potência RR, a qual possui em seu genoma a tolerância ao glyphosate (MONSANTO, 2015), semeando oito sementes por vaso, tratadas com Standak Top® (composto por inseticida Fipronil do grupo pirazol, e os fungicidas Piraclostrobina do grupo das estrubirulinas e Metil Tiofanato do grupo dos benzimidazois), mantendo-se 3 plantas por vaso após emergir.

Diariamente as plantas foram irrigadas e, ao atingirem o estádio V3 (segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida) determinou-se a umidade do solo de cada vaso sendo considerado como capacidade de campo à capacidade máxima de retenção da água no solo. Esta foi determinada a partir de irrigação em volume excessivo deixando o solo saturado de água e com finalidade de evitar a evaporação da água, cobriu-se a superfície dos vasos com papel filme. Após 24 horas, todos os vasos foram pesados com auxílio de balança até observar peso constante. A partir deste período, foram estabelecidos os tratamentos compondo as diferentes umidades do solo onde, diariamente os vasos foram novamente pesados e, para o tratamento capacidade de campo, a redução no peso de cada vaso no dia seguinte, foi reposta em igual volume de água. Para o tratamento solo seco, após a pesagem, estes vasos receberam somente 50% do volume de água para atingir a capacidade de campo. E, para o tratamento solo saturado, a reposição de água foi de 50% acima da capacidade de campo.

Figura 1. Plantas de soja no dia da aplicação dos tratamentos herbicidas e a disposição dos tratamentos de níveis de umidade: Solo saturado (Esquerda), Solo em Capacidade de Campo (Centro) e Solo Seco (Direita). FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2014.

O solo estando nos níveis adequados de umidade (Figura 1), conforme seus respectivos tratamentos, procederam-se as aplicações dos herbicidas com auxílio de pulverizador costal de precisão, pressurizado a CO_2, equipado com barra composta de quatro pontas de pulverização jato plano do tipo leque, série 110-02, espaçadas em 50 cm, calibrado para distribuir um volume de calda de 150 L ha^{-1}. As recomendações de aplicação para a cultura da soja e as características dos herbicidas estão descritas abaixo, sendo os mesmos aplicados de forma isolada e sequenciais.

- Glyphosate: Recomendação de 4,0 L ha^{-1} ou 1920 g equivalente ácido ha^{-1}; Nome químico: N-(phosphonomethyl) glycine; Concentração: Sal de Isopropilamina de Glyphosate 480 g L^{-1} (360 g L^{-1} e.a.); Tipo de formulação: Concentrado solúvel; Grupo químico: Glicina substituída; Mecanismo de ação: Inibidor da EPSPS; Solubilidade em água (Sw): 12 g L^{-1} 25°C; Pressão de vapor (P): praticamente nula; Ácido fraco e base fraca ao mesmo tempo; Meia-vida (t ½) normalmente de 20 dias variando conforme o tipo de solo.

- Sulfentrazone: Recomendação de 0,6 L ha^{-1} ou 0,3 Kg i.a. ha^{-1}; Concentração: 2’,4’-dichloro-5-(4-difluoromethyl-4,5-dihydro-3-methyl-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-yl) methanesulfonanilide 50,0% m/v (500 g L^{-1}) Ingredientes Inertes 72,16% m/v (721,60 g L^{-1}); Tipo de formulação: Suspensão concentrada; Classe: Herbicida pré-emergente, seletivo condicional, de ação sistêmica; Grupo químico: Triazolona; Mecanismo de ação: Inibidores da PROTOX. Sw: 490 g L^{-1} 25°C; P: 1,0 x 10^{-9} mm Hg a 25°C; Constante de equilíbrio de ionização ácido (pK_a): 6,6; t ½ aproximadamente 180 dias.

- S-metolachlor: Recomendação de 1,2L ha^{-1} ou 1,15Kg i.a. ha^{-1}; Concentração: (S)−2−cloro−N−(2−etil−6−metil−fenil)−N−2−metóxi−1−metil −etil) acetamida 960 g L^{-1} (96% m/v); Ingredientes inertes: 4% m/v; Tipo de formulação: Concentrado emulsionável; Classe: Herbicida pré-emergente com ação graminicida acentuada; Grupo químico: Acetanilidas; Mecanismo de ação:Inibidores do crescimento da parte aérea. Sw: 530 g L^{-1} 25°C; P: 1,3 x 10^{-5} mm Hg a 20°C; Constante de equilíbrio de ionização ácido (pK_a): 0,0; t ½ aproximadamente 114 dias.

Sete, 14 e 28 dias da submissão dos tratamentos, avaliaram-se as plantas quanto a variáveis fisiológicos e bioquímicos, conforme segue

descrição abaixo, sendo cada tratamento composto por quatro vasos e estes, contendo três plantas cada. A unidade experimental foi composta por uma planta e o número de repetições variou conforme a variável analisada.

2.2. Índice de clorofila, flavonoides e balanço do nitrogênio

As avaliações foram realizadas no terceiro trifólio completamente desenvolvido com auxílio de um clorofilômetro modelo Dualex® (FORCE-A, Orsay, France), procedendo duas leituras por planta em uma planta por vaso, totalizando oito repetições por tratamento. Este equipamento portátil fornece em única medição na folha, os índices de clorofila (Chl), flavonoides (Flv) e de balanço do nitrogênio (NBI). O índice de Flv é estimado com base na técnica de fluorescência utilizando dois comprimentos de onda de excitação: um no comprimento de onda de UV a 375 nm que é absorvido por flavonoides, localizados principalmente na epiderme, e um comprimento de onda de referência que passa através da mesma, sem ser absorvido antes de atingir a clorofila no mesófilo. A relação entre Chl/Flv permite a estimativa do índice de NBI (ABDALLAH, 2012).

2.3. Trocas gasosas

As leituras de trocas gasosas foram realizadas no terceiro trifólio completamente desenvolvido, em uma planta por vaso, com quatro repetições por tratamento, utilizando-se o analisador portátil a infravermelho de CO_2 modelo LI-6400XT (LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA), com densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativo de 1.200 µmol fótons m^{-2} s^{-1} e concentração de CO_2 no interior da câmara de 400 µmol CO_2 mol^{-1}. Medindo-se a taxa assimilatória líquida de CO_2 (A, µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), condutância estomática (gS, mol H_2O m^{-2} s^{-1}), taxa transpiratória (E, mmol H_2O m^{-2} s^{-1}) e, eficiência do uso da água (EUA) calculada a partir da relação entre a taxa fotossintética e transpiratória (A/E).

2.4. Potencial osmótico

Para a determinação do potencial osmótico (Ψs) foi utilizado um osmômetro de pressão de vapor modelo 5600 VAPRO (Wescor, Logan, Utah, EUA). O material vegetal (trifólios completamente desenvolvidos do terço

médio de cada planta) foi coletado aos sete, 14 e 28 DAA e armazenado em Ultrafreezer a -80 ºC, sendo este material utilizado para todas as análises descritas na sequência com quatro repetições por tratamento. Para o Ψs, aproximadamente 500 mg de cada amostra, com quatro repetições por tratamento, onde as folhas foram macerados em tubos *eppendorf* utilizando-se um bastão de vidro, seguido de centrifugação a 12000 *g* a temperatura de 4 °C. Os valores obtidos em mmol kg^{-1} foram convertidos em Ψs por meio da equação de Van't Hoff onde, $\Psi s = -C \times 2{,}58 \times 10^{-3}$, sendo C o valor de osmolalidade obtido em 10 µL de suco celular em cada medida.

2.5. Teor de prolina

Quantificado com base na metodologia adaptada de Bates et al. (1973). Aproximadamente 300 mg de tecidos foliares foram macerados em 2,0 mL de ácido sulfossalicílico (3% m/v), com auxílio de pistilo e almofariz, sendo o extrato transferido para tubos *eppendorf* seguido de centrifugação a 1000 *g* por 10 minutos em temperatura ambiente. Coletou-se 1,0 mL do sobrenadante o qual foi transferido para tubo de ensaio e, após, adição de 2,0 mL de ácido glacial acético, 2,0 mL de ninhidrina ácida e 2,0 mL de água destilada, mantido em banho-maria por 1 hora a 100 ºC. Na sequência, as amostras foram resfriadas em banho de gelo e deixadas no escuro até atingirem temperatura ambiente, posteriormente adicionou-se às mesmas 4,0 mL de tolueno para a separação das fases. A fração incolor foi desprezada e a leitura das amostras da fração com cor (parte superior) realizada em comprimento de onda a 520 nm. Os teores de prolina livre foram calculados com base na massa fresca, segundo a fórmula: [(µg prolina mL^{-1} x mL tolueno)/115,5 µg μmol^{-1}] / [(g amostra)/5], expressos em µmol de prolina g^{-1} massa fresca.

2.6. Teores de peróxido de hidrogênio e peroxidação de lipídios

Os danos celulares nos tecidos foram determinados através do teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), conforme descrito por Loreto e Velikova (2001) e os das espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), via acúmulo de aldeído malônico (MDA), conforme descrito por Health e Packer (1968). Para tal, 350 mg de folhas foram macerados, homogeneizados em 2,0 mL de ácido tricloroacético (TCA) (0,1% m/v) e centrifugados a 12000 *g* por 15 minutos.

Para a quantificação do H_2O_2, adicionaram-se alíquotas de 0,2 mL do sobrenadante a 0,8 mL de tampão fosfato de potássio 10 mM (pH 7,0) e 1,0 mL de iodeto de potássio 1 M. As leituras em espectrofotômetro foram realizadas a 390 nm sendo a concentração do H_2O_2 calculada através da comparação das leituras com curva padrão obtida a partir de diferentes concentrações de H_2O_2 e expressa em µM de H_2O_2 g^{-1} de massa fresca.

Para medição da concentração de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) adicionou-se 250 µL do sobrenadante a 1,0 mL da solução contendo ácido tiobarbitúrico (TBA) (0,5% m/v) e TCA (10% m/v). Incubou-se o meio de reação em banho maria a 95 ºC por 30 minutos mantendo os tubos fechados, paralisando a reação por resfriamento rápido em banho de gelo durante 10 minutos. A absorbância das TBARS formadas foi determinada em espectrofotômetro a 535 nm e 600 nm. O TBA forma complexos de cor avermelhada, com aldeídos de baixa massa molecular, como o malondialdeído (MDA), produto secundário do processo de peroxidação. Com estes valores calculou-se a concentração do complexo MDA/TBA pela seguinte equação: [MDA] = (A535 – A600)/(ξ.b), onde: ξ (coeficiente de extinção = 1,56 x 10^{-5} cm^{-1}) e b: (comprimento ótico = 1). A peroxidação foi expressa em nmol de MDA g^{-1} de massa fresca.

2.7. Ensaio enzimático antioxidante

O extrato enzimático para quantificação da atividade de enzimas do metabolismo antioxidante foi obtido por meio da maceração de aproximadamente 350 mg de massa fresca foliar em polivinilpolipirrolidona (PVPP) (10 % p/p) e 2,0 mL de tampão de extração contendo fosfato de potássio 100 mM (pH 7,8), EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético) 0,1 mM, ácido ascórbico 10 mM e água, sendo centrifugado a 13000 *g*, a 4 ºC por 20 minutos. O sobrenadante foi coletado e utilizado para as dosagens enzimáticas. A partir deste extrato foi quantificado o teor de proteínas totais de cada amostra pelo método de Bradford (1976), sendo expressas em mg g^{-1} de massa fresca.

- Atividade da Superóxido dismutase (SOD): Determinada pela capacidade da enzima em inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (GIANNOPOLIS e RIES, 1977) em um meio de reação composto por fosfato de

potássio 50 mM (pH 7,8), metionina 14 mM, EDTA 0,1 µM, NBT 75 µM, riboflavina 2 µM, água e o extrato enzimático. Os tubos contendo o meio de reação foram iluminados por 7 minutos, em caixa adaptada com lâmpada fluorescente (20 W). Para o controle, o mesmo meio de reação na ausência do extrato enzimático também foi iluminado, e o branco (padrão de referência) permaneceu no escuro. Realizaram-se as leituras a 560 nm e o cálculo da atividade da enzima feito pela equação: % de Inibição = (A_{560} amostra com extrato enzimático - A_{560} controle sem extrato enzimático) / (A_{560} controle sem extrato enzimático). Uma unidade da SOD corresponde à quantidade da enzima capaz de inibir em 50% a fotorredução do NBT nas condições de ensaio, sendo expressa em U mg^{-1} de proteína**.**

- Atividade da Catalase (CAT): Determinada segundo metodologia descrita por AZEVEDO et al. (1998) com base no consumo de H_2O_2 (coeficiente de extinção 39,4 mM cm^{-1}). O meio de reação foi composto por tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), H_2O_2 12,5 Mm, água e o extrato enzimático, sendo a atividade monitorada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm durante 1,5 minutos e expressa em µmol H_2O_2 min^{-1} mg^{-1} de proteína.

- Atividade da Ascorbato peroxidase (APX): Determinada segundo NAKANO e ASADA (1981), com base na taxa de oxidação do ascorbato (coeficiente de extinção 2,8 mM cm^{-1}). O meio de reação foi composto de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), ácido ascórbico 0,5 mM, H_2O_2 0,1 mM, água e o extrato enzimático, sendo a atividade monitorada pelo decréscimo na absorbância a 290 nm durante 1,5 minutos e expressa em µmol ASA min^{-1} mg^{-1} de proteína.

2.8. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com significância de 5 % de probabilidade, utilizando o software estatístico WinStat (MACHADO e CONCEIÇÃO, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a variável índice de clorofila (Chl), aos sete e 28 dias após a aplicação (DAA) não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 2A e C). No entanto, aos 14 DAA, somente o herbicida sulfentrazone, apresentou diferença para os níveis de umidade do solo, com valores médios significativamente inferiores em solo saturado (50% acima da capacidade de campo) quando comparado ao solo seco (50% abaixo da capacidade de campo) (Figura 2B). Um dos fatores mais importantes para o crescimento e adaptação das plantas aos mais variados ambientes é o conteúdo de clorofilas e carotenóides (RÊGO e POSSAMAI, 2004). Desta forma, um herbicida ao afetar o teor destes pigmentos na planta contribuirá para um menor crescimento e desenvolvimento. Rossi et al. (2003) relatam que a atividade do sulfentrazone aumentou após precipitação de 90 mm, ou seja, aumentando o teor de umidade do solo torna-o mais disponível, mesmo em solo de baixa mobilidade para esse herbicida.

O efeito negativo do sulfentrazone possivelmente está relacionado ao seu modo de ação que o caracteriza como destruidor de membranas celulares, inibindo a enzima PROTOX, acumulando a protoporfirina IX rapidamente, por conseguinte, na presença de luz e oxigênio, a sua saída para o citoplasma produz a forma reativa do oxigênio (oxigênio singlet), com consequente peroxidação dos lipídios da membrana celular (DAN HASS, 1993).

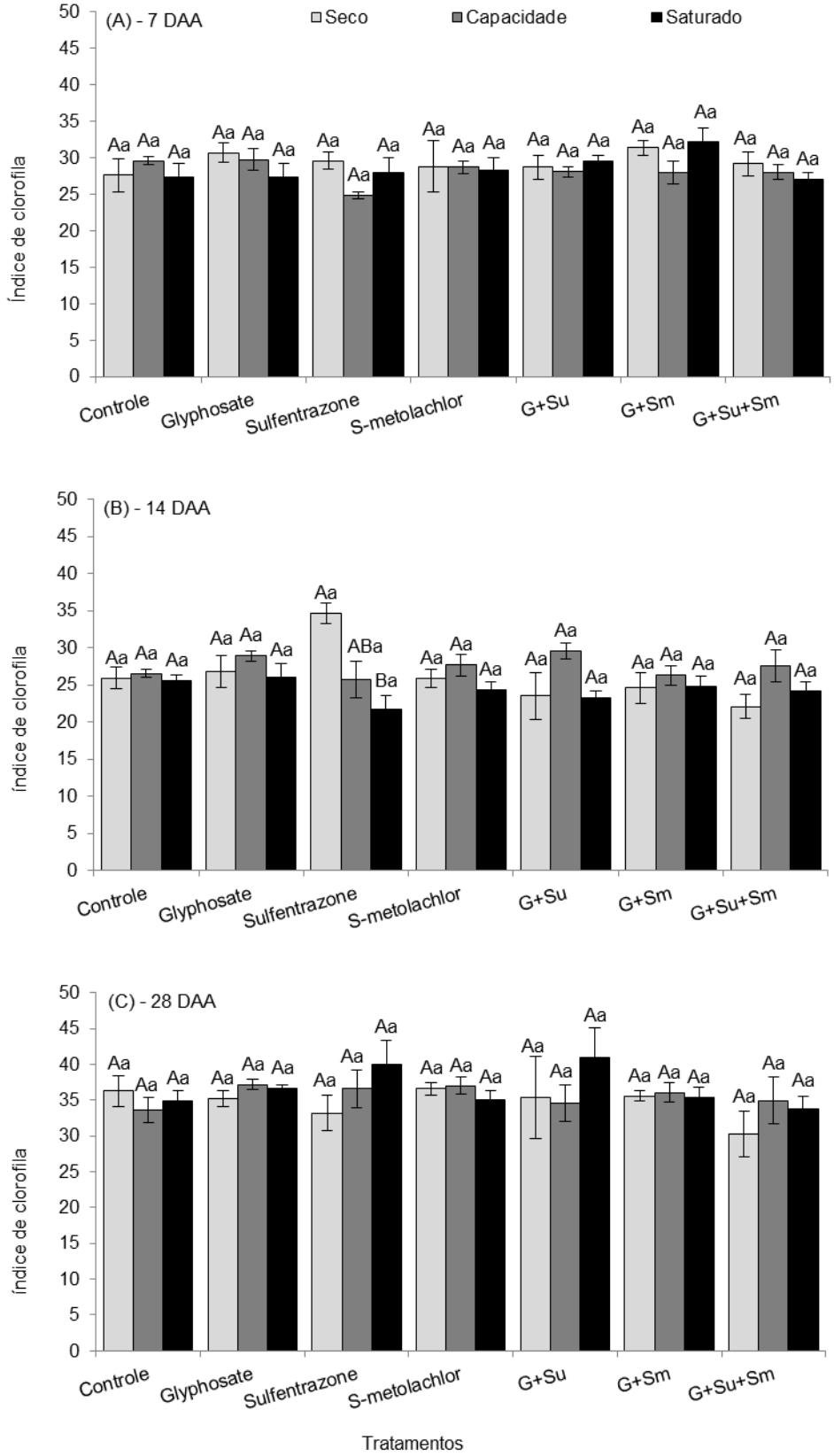

Figura 2. Índice de clorofila (Chl) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

A não alteração do índice de Chl aos 28 DAA para este herbicida (sulfentrazone) está relacionado à sua degradação. Conforme descrito por Brum et al. (2013) a degradação é mais rápida em condições de maior umidade do solo (80% da CC). A explicação para tal tendência remete ao fato da umidade ter uma influência direta sobre a proliferação dos microrganismos degradadores e suas atividades (MARTINEZ et al., 2010).

Quanto ao índice de flavonóides, comparando-se os herbicidas dentro de cada nível de umidade do solo, podemos observar que não houve diferença significativa aos sete DAA (Figura 3A). Porém, para o herbicida s-metolachlor houve diferença significativa entre as umidades, sendo que em solo seco observou-se valores inferiores aos demais. O s-metolachlor é considerado como moderadamente persistente no solo e na água e, para comprovar a relação da mobilidade deste herbicida com a precipitação, Southwick (2009), constatou que, durante estações de chuvas abaixo do normal, onde há uma redução no escoamento superficial total e fluxo de lixiviados, houve uma redução de 93% no movimento do s-metolachlor correspondente através destas rotas (escoamento superficial e lixiviação).

A avaliação destes pigmentos aos 14 DAA resultou em diferença significativa, para o fator umidade do solo, na combinação dos herbicidas glyphosate+sulfentrazone, sendo o maior índice observado em solo seco. Vale ressaltar ainda que, nesta umidade do solo, a aplicação destes herbicidas de forma combinada gerou uma maior síntese de flavonoides quando comparado aos tratamentos controle (sem herbicida), glyphosate, s-metolachlor e glyphosate+s-metolachlor (Figura 3B). Pouco se sabe a respeito do efeito da água sobre a formação de compostos fenólicos na planta, entre eles, os flavonóides (BORTOLO et al., 2009). Em geral, o estresse hídrico pode promover aumento na biossíntese de compostos fenólicos, como observada neste estudo, acentuando este efeito pela aplicação de herbicidas (MATERN e GRIMMIG, 1994).

O glyphosate é um herbicida ácido que no solo se encontra na forma aniônica (predisposto a ficar na fase líquida e ser absorvido pelas plantas ou ser lixiviado), mas apresenta um alto valor de k_{oc} que, ao entrar em contato com o solo, é rápida e fortemente adsorvido, não sendo nem absorvido pelas raízes nem lixiviado. Além disso, para o glyphosate e sulfentrazone, a

biodegradação é o principal processo de degradação do herbicida sendo transformados em compostos não-tóxicos para as plantas (CARVALHO, 2013).

Aos 28 DAA houve diferença significativa entre os níveis de umidade do solo para o tratamento herbicida sulfentrazone, com valores superiores em solo seco quando comparado ao solo saturado e, para os herbicidas glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor, também superior em solo seco, porém diferindo significativamente do solo em capacidade de campo (figura 3C). Segundo Furlan (1998) e Andrade e Casali (1999) o estresse hídrico em determinadas fases da cultura, leva a uma maior produção de substâncias do metabolismo secundário, ativando mecanismos de defesa da planta.

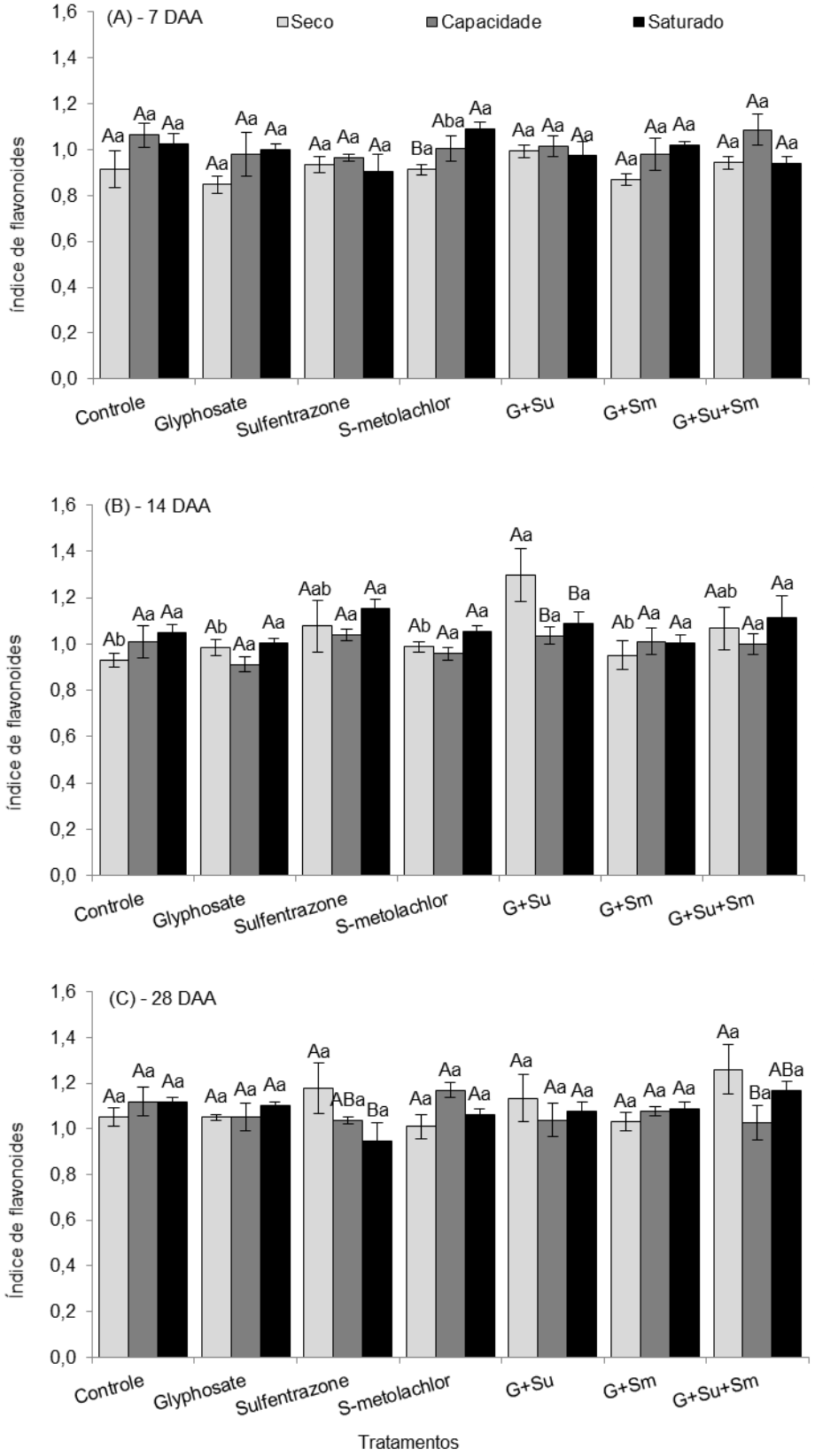

Figura 3. Índice de flavonoides (Flv) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

Para o índice de balanço do nitrogênio (NBI), aos sete DAA não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 4A). Entretanto, aos 14 e 28 DAA, houve diferença significativa para os níveis de umidade do solo apenas para o herbicida sulfentrazone, onde, aos 14 DAA, valores significativamente superior foram observados em solo seco em comparação ao saturado e aos 28 DAA, a resposta foi inversa, maiores valores no solo saturado em relação ao seco (Figura 4B e C). O NBI é uma variável que considera a relação entre o índice de clorofila e flavonoides, dando uma estimativa do estado nutricional de nitrogênio na planta (COELHO et al., 2012). Conforme relatado por Rossi et al. (2003) aumentando o teor de umidade do solo torna o herbicida sulfentrazone mais disponível, e segundo Cerovic et al. (1999) ao submeter a cultura a uma condição de estresse, remete a deficiência de nitrogênio onde a planta direciona a elevação da produção de compostos fenólicos, pelo metabolismo secundário, na camada epidérmica.

Conforme relatado por Blanco et al. (2010) o teor de água no solo influencia a atividade e persistência do herbicida onde, a redução na umidade do solo pode beneficiar a adsorção do herbicida aos colóides do solo e desfavorecer o desenvolvimento da comunidade microbiana edáfica, participante dos processos de dissipação dos herbicidas. Desta forma, com o herbicida adsorvido aos colóides o crescimento da comunidade microbiana é prejudicado, não diminuindo a concentração deste no solo, explicando a redução do índice NBI aos 28 DAA em solo seco.

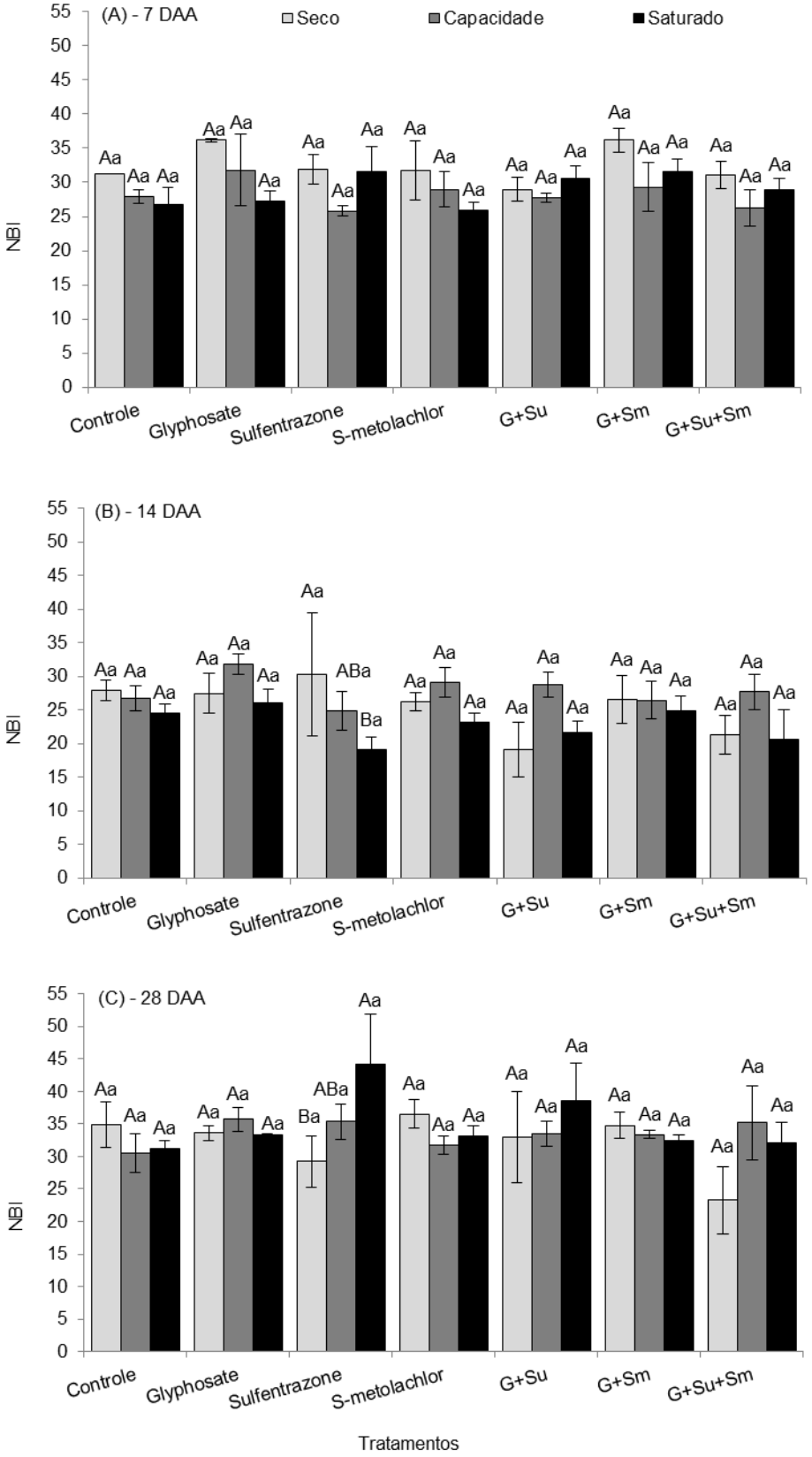

Figura 4. Índice de balanço do nitrogênio (NBI) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

As trocas gasosas, avaliadas em seguida das variáveis acima discutidas, apresentaram uma maior variação entre os diferentes tratamentos para os períodos analisados. A taxa de fotossíntese líquida nas plantas de soja, aos sete DAA dos tratamentos umidades do solo e herbicidas, não expressou alteração significativa condicionado ao tratamento herbicida. Somente no tratamento controle houve variação significativa, com menor valor em solo seco (Figura 5A). Este mesmo comportamento foi observado aos 14 DAA, entretanto, observado também nos tratamentos com os herbicidas glyphosate, s-metolachlor, glyphosate+sulfentrazone, glyphosate+s-metolachlor e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor (Figura 5B). Em analogia aos 28 DAA (Figura 5C), as plantas controle não diferiram quanto à taxa fotossintética nas diferentes umidades do solo, havendo diferença significativa somente para os herbicidas glyphosate, s-metolachlor, glyphosate+sulfentrazone e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor, sendo inferior em solo seco.

No fator umidade do solo, para as condições de solo em capacidade de campo e saturado, não houve diferença significativa entre os tratamentos herbicidas aos 14 e 28 DAA. Porém, em solo seco aos 14 DAA, a fotossíntese foi superior com o herbicida sulfentrazone e significativamente inferior com os herbicidas glyphosate+s-metolachlor (Figura 5B). Aos 28 DAA, redução na taxa fotossintética foi caracterizada pelo tratamento glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor (Figura 5C).

Em relação à condutância estomática (gs), aos sete DAA não houve diferença significativa para os herbicidas s-metolachlor, glyphosate+sulfentrazone e glyphosate+s-metolachlor comparando as umidades do solo. Entretanto, para os demais tratamentos herbicidas e o controle, em solo seco obtiveram-se valores médios significativamente inferiores. Ainda para este período de avaliação, a maior condutância estomática foi observada em solo saturado para os herbicidas glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor (Figura 6A). Nota-se que, aos 14 DAA os valores de condutância estomática nas plantas de soja em solo saturado foram superiores aos observados em solo seco e capacidade campo, para todos os tratamentos herbicidas (Figura 6B). Já aos 28 DAA, somente no tratamento controle, sulfentrazone e s-metolachlor os valores diferiram significativamente, sendo superiores em solo saturado (Figura 6C).

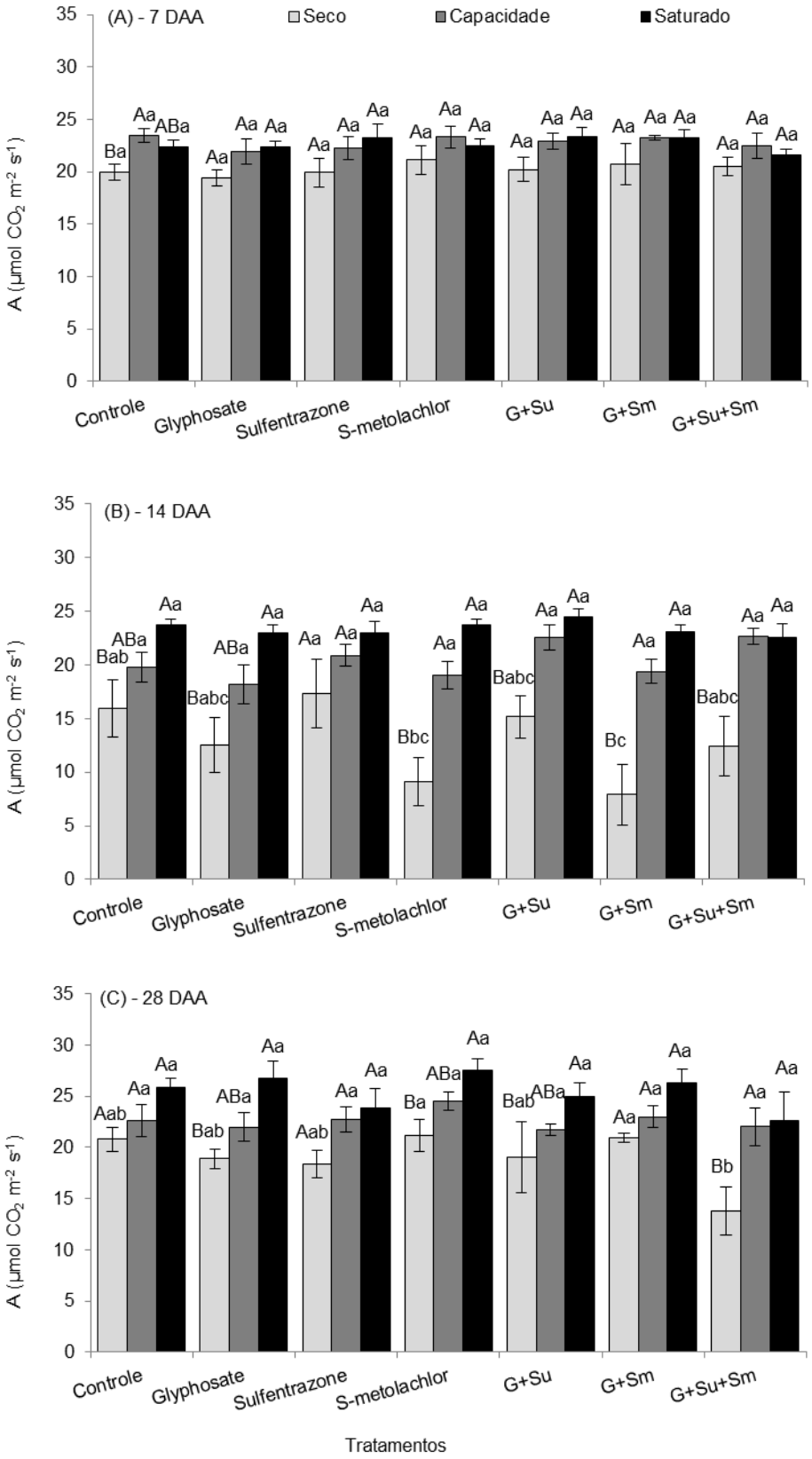

Figura 5. Taxa fotossintética (A) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

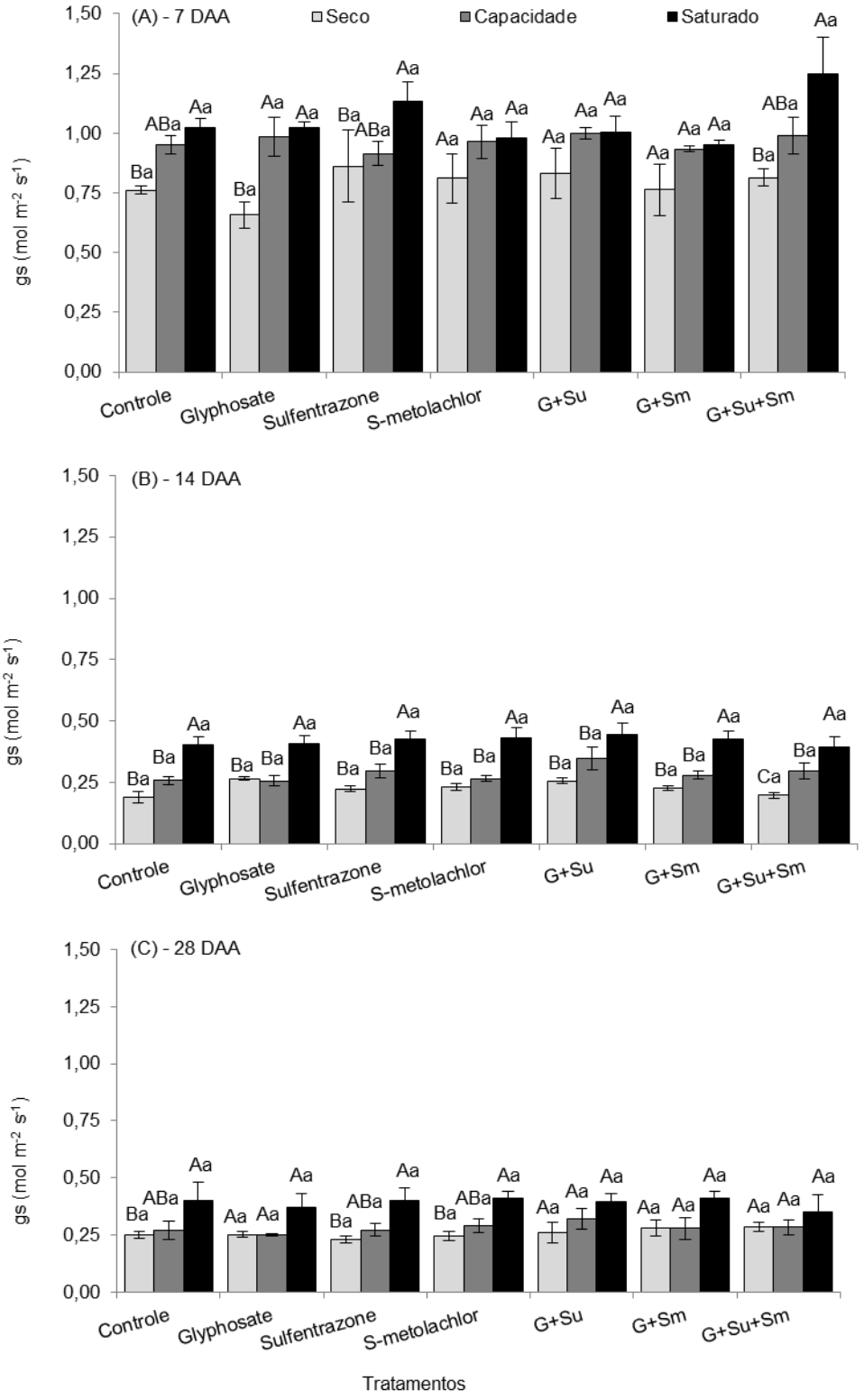

Figura 6. Condutância estomática (gS) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

Para a explicação da taxa fotossintética, aos sete DAA, existem algumas controvérsias em relação à qual é o limitante primário da fotossíntese sob seca: fechamento estomático ou prejuízo metabólico (FLEXAS et al., 2006). Há um consenso de que a redução da difusão de CO_2 da atmosfera para o local de carboxilação é a causa principal do decréscimo da fotossíntese em várias condições de estresse hídrico (FLEXAS et al., 2004). O fechamento estomático é geralmente acompanhado do decréscimo da taxa de utilização de ATP e NADPH (substratos da fotossíntese) para a assimilação de CO_2 (HURA et al., 2007).

Aos 14 DAA, a condição estável da taxa fotossintética líquida em solo seco para o herbicida sulfentrazone pode ser atribuída a uma absorção e translocação mínima do herbicida e/ou o aumento da concentração da enzima mitocondrial PROTOX que atua como um redutor para o excesso de protoporfirinogênio no citoplasma (HIGGINS et al., 1988; MATSUMOTO et al., 2001) e metabolismo rápido (VAUGHN et al., 1991). Ainda, a redução da fotossíntese com o herbicida s-metolachlor corrobora com os resultados obtidos por Santos et al. (2012) onde este produto proporcionou sintomas de fitointoxicação, encarquilhamento das folhas e inibição temporária do crescimento das plantas de soja, e em feijão observou-se clorose das folhas cotiledonares. Esses sintomas são provavelmente causados pelo contato das moléculas do herbicida com a zona de absorção das raízes das plantas e pela diminuição da difusão do CO_2 para dentro da folha (JONES, 1985). Já, para o observado aos 28 DAA, relatórios recentes sugerem que o glyphosate ou ácido aminometilfosfônico (*AMPA*), que é seu principal metabólito, pode diminuir a fotossíntese, embora as culturas RR sejam resistentes ao glyphosate (ZOBIOLE et al., 2012), além disso, agricultores têm observado que algumas variedades de soja transgênicas são sensíveis ao estresse hídrico e outros relatam sintomas visuais de injúrias na soja RR após o uso de glyphosate (SANTOS et al., 2007; ZABLOTOWICZ e REDDY, 2007).

A obtenção da maior taxa fotossintética ser adquirida em solo saturado pode ser explicada pelo fato do desenvolvimento de uma série de mecanismos de adaptação para lidar com a anaerobiose provocada pela saturação. Estes mecanismos incluem adaptações morfológicas (GIBBERD, 2001; BAILEY-SERRES e VOESENEK, 2008) e metabólicas (VOESENEK et al., 2004), tais

como indução de enzimas da rota fermentativa e modificações estruturais, como presença de aerênquima (DREW, 1997) e formação de raízes adventícias (PIRES et al., 2002). Além disso, solos nessas circunstâncias, com água abundante, favorecem a troca de água pela transpiração, permitindo maiores trocas de CO_2 com o ambiente, o que eleva a atividade fotossintética, o crescimento e a produção (KERBAUY, 2009).

Shalhevet (1983) cita que o decréscimo na disponibilidade de água no solo ocasiona queda no potencial da água nas folhas das plantas, levando à perda de turgescência e à redução da condutância estomática. A redução da taxa de assimilação de CO_2 durante o estresse hídrico deve-se à redução na disponibilidade de CO_2 no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo (ROSA et al., 1991), corroborando com os resultados apresentados por PAIVA et al. (2005) onde avaliou a condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação.

Deste modo, a transpiração foliar (E), a exemplo da condutância estomática (gs), mecanismos estes que representam a taxa de difusão de gases através dos estômatos, também foi significativamente inferior para as plantas cultivadas em solo seco quando comparado aos demais níveis de umidade, independente dos tratamentos herbicidas, aos sete e 14 DAA e, aos 28 DAA somente não diferiu no tratamento controle (Figura 7A, B e C). Embora os resultados expressem diferenças entre as umidades do solo analisando cada tratamento herbicida em específico, isolando o fator umidade do solo a aplicação dos herbicidas não alterou a condutância estomática e a taxa transpiratória em relação ao tratamento controle nos três períodos avaliados (Figuras 6A,B e C e 7A, B e C).

A eficiência no uso da água (EUA) que representa a relação A/E, na primeira avaliação, de modo geral foi significativamente superior para as plantas em solo seco, com exceção para o tratamento herbicida glyphosate+sulfentrazone, no qual não diferiu para as umidades do solo (Figura 8A). Aos 14 DAA, diferença significativa foi observada somente para os herbicidas s-metolachlor e glyphosate+s-metolachlor, sendo a EUA superior em solo na capacidade de campo, ressaltando que para estes herbicidas a mesma foi significativamente inferior em solo seco (Figura 8B). Ainda, aos 28 DAA,

comparando as umidades do solo para cada herbicida, efeito significativo foi expresso somente na combinação dos herbicidas glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor, sendo os menores valores obtidos em solo seco (Figura 8C). Os resultados demonstram que, em solo seco, os herbicidas diferiram entre si, sendo significativamente superior para s-metolachlor e glyphosate+s-metolachlor comparados ao tratamento glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor.

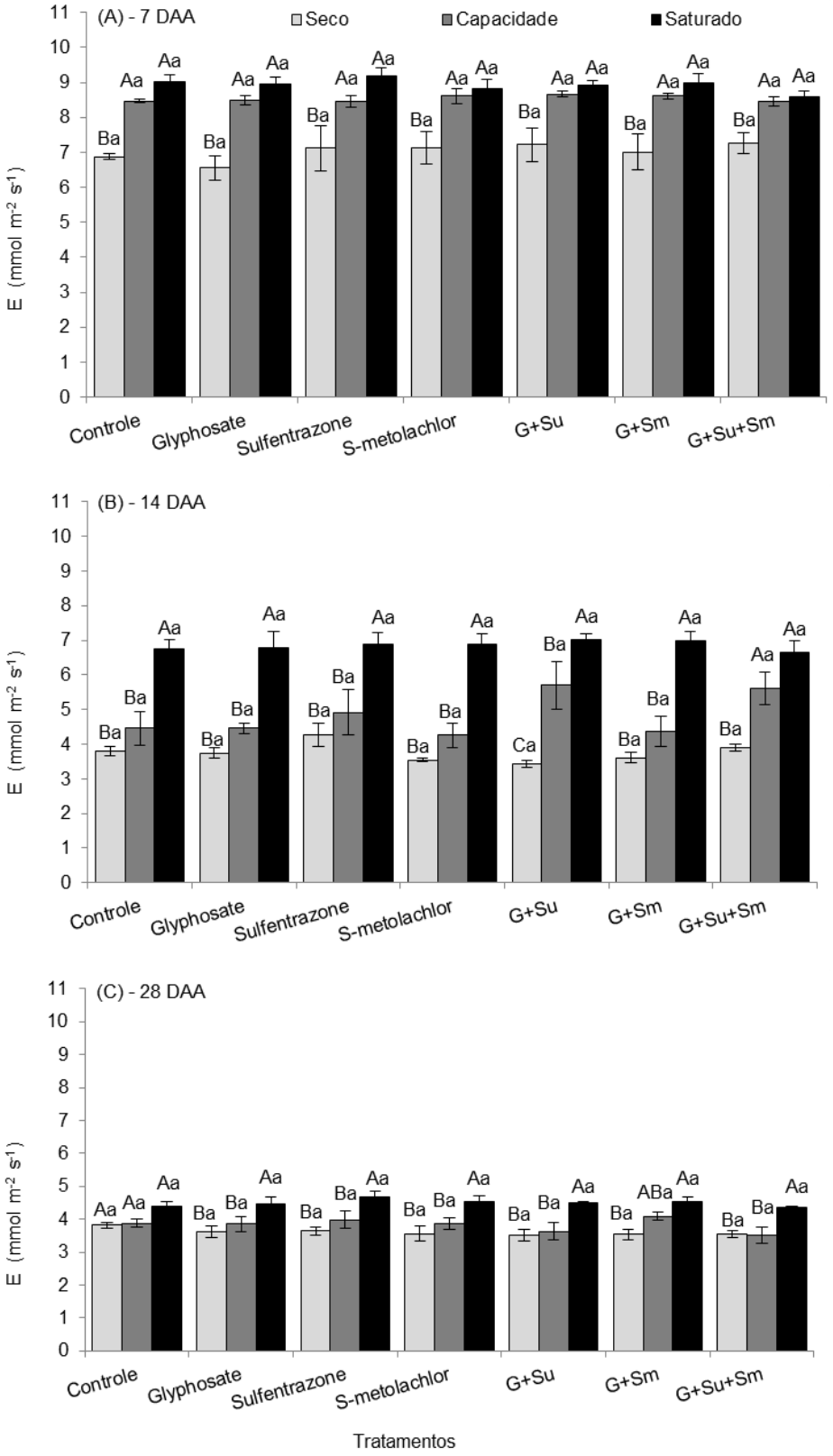

Figura 7. Transpiração (E) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

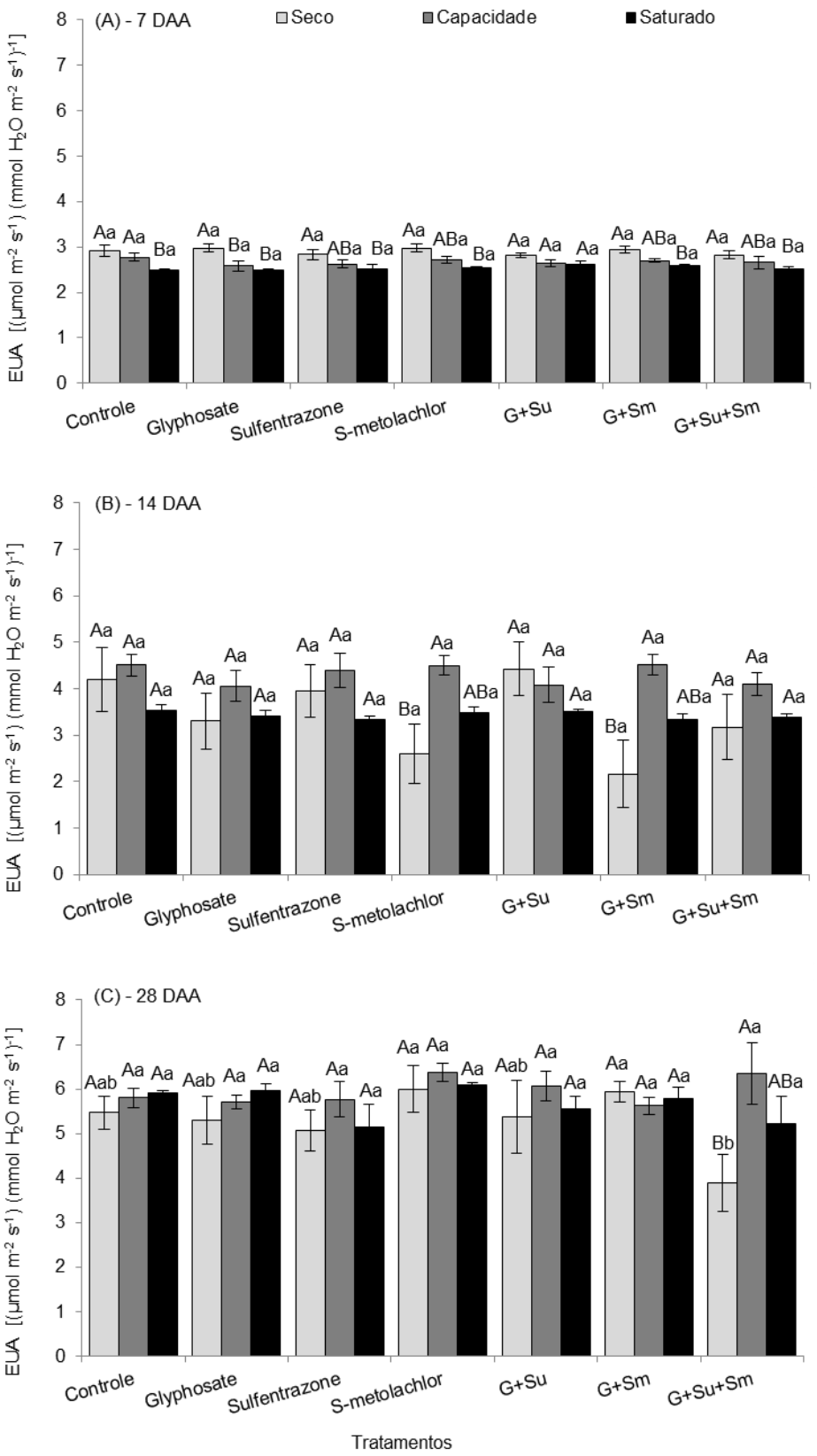

Figura 8. Eficiência no uso da água (EUA) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

O déficit hídrico tem efeitos em diversos processos fisiológicos das plantas, geralmente aumentando a resistência estomática, reduzindo a transpiração e conseqüentemente o suprimento de CO_2 para a realização do processo de fotossíntese (NOGUEIRA et al., 2001), como ocorreu aos 14 DAA ao avaliarmos a transpiração em folhas de soja. BATISTA et al. (2010) observaram em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidas a estresse hídrico reduções na transpiração e na condutância estomática, devido a uma diminuição na abertura dos estômatos. O autor relata que esse declínio foi uma consequência da redução do potencial hídrico quando as plantas foram submetidas a condições de deficiência hídrica.

Conforme relatado por Pereira et al. (2009) ao estudarem trocas gasosas e eficiência fotossintética em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos verificaram que a EUA aumentou sob deficiência hídrica, comportamento observado também neste trabalho. Os valores inferiores observados aos 14 DAA em solo seco nos tratamentos s-metolachlor e glyphosate+s-metolachlor, estão de acordo com Concenço et al. (2014) que estudaram características fisiológicas de *Crambe abyssinica* sob aplicação de herbicidas e observaram decréscimo nos valores de EUA sob aplicação de s-metolachlor.

Para a variável potencial osmótico (Ψs), houve diferença significativa entre os níveis de umidade de solo para os diferentes tratamentos herbicidas em todos os períodos avaliados, porém este comportamento não seguiu sempre a mesma tendência (Figura 9). Aos sete DAA, a maior redução no Ψs ocorreu em solo seco quando comparado aos demais. As plantas em solo saturado, embora tenham apresentado valores menos negativos de Ψs, esta foi a única condição de umidade do solo onde houve diferença entre os tratamentos herbicidas com valores significativamente mais negativos para o herbicida glyphosate em relação ao glyphosate+sulfentrazone (Figura 9A). Aos 14 DAA somente nos tratamentos herbicidas glyphosate e sulfentrazone houve diferença significativa, levando a uma maior redução em solo seco em comparação ao saturado (Figura 9B). Já aos 28 DAA somente nos tratamentos glyphosate+s-metolachlor e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor não houve diferença significativa. Analisando os herbicidas para cada tratamento umidade, em solo seco valores mais baixos foram observados para o herbicida

glyphosate, diferindo dos tratamentos glyphosate+s-metolachlor e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor. Em capacidade de campo não houve diferença para os herbicidas e, em solo saturado o controle diferiu do tratamento glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor, com valores mais baixos para os herbicidas combinados (Figura 9C).

A variação no Ψs representa o ajuste osmótico que as células vegetais buscam para minimizar os efeitos do estresse, seja este, no presente estudo, causado pelas diferentes umidades do solo, pelo efeito dos herbicidas ou de ambos. Este comportamento, de modo geral, seguiu aos resultados apresentados pela taxa fotossintética, a qual teve maior redução nas plantas em solo seco principalmente aos 14 e 28 DAA. Estando de acordo com Chaves Filho (2001) que relacionou a diminuição nos valores do potencial osmótico a uma resposta ao estresse hídrico, caracterizando um ajustamento osmótico, permitindo a manutenção da turgescência, crescimento e fotossíntese, sob baixos valores de potencial hídrico de folha (Morgan, 1984). Este mecanismo é, provavelmente, uma das estratégias que, atuando em conjunto com outros fatores, permitem à espécie sobreviver em condições estressantes que ocorrem em seu ambiente natural.

Os resultados descritos para a aplicação do herbicida glyphosate podem ser compreendidos pelo fato que tanto o glyphosate, quanto seus sais são sólidos cristalinos muito solúveis em água acentuando a deficiência hídrica nas folhas, causada pelo decréscimo do potencial osmótico que inibe o crescimento e metabolismo dos vegetais, diminuindo a fotossíntese e o consumo de assimilados nas folhas em expansão. Isso ocorre devido à redução do potencial hídrico do floema durante o estresse hídrico, que diminui o movimento de assimilados, visto que o transporte pelos elementos crivados depende de gradientes de pressão (TOMLIN, 1994; TAIZ e ZEIGER, 2013).

A resposta para redução do Ψs com a aplicação do herbicida sulfentrazone pode ser atribuída a solubilidade deste em água, que é de 490 mg L^{-1} (RODRIGUES e ALMEIDA, 2005), considerada elevada e dispensando a incorporação mecânica, mesmo quando aplicado no período seco. Além disso, segundo Grey et al. (1997) solos arenosos aumentam a disponibilidade do herbicida no solo para ser absorvido pela planta, fazendo com que ocorra redução no potencial osmótico.

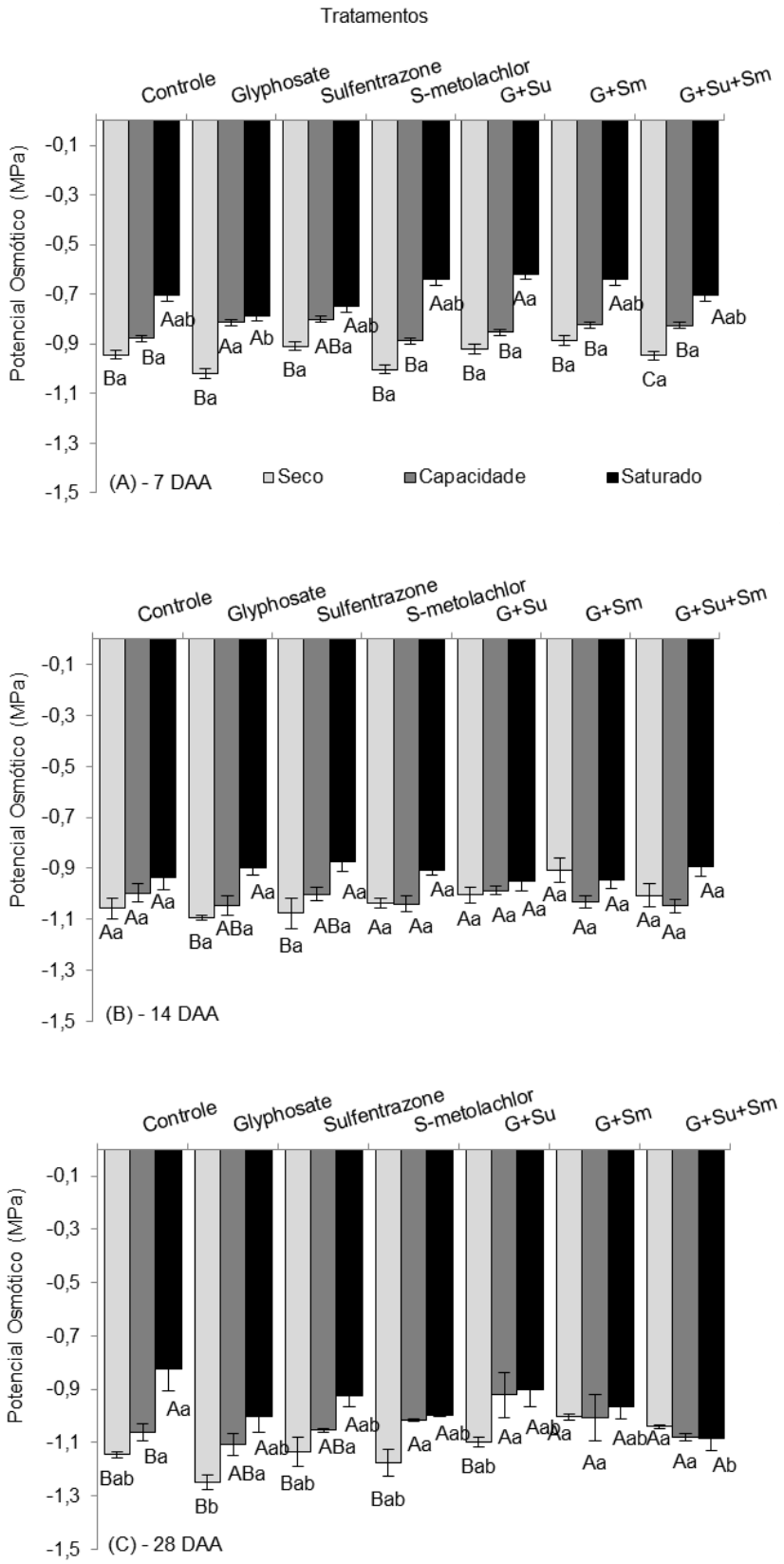

Figura 9. Potencial osmótico (MPa) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

Segundo Silva (2000), a eficiência dos herbicidas é influenciada pela temperatura, umidade relativa do ar, textura do solo, teor de matéria orgânica, pH, e pelo teor de umidade no solo. Isto significa que em solos secos, os compostos são firmemente adsorvidos não sendo prontamente disponíveis para a planta, enquanto que em solos úmidos eles se apresentam mais disponíveis à absorção das plantas, explicando a razão do s-metolachlor sofrer a influência dos níveis de umidade do solo.

A prolina é um composto osmoprotetor que se acumula nas células, estando relacionada ao ajustamento osmótico (Giannakoula et al., 2008). No presente estudo houve uma ampla variação no conteúdo deste aminoácido nas plantas de soja frente às diferentes condições de crescimento. Aos sete DAA, comparando as umidades do solo para os tratamentos herbicidas, houve diferença somente para glyphosate, s-metolachlor e na combinação destes (Figura 10A). Em solo seco, o maior teor de prolina foi observado para o tratamento herbicida glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor e na capacidade de campo para o tratamento glyphosate+s-metolachlor, não havendo diferença em solo saturado.

Aos 14 DAA, diferença nos teores de prolina foi observada no tratamento herbicida sulfentrazone (significativamente inferiores para solo seco e saturado), glyphosate+s-metolachlor e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor (menores valores em solo seco). Em solo na capacidade de campo, o herbicida sulfentrazone possivelmente levou a um aumento na síntese do aminoácido prolina, uma vez que seu teor foi significativamente superior (Figura 10B).

Ao prolongar o período de submissão das plantas as diferentes condições de umidade do solo e herbicidas, conforme observado aos 28 DAA, as plantas de soja cultivadas em solo saturado, de forma geral, mantiveram baixos os teores de prolina em relação ao solo seco e capacidade de campo, levando a diferença significativa nos tratamentos controle, glyphosate, s-metolachlor e glyphosate+s-metolachlor (Figura 10C). Em solo na capacidade de campo o aumento de prolina ocorreu no tratamento controle, glyphosate e glyphosate+s-metolachlor. Já em solo seco, este comportamento foi observado no controle e glyphosate somente, o que está de acordo com os valores de potencial osmótico, onde a maior redução em solo seco foi para o tratamento glyphosate (Figura 10C).

Para glyphosate+s-metolachlor observaram-se valores superiores em capacidade de campo (Figura 10A), porque acredita-se que aminoácidos livres, como a prolina, protejam os tecidos vegetais contra esses estresses (tratamentos herbicidas) por servirem como reserva de nitrogênio, protetor hidrofóbico de enzimas e estruturas celulares (MADAN et al., 1995; SOMAL e YAPA, 1998).

Ao fixar o nível de umidade de solo, em solo seco a combinação dos três herbicidas apresentou os maiores valores (Figura 10A), pois o estresse de déficit hídrico combinado com os três herbicidas aumentou a concentração de prolina pelos distúrbios no metabolismo das proteínas (LARCHER, 2000), e pela manutenção, provável, no potencial hídrico da folha, que em contrapartida aumenta o teor deste aminoácido, no sentido de se ajustar osmoticamente e defender as plantas da desidratação (COSTA, 1999). Em geral, as plantas exibem um aumento no conteúdo de prolina sob estresse abiótico, como a salinidade, déficit hídrico ou calor (SILVA et al., 2009; SILVEIRA et al., 2009), podendo desempenhar diferentes papéis em resposta ao estresse abiótico, tais como a eliminação de radicais livres, protegendo as estruturas celulares contra danos oxidativo e desnaturação (GIRIJA et al., 2002). Além disso, a prolina pode também servir como uma fonte de carbono e de nitrogênio para o crescimento das plantas, após o estresse (SILVEIRA et al., 2003).

Os maiores valores apresentados em capacidade de campo para o herbicida sulfentrazone, aos 14 DAA (Figura 10B), podem ser explicados pelos relatos de Roman et. al. (2000), onde este produto tem causado fitotoxidez a esta cultura quando aplicado em solo com baixos teores de matéria orgânica e argila, podendo causar danos significativos a esta oleaginosa, em condições ideais de umidade do solo (ROSSI et al., 2003). Para glyphosate+s-metolachlor e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor (Figura 10B) os menores valores em solo seco podem ser atribuídos à maior disponibilidade destes produtos na solução do solo quando elevou-se a umidade do solo, além da baixa degradação desses herbicidas no solo (KRAEMER et al., 2009).

Os baixos teores de prolina aos 28 DAA (Figura 10C) podem ser atribuídos aos mecanismos de adaptação da cultura em solo com maior umidade, tendo relação com a alta atividade fotossintética nestas condições.

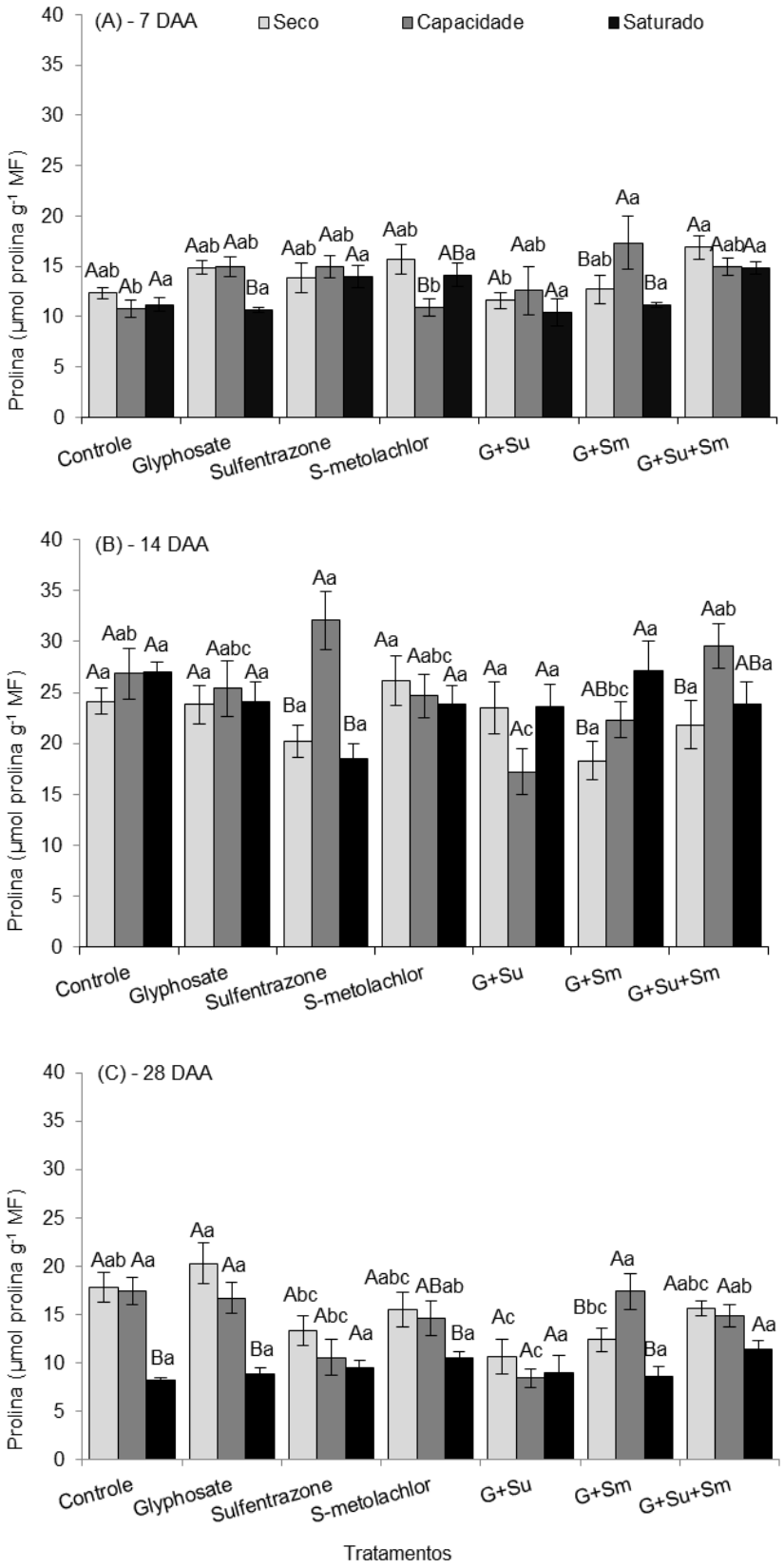

Figura 10. Teor de prolina em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2), uma das EROs mais estáveis, é um componente vital, em baixo nível celular, para o desenvolvimento, metabolismo e homeostase de diferentes organismos (BIENERT et al., 2006), pois está envolvido nos processos de aclimatação e defesa (SLESAK et al., 2007). Quanto aos teores deste nas plantas de soja do presente estudo, observou-se uma resposta diferenciada nos três períodos de avaliação dependendo dos níveis de umidade de solo e do tratamento herbicida. Na primeira avaliação, para todos os tratamentos herbicidas houve diferença entre os níveis de umidade do solo, sendo de forma geral, inferiores para solo saturado. Desta forma, em solo seco valor significativamente superior foi observado na combinação dos herbicidas glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor, em solo na capacidade de campo para os tratamentos glyphosate+sulfentrazone e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor e em solo saturado, embora em valores numéricos inferiores, também diferiram o tratamento glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor (Figura 11A).

Aos 14 DAA, para os níveis de umidade do solo somente os herbicidas sulfentrazone e s-metolachlor não diferiram. Em solo seco obtiveram-se os maiores valores H_2O_2 nos tratamentos glyphosate, glyphosate+sulfentrazone e sulfentrazone+s-metolachlor. Em capacidade de campo os tratamentos herbicidas não levaram a um aumento na produção de H_2O_2, uma vez que os valores foram inferiores ao controle (sem herbicida) e, para solo saturado, o sulfentrazone e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor induziram uma maior produção de H_2O_2 (Figura 11B).

Na terceira avaliação, também não houve aumento em H_2O_2 pela aplicação dos herbicidas para as plantas em solo na capacidade de campo. Em solo seco os maiores teores foram observados para glyphosate+s-metolachlor e em solo saturado para glyphosate, glyphosate+sulfentrazone, glyphosate+s-metolachlor e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor (Figura 11C).

Os valores inferiores de H_2O_2 em solo saturado aos sete DAA (Figura 11A) podem estar relacionados à indução de genes de neutralização ou utilização das EROs. Contudo, os pontos de regulação mais importantes são exatamente aqueles relacionados à economia de energia e ao controle da formação de EROs (BLOKHINA e FAGERSTEDT, 2010).

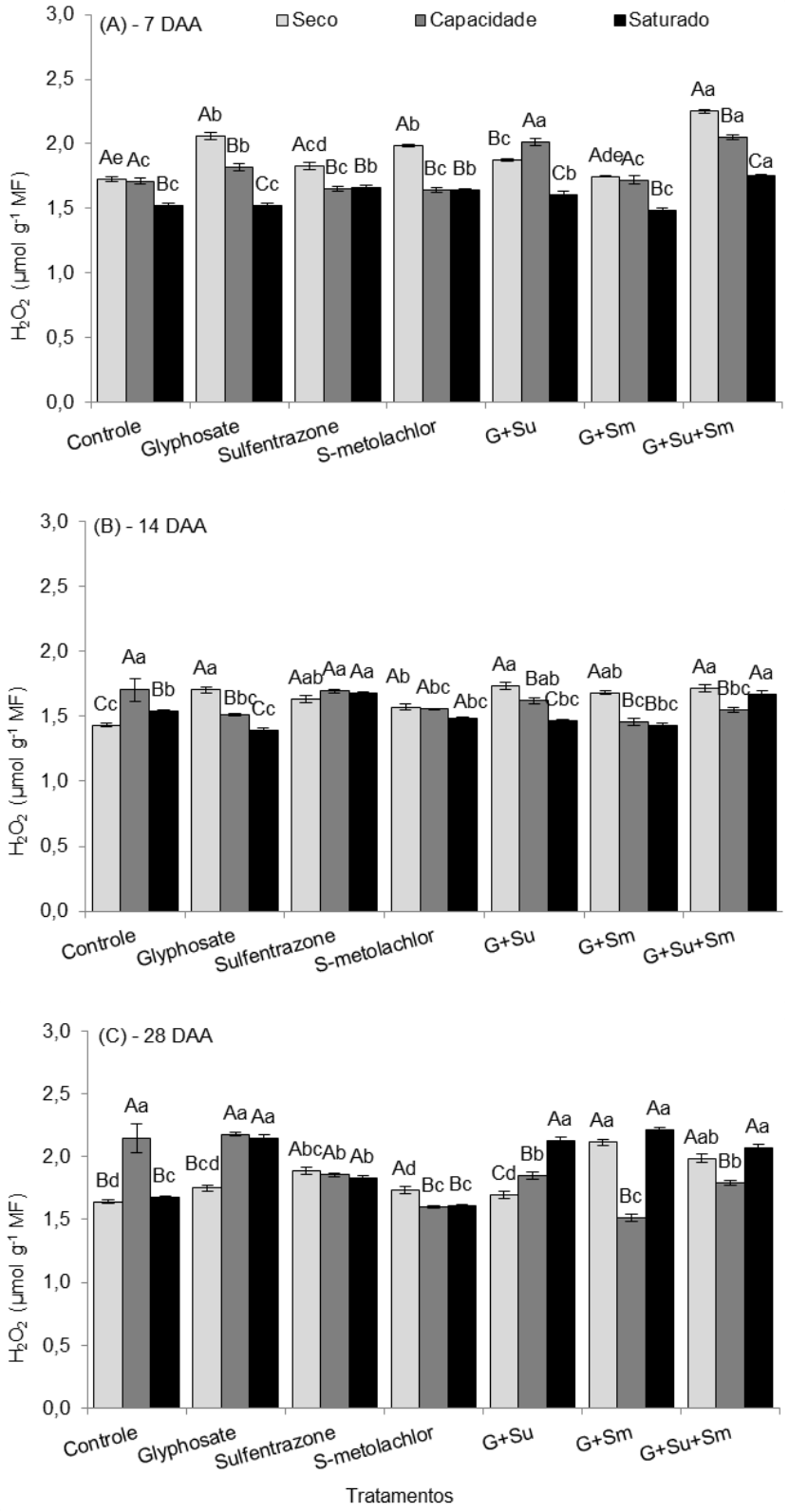

Figura 11. Conteúdo de H_2O_2 em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

O acúmulo de H_2O_2 em tecidos específicos e em quantidades apropriadas beneficia as plantas mediando aclimatação e tolerância cruzada a estresses bióticos e abióticos (BOWLER e FLUHR, 2000; LIN et al., 2004). Porém, neste estudo, ao submeter à cultura da soja por um maior período de estresse por saturação (Figura 11B e C), ou seja, 14 e 28 DAA induziram uma maior concentração de H_2O_2, podendo causar peroxidação lipídica e o dano oxidativo a proteínas.

Em solo seco, aos sete DAA (Figura 11A), o valor significativamente superior observado na combinação dos herbicidas glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor provavelmente seja um fator adverso que perturba a homeostase celular induzindo a produção de EROs, levando ao estresse oxidativo (FIDALGO et al., 2004) e, consequentemente, desestruturando processos fisiológicos e metabólicos nas plantas (SILVEIRA et al., 2001). Esses resultados corroboram com Marchezan et al. (2014) quando comparados os regimes hídricos, as plantas de *Luziola peruviana* e *Leersia hexandra* conduzidas sem submersão apresentaram maiores níveis de H_2O_2 do que plantas submersas.

Em solo saturado, na terceira avaliação (Figura 11C), para glyphosate, glyphosate+sulfentrazone, glyphosate+s-metolachlor e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor observaram-se os maiores valores, podendo relacionar que a presença do glyphosate com o aumento da disponibilidade hídrica, acentuou sua ação combinado com s-metolachlor e com sulfentrazone, devido à maior disponibilidade destes produtos na solução do solo e baixa degradação desses herbicidas no solo devido às condições de anaerobiose (KRAEMER et al., 2009). Há evidências que o glyphosate gera estresse oxidativo, apesar do modo de ação desse herbicida não ser exercido através de mecanismos geradores de radicais livres, no entanto esses mecanismos parecem estar mascarados pela grande proliferação de aminoácidos livres que podem atuar como antioxidantes (MOLDES, 2006).

Embora que, em baixas concentrações nas células, o H_2O_2 possa atuar como importante mensageiro sinalizador de diversas reações no metabolismo vegetal, quando sua produção é intensificada, esta EROs pode reagir com numerosos compostos celulares, que causam uma cascata de reações oxidativas, sendo o efeito mais comum, a degradação da membrana celular

(PROCHAZKOVA et al., 2001). Um dos metabólitos resultantes da peroxidação lipídica é o malondialdeído (MDA). Portanto, a sua determinação, ainda que de forma indireta, constitui-se em um indicador de avaliação do grau do estresse oxidativo formado pela ação isolada, ou mesmo conjunta, dos herbicidas considerados (KENYON et al., 1985; HALLIWELL e GUTTERIDGE, 1989).

Comparando-se os níveis de umidade do solo nos três períodos avaliados, para todos os tratamentos herbicidas houve diferença significativa (Figura 12). Aos sete DAA, em solo seco, o maior teor de MDA foi observado para glyphosate+sulfentrazone, embora que, para todos os tratamentos herbicidas, os valores tenham sido significativamente superiores ao controle (Figura 12A). Em solo saturado também foi mais expressivo nos tratamentos com herbicidas, destacando o glyphosate+s-metolachlor. Em capacidade de campo, os valores observados nos tratamentos herbicidas foram inferiores ao controle.

Aos 14 DAA a maior peroxidação lipídica nas plantas em capacidade de campo foi para o tratamento s-metolachlor e, em solo saturado para glyphosate, sulfentrazone, s-metolachlor e na combinação de glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor, relacionando mais uma vez a influência do nível de umidade do solo para facilitar a dissipação do princípio ativo e torná-los mais disponíveis. Em solo seco este efeito ocorreu somente para s-metolachlor (Figura 12B).

Ao prolongar o crescimento das plantas nos referidos tratamentos, é possível observar que, aos 28 DAA, alguns tratamentos herbicidas responderam de forma diferenciada em relação às avaliações anteriores (Figura 12C). Assim, a exemplo da capacidade de campo, aumento significativo na peroxidação ocorreu para glyphosate+sulfentrazone, em solo seco para glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor e em solo saturado, em concordância aos 14 DAA, o s-metolachlor.

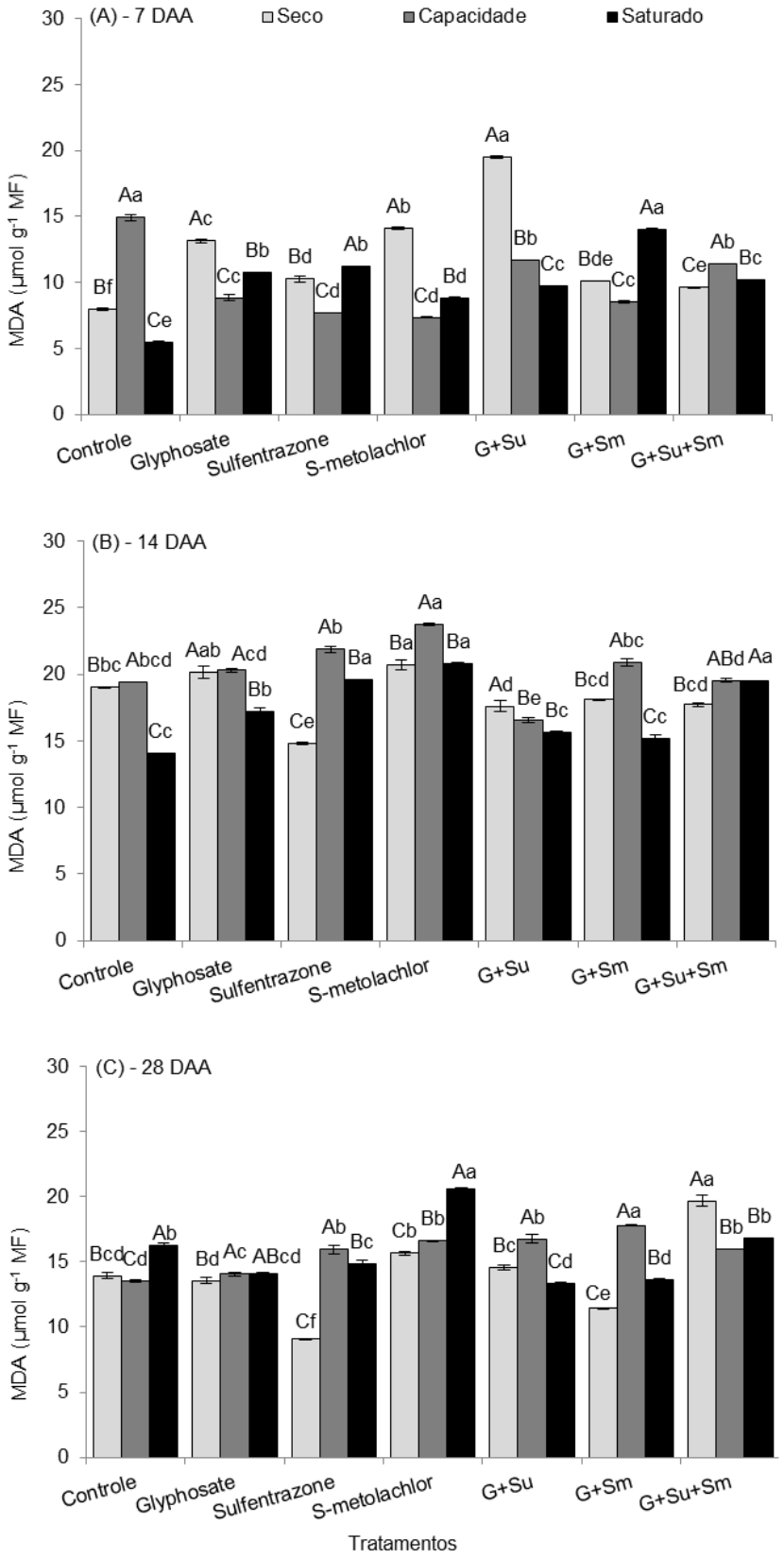

Figura 12. Conteúdo de MDA em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

Os maiores valores obtidos em solo seco para glyphosate, s-metolachlor e glyphosate+sulfentrazone aos sete DAA (Figura 12A), refletem que a ação dos herbicidas com o déficit hídrico intensifica a formação de radicais livres em plantas por limitar o “pool” de $NADP^+$ disponível para aceitar elétrons do fotossistema I. Dessa maneira, aumenta a probabilidade de transferência de energia de excitação para O_2, levando à produção de O_2^- e O_2 e, conseqüentemente, peroxidação lipídica (SMIRNOFF, 1993). Descrevendo o efeito dos herbicidas, estudos demonstram que a aplicação de glyphosate em folhas de milho aumentou significativamente a peroxidação lipídica e fluxo de íons, o que sugere que o glyphosate esta de alguma forma relacionado com a produção de EROs (SERGIEV et al., 2006). Para o s-metolachlor também se obteve valores superiores à média em solo seco, porque ele pertence ao grupo químico das cloroacetanilidas e presumivelmente é inibidor da síntese de proteínas e lipídeos nas espécies susceptíveis (RODRIGUES e ALMEIDA, 2005). Como se sabe, o modo de ação do herbicida sulfentrazone consiste em inibir a enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), fazendo com que haja acúmulo de protoporfirina em células tratadas com esse herbicida, ocasionando interação com o oxigênio para produção de formas reativas e, consequentemente, peroxidação dos lipídeos e morte celular, tendo seus sintomas agravados na redução da umidade de solo e em combinação com o glyphosate (BRIGHENTI et al., 2011). Com sulfentrazone e glyphosate+smetolachlor os maiores valores de peroxidação lipídica observados em solo saturado (Figura 12A) podem ser atribuídos à alta solubilidade do s-metolachlor, aliado a ação do glyphosate e da maior atividade do sulfentrazone que aumentam com o teor de umidade do solo (SOUTHWICK, 2009; MONQUERO et al., 2010).

A maior peroxidação obtida aos 28 DAA em solo seco, na combinação dos três herbicidas (glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor), deve-se ao fato de que as plantas ficaram por um maior período sobre o estresse de déficit hídrico, aumentando consideravelmente a produção de radicais livres que podem levar a uma cascata de eventos que inicia com a peroxidação de lipídeos, avançando para a degradação de membranas e morte celular (GREGGAINS et al., 2000).

Diversos estudos relatam que condições de estresse induz nas plantas o estresse oxidativo como consequência do aumento das EROs, como alternativa adaptativa que muitas espécies de plantas desenvolveram (SIMOVA-STOILOVA et al., 2009). A superóxido dismutase desempenha papel chave no sistema de defesa antioxidante através da dismutação do ânion superóxido (O_2^-) a H_2O_2 e O_2. No presente estudo, aos sete DAA entre os diferentes níveis de umidade do solo houve diferença significativa para os tratamentos controle, glyphosate, sulfentrazone, glyphosate+sulfentrazone e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor (Figura 13A). Em solo seco, atividade significativamente superior da SOD foi observada nos tratamentos glyphosate e sulfentrazone. Por outro lado, em solo saturado, houve menor atividade desta enzima em todos os tratamentos herbicidas comparado ao controle.

Aos 14 DAA, apenas a combinação dos herbicidas glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor resultou em variação na atividade da SOD comparando os níveis de umidade do solo (Figura 13B). Porém, de forma isolada, aumento significativo foi observado somente em solo saturado no mesmo tratamento herbicida (glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor), que também demonstrou elevada produção de H_2O_2 (Figura 11B).

Na última avaliação houve diferença para as umidades do solo em tratamento controle e glyphosate+sulfentrazone (Figura 13C). No tratamento controle, a maior atividade ocorreu em solo seco. Já no tratamento glyphosate+sulfentrazone, o aumento foi observado para as plantas do solo em capacidade de campo.

A maior atividade da SOD nas plantas de soja em solo seco, na primeira avaliação, com presença do herbicida glyphosate pode justificar o alto teor de H_2O_2 neste mesmo tratamento, uma vez que este é produto da ação desta enzima. Além disso, segundo relatos de Castrillo et al. (2001) e Artlip e Wisniewski (2002) em nível celular, membranas e proteínas podem ser danificadas aumentando as EROs devido a redução no nível de água no solo, sendo necessário aumentar a atividade desta enzima.

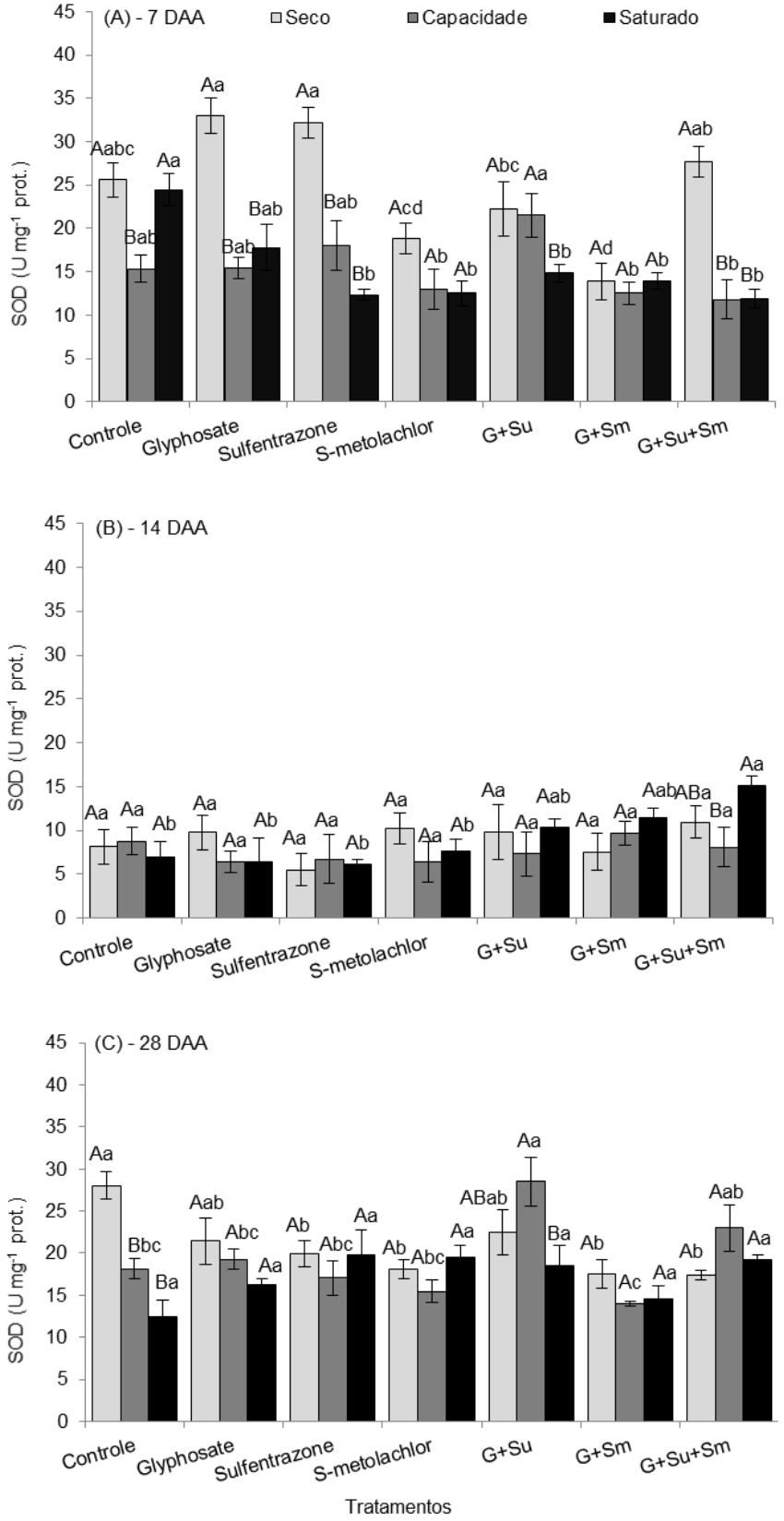

Figura 13. Atividade da enzima Superóxido dismutase (SOD) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

Segundo Andrade et al. (2013) há uma atividade crescente desta enzima em solo submetido ao encharcamento, corroborando com os dados deste estudo, onde em 14 DAA, observou-se elevada produção de H_2O_2 (Figura 11B) proporcionando aumento significativo da SOD em solo saturado (Figura 13B) no tratamento herbicida glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor.

No tratamento controle, a maior atividade da SOD em solo seco aos 28 DAA (Figura 13C), está de acordo com Zaefyzadeh et al. (2009) que ao estudarem genótipos de trigo submetidos ao déficit hídrico, encontraram um aumento de 27% na atividade da SOD. Como descrito por Sankar et al. (2007) essa enzima está diretamente ligada com a resposta a estresses bióticos e abióticos, podendo justificar o aumento observado para as plantas em capacidade de campo no tratamento glyphosate+sulfentrazone, pela maior disponilibilidade destes herbicidas na solução do solo, podendo alterar o metabolismo da cultura.

Para a atividade da enzima APX analisando os níveis de umidade do solo aos sete DAA, houve diferença para os tratamentos controle, glyphosate e glyphosate+s-metolachlor (Figura 14A). No controle, a maior atividade foi para solo em capacidade de campo e saturado, o levou ao aumento significativo em relação aos demais tratamentos herbicidas. Já em solo seco a maior atividade ocorreu em resposta ao herbicida glyphosate. Aos 14 DAA houve pouca variação para esta enzima entre os níveis de umidade do solo, ressaltando a atividade observada no tratamento glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor para solo saturado, que foi a mais expressiva entre todos os tratamentos, possivelmente resultado da maior atividade da SOD neste mesmo tratamento (Figura 13B). Aos 28 DAA não houve diferença significativa entre os fatores (Figura 14C).

Conforme Maia et al. (2012) ao descreverem que a APX é um dos mecanismos enzimáticos envolvidos na detoxificação das EROs, pode retratar o incremento da atividade desta enzima nos tratamentos contendo glyphosate+s-metolachlor como forma de reduzir o estresse oxidativo causado por estes herbicidas, em conformidade com Nunes e Vidal (2008) que observaram aumento na biodisponibilidade do s-metolachlor quando associado ao glyphosate, após precipitação de 43 mm em plantio direto.

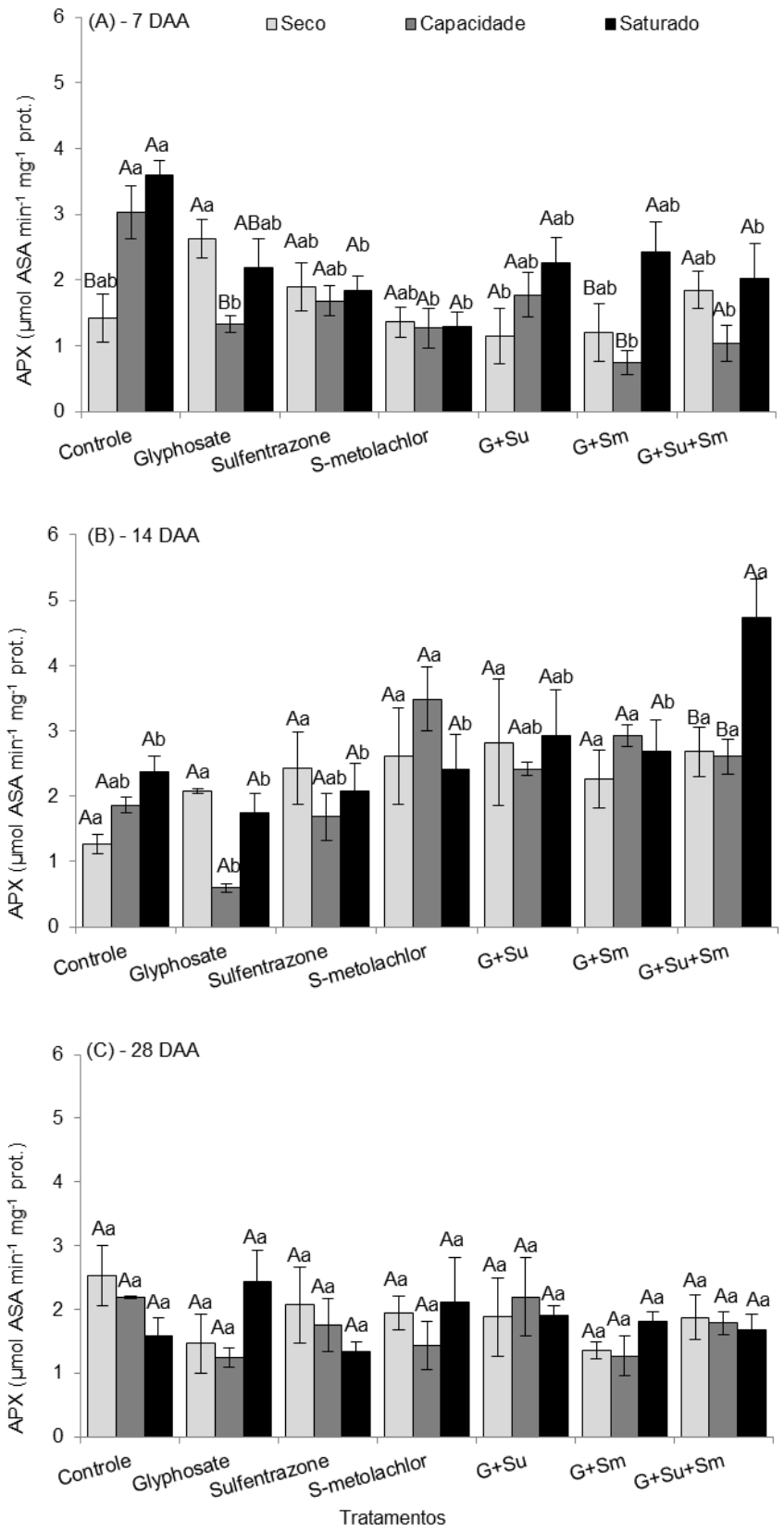

Figura 14. Atividade da Ascorbato peroxidase (APX) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

Para a CAT é importante destacar que o comportamento da atividade desta enzima foi muito similar a observado na SOD para os três períodos avaliados. Aos sete DAA houve diferença significativa entre os níveis de umidade de solo para os tratamentos herbicidas, exceto no controle (Figura 15A). Em solo seco, atividade significativamente superior ao controle obteve-se para os herbicidas glyphosate e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor. Em capacidade de campo, os herbicidas glyphosate+sulfentrazone resultaram em maior atividade da CAT e em solo saturado não houve diferença. Através disso, dentre os herbicidas aplicados em solo seco, o o glyphosate resultou em maior ativação das enzimas antioxidantes SOD e CAT, bem como maior produção de H_2O_2 aos sete DAA. Entretanto, após 28 DAA aumentou a síntese de prolina neste tratamento, o que leva ao ajuste osmótico, e consequente menor atividade enzimática.

Aos 14 DAA, para os níveis de umidade, os herbicidas sulfentrazone e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor resultaram em diferença significativa (Figura 15B). Comparando os efeitos dos herbicidas em cada condição de umidade do solo, neste período somente em solo saturado houve aumento significativo para o tratamento glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor, o que anteriormente também já foi relatado para as enzimas SOD e APX e teores de H_2O_2. Este resultado em conjunto leva a inferir que, além da produção do H_2O_2 pela alta atividade da SOD, estas EROs possivelmente foram produzidas por outras vias de síntese, a exemplo da fotorrespiração e ainda, a ação conjunta das enzimas APX e CAT não permitiu uma completa eliminação do H_2O_2, uma vez que seus valores quantificados (Figura 11B) foram superiores no tratamento herbicida em relação ao controle. Todo este processo pode justificar também, o aumento nos níveis de peroxidação de lipídios destas plantas (Figura 12B).

A atividade da CAT aos 28 DAA foi maior nas plantas de soja na ausência dos tratamentos herbicidas para o solo seco. Em capacidade de campo este comportamento ocorreu no tratamento herbicida glyphosate+sulfentrazone e em solo saturado somente com glyphosate (Figura 15C).

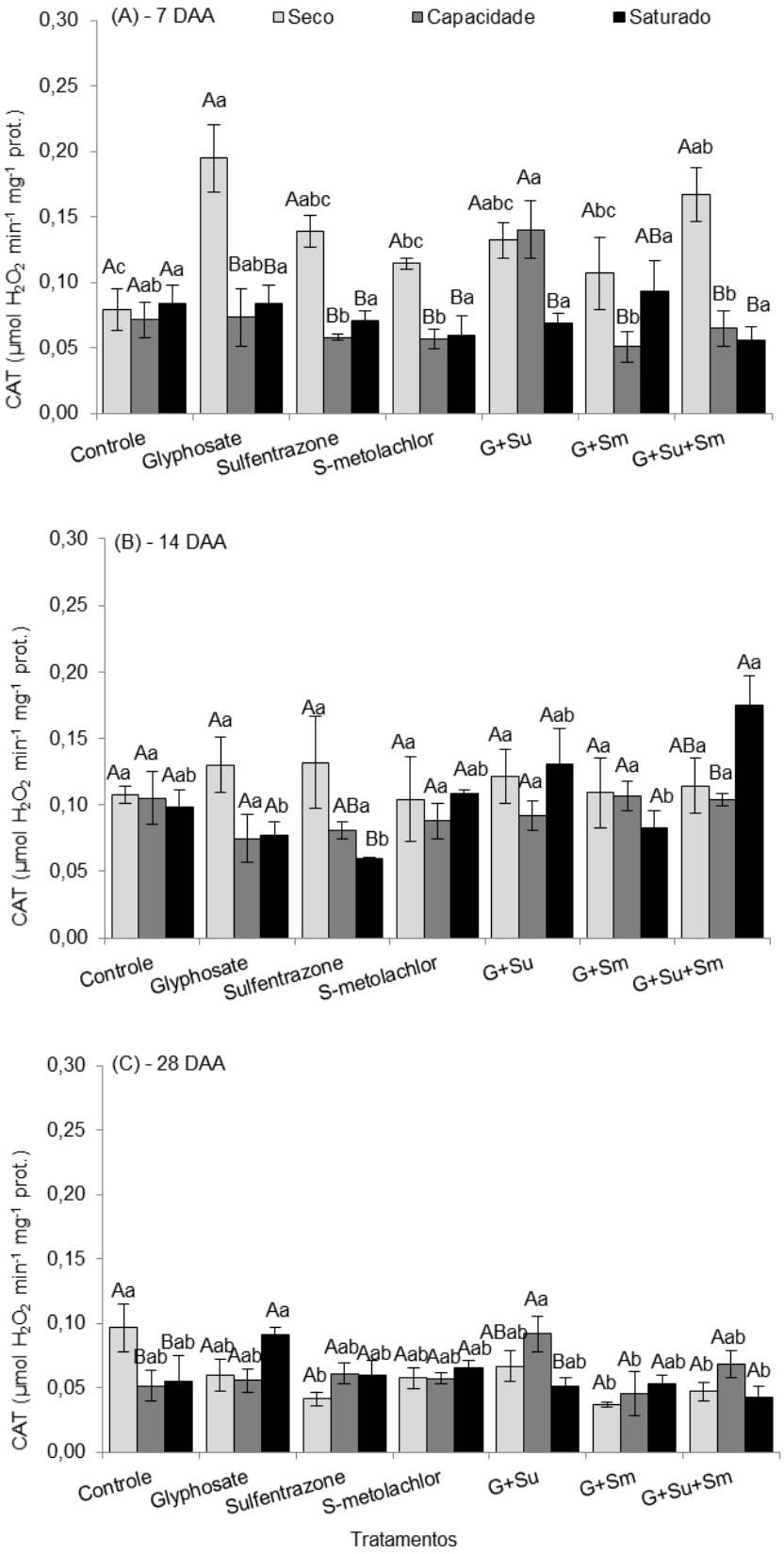

Figura 15. Atividade da enzima Catalase (CAT) em folhas de soja cv. BMX Potência RR aos sete (A), 14 (B) e 28 (C) DAA de herbicidas com variação na umidade do solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que, letras maiúsculas, comparam as diferentes umidades em cada tratamento, e letras minúsculas, comparam os tratamentos para cada nível de umidade do solo. Barras de erro representam os desvios-padrão das médias.

Sobre a atividade desta enzima ser superior ao controle em solo seco após sete DAA dos herbicidas glyphosate e glyphosate+sulfentrazone+s-metolachlor (Figura 15A), provavelmente está vinculado às maiores taxas de estresse oxidativo causados por estes produtos, conforme mencionado por Marchezan et al. (2014) ao verificarem que as misturas de herbicidas com o glyphosate causaram maiores taxas de estresse oxidativo em *Leersia hexandra* e *Luziola peruviana*.

A maior atividade da CAT em capacidade de campo aos 28 DAA dos tratamentos glyphosate+sulfentrazone (Figura 15C) pode ser reflexo do maior estresse sofrido por plantas em condições ótimas para absorção de herbicidas. E a redução da atividade desta enzima em solo saturado demonstra que há redução das atividades enzimáticas e não enzimáticas conforme é prolongado o tratamento anóxico (BLOKHINA et al., 2003).

4. CONCLUSÃO

O metabolismo das plantas de soja cv. BMX Potência RR é influenciado pelo teor de umidade do solo, em que o solo seco promove redução da taxa fotossintética, da condutância estomática e da transpiração, induzindo a produção de substâncias do metabolismo secundário, visando ativar mecanismos de defesa vegetal.

O glyphosate em solo seco após 28 dias da aplicação, induz a síntese de prolina relacionado ao ajustamento osmótico para minimizar os efeitos do estresse oxidativo.

Em solo saturado e capacidade de campo, as respostas desencadeadas pelos herbicidas glyphosate, sulfentrazone e s-metolachlor não seguem um padrão, porém, de maneira geral, levam a um menor estresse comparado ao solo seco.

Com base nos resultados deste estudo, pode-se inferir que a umidade do solo ideal para aplicação destes herbicidas para a cultura soja é em capacidade de campo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLAH, F. B.; GOFFART, J. P. Potential indicators based on leaf flavonoids content for the evaluation of potato crop nitrogen status. in: 11th ICPA Indianapolis Mi USA: pp. 1-18 (Mx) 2012.

ALEXANDER, M. Persistence and biological reaction of pesticides in soil. **Soil Science**. American Proccedings, v.29, p.1-7, 1965.

ALISTER, C.; KOGAN, M. Efficacy of imidazolinone herbicides applied to imidazolinone resistant maize and their carry over effect on rotational crops. **CropProtect**, v.24, n.4, p. 375379, 2005.

ANDRADE, C. A.; ALVES, J.D. O papel do peróxido de hidrogênio na tolerância de soja (*Glycine max*) ao alagamento. Dissertação de mestrado. 2013.

ANDRADE, F. M. C ; CASALI, V. W. D. Plantas medicinais e Aromáticas: relação com o ambiente, colheita e metabolismo secundário. Viçosa: UFV, 1999. 139 p.

ANDRÉA, M. M.; PAPINI, S.; PERES, T. B.; BAZARIN, S.; SAVOY, V. L. T.; MATALLO, M. B. Glyphosate: influência na biota do solo e ação de minhocas sobre sua dissipação em terra agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.1, p.95-100, 2004.

ANDRES, A. et al. Detecção da resistência de capim-arroz (Echinochloa sp.) ao herbicida quinclorac em regiões orizícolas do sul do Brasil. **Planta Daninha**, vol.25, n.1, p. 221-226, 2007.

ARTLIP, T.S.; WISNIEWSKI, M.E. Induction of proteins in response to biotic and abiotic stresses. In: PESSARAKLI, M. (Ed.) **Handbook of plant and crop physiology.** New York: Marcel Dekker, 2002. p.657-679.

AZEVEDO, R.A. et al. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to airand ozone fumigation, in the leaves and roots ofwild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v.104, n.2, p.280-292, 1998.

BAILEY-SERRES, J.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, n. 1, p. 313339, 2008.

BAILEY-SERRES, J.;FUKAO, T.; GIBBS, D.J.; HOLDSWOTH, M.J.; LEE, S.C.; LICAUSI, F.; PERATA, P.; VOESENEK, L.A.C.J.; van DONGEN, J.T. Making sense of low oxygen sensing. **Trends Plant Sci** 17: 129-138. 2012.

BANKS, A. P.; ROBINSON, E. L. Soil reception and activity of acetochlor, alachlor, and metolachlor as affected by wheat (*Triticum aestivum*) strawand irrigation. **Weed Sci**., v. 34, n. 3, p. 607-611, 1986.

BATES, L.S. ; WALDREN, R.P. ; & TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, 39:205-207, 1973.

BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 03, p. 475-481, 2010.

BIENERT, G. P.; SCHJOERRING, J. K.; JAHN, T. P. Membrane transport of hydrogen peroxide. Biochimica et Biophysica Acta, Amsterdam, v. 1758, p. 994-1003, Aug. 2006.

BLANCO, F.M.G.; VELINI, E.D.; BATISTA FILHO, A. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com cana-de-açúcar. Bragantia vol.69 no.1 Campinas, 2010.

BLASER H.U.; SPLINDER, F. Enantio selective catalysis for agrochemicals: the case historyofthe DUAL MAGNUM® herbicide. Chimmia, 1997, p. 297299.

BLOKHINA, O.B., VIROLAINEN, E., FAGERSTEDT, K.V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, v.91, n.2, p.179194, 2003.

BLOKHINA, O.; FAGERSTEDT, K. V. Reactive oxygen species and nitric oxide in plant mitochondria: origin and redundant regulatory systems. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, n. 4, p. 447-462, Apr. 2010.

BOONE, F.R.; VEEN, D.E. Mechanisms of crop responses to soil compaction. In: SOANE, B.D.; VAN OUWERKERK, C. (Ed.) Soil compaction in crop production. New York: **Elsevier**, 1994. p.237-264.

BORAL 500 SC BULA, 2015. Disponível em: < https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.adapar.pr.gov.br%2Farquivos%2FFile%2Fdefis%2FDFI%2FBulas%2FHerbicidas%2FBORAL_500_SC.pdf&ei=kH2ZVfPOKoLEgwSwroGgBA&usg=AFQjCNF995c8YuZW7jasC7j9-ncOQaBgbA> Acesso em 05 junho 2015.

BORTOLO, D.P.G.; MARQUES, P.A.A.; PACHECO, A.C. Teor e rendimento de flavonóides em calêndula (C*alendula officinalis* L.) cultivada com diferentes lâminas de irrigação. **Rev. bras. plantas med**. vol.11 no.4 Botucatu 2009.

BOVEY, R. W.; SENSEMAN, S. A. Response of food and forage crops to soil-applied imazapyr. **Weed Science**, v.46, n.5, p. 614-617, 1998.

BOWLER, C.; FLUHR, R. The role of calcium and activated oxygens as signals for controlling cross-tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 5, p. 241-246, 2000.

BRASMAX, 2015. Disponível em: <http://brasmaxgenetica.com.br/> Acesso em 05 de junho de 2015.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. **Biologia de plantas daninhas**. In: OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds.). Biologia e manejo de plantas daninhas. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 1-36.

BRUM, C. S.; FRANCO, A. A.; SCORZA JÚNIOR, R. P. Degradação do herbicida sulfentrazone em dois solos de Mato Grosso do Sul. **Rev. bras. eng. agríc.** ambient. vol.17 no.5 Campina Grande May 2013.

CAKMAK, I.; STRBAC, D.; MARSCHNER, H. Activities of hydrogen peroxide-scavenging enzymes in germination wheat seeds. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, n. 260, p. 127-132, Mar. 1993.

CÂMARA, G.M.S.; HEIFFIG, L.S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. In: CÂMARA, G.M.S. (Ed.). Soja: tecnologia de produção II. Piracicaba: ESALQ, LPV, 2000. cap. 5, p. 81-119.

CARCELLER, M.; PRYSTUPA, P.; LEMCOFF, J. H. Remobilization of proline and other nitrogen compounds from senescing leaves of maize under water stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 183, p. 6166, 1999.

CARTELAT, A.; CEROVIC, Z.G.; GOULAS, Y.; MEYER, S.; LELARGE, C.; PRIOUL, J.L.; BARBOTTIN, A.; JEUFFROY, M.H.; GATE, P.; AGATI, G.; MOYA, I. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Field Crops Research**, v. 91, p. 35-49, 2005.

CARVALHO, L.B., **HERBICIDAS**.1ª Edição. Lages – SC. 2013.

CARVALHO, A.J.A.; SOUZA, E.H.; MARQUES, C.T.S.; GAMA, E.V.S.; NACIF, P.G.S. Caracterização física dos solos dos quintais agroflorestais e cultivos monotípicos na região de Amargosa, Bahia. **Rev. Bras. de Agroecologia**. vol.2, n.2. pag. 941-944. 2007.

CASTRILLO, M.; FERNANDEZ, D.; TRUJILLO, I; GUENNI, L. Responses of ribulose-1,5-biphosphate carboxylase, protein content, and stomatal condcutance to water deficit in maize, tomato, and bean. Photosynthetica, v.39, p.221-226, 2001.

CEROVIC, Z.G.; SAMSON, G.; MORALES, F.; TREMBLAY, N.; MOYA, I. Ultra violet-induced fluorescence for plant monitoring: present state and prospects. **Agronomie**, v.19, p.543-578, 1999.

CHAVES FILHO, J.T.; SERAPHIN, E.S. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Rev. bras. Bot.** vol.24 no.2 São Paulo, June 2001.

CHAVES, M. M. et al. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, Oxford, v.89, p.907-916, 2002.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; FINGER, F.L.; CECON, P.R. Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.4, p.584-592, abr. 2012.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), 2011. Disponível em: <http://www.srb.org.br/noticias/article.php?article_id=3204 > Acesso em 19 de agosto de 2014.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), 2015. Acomp. safra bras. grãos, v. 2 - Safra 2014/15, n. 8 - Oitavo levantamento, maio 2015. http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2 Acesso em 04 de junho de 2015.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), 2004. 1º Acomp. safra bras. grãos, - Safra 2004/05, Primeiro levantamento de intenção de plantio safra 2004/2005- outubro de 2004. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&ordem=criterioSafra1&Pagina_objcmsconteudos=19#A_objcmsconteudos > Acesso em 04 jun. 2015.

CONCENÇO, Germani et al . Características fisiológicas de Crambe abyssinica sob aplicação de herbicidas. **Rev. de Ciências Agrárias**, Lisboa , v. 37, n. 3, set. 2014 . Disponível em <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871018X2014000300014&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 04 ago. 2015.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA, RS. Dessecação antecedendo a semeadura direta pode afetar a produtividade. **Potafós: Informações Agronômicas**, n.109, p. 14-15, 2005.

CORNIC, G.; BRIANTAIS, J.M. (1991) Partitioning of photosynthetic electron flow between CO_2 and O_2 reduction in a C_3leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO_2 concentrations and during drought stress. Planta 183:178-184.

CORRÊA, M. F.; PAZZIN, D.; COMPAGNONI, L.; NUNES, T. L.; CRIZEL, R. L.; SCHUCH, L. O. B.; VERNETTI JUNIOR, F. de J. Efeito do alagamento em soja na qualidade fisiológica das sementes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 17., 2011, Natal. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 21, n. 2, ago. 2011.

COSTA, R.C.L. Assimilação de Nitrogênio e Ajustamento Osmótico em Plantas Noduladas de Feijão-de-corda [Vigna unguiculata (L.) Walp] Submetidas ao Estresse Hídrico. Tese de doutorado. UFC/DBBM, março. 1999.

DAN HASS, F. Herbicide effects on plant structure, physiology and biochemistry. In: Pesticide interactions in crop production. New York: CRC Press, 1993. p.13-34.

DAYAN, F.E.; WEETE, J.D.; DUKE, S.O.; HANCOCK, H.G. Soybean (Glycinemax) cultivar differences in response to sulfentrazone. **Weed Science**, v.45, p.634-641, 1997.

Destino ambiental dos herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, n.3, p.629-639, 2009.

DODD, I.C. Soil moisture heterogeneity during deficit irrigation alters root-to-shoot signaling of abscisic acid. **Functional Plant Biology**, v. 34, p. 439-448, 2007.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, 1994. p.3-22. (Publication Number, 35).

DREW, M. C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. Annual **Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo alto, v. 48, n. 1, p. 223-250, 1997.

DUAL GOLD BULA, 2015. Disponível em: < https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.adapar.pr.gov.br%2Farquivos%2FFile%2Fdefis%2FDFI%2FBulas%2FHerbicidas%2FDUALGOLD.pdf&ei=h36ZVYOtOMedgwSbzoeIDg&usg=AFQjCNH8Rcy0WeL44ldd3xlNoBCZ5KR-2A> Acesso em 05 junho 2015.

EXTENSION TOXICOLOGY NETWORK. S-metolachlor (Dual Gold) herbicide profile 2. 2000. Disponível em: <http://extoxnet.orst.edu/ghindex.html>. Acesso em: 29 junho 2015.

FAO. El cultivo de la soja enlos trópicos: mejoramiento y producion. Roma, 1995, 254p.

FERNANDES A. G., MAFRA D. Zinco e câncer: uma revisão. Rev. Saúde. Com. v. 1, n. 2, p.144-156, 2005.

FERREIRA, F. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Mecanismos de ação de herbicidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. Algodão, uma fibra natural: **Anais Embrapa Algodão**, Campina Grande: 2005.

FERRI, M.V.W.; VIDAL, R.A. Controle de plantas daninhas com herbicidas cloroacetamidas em sistemas convencional e de semeadura direta. **Planta daninha.** vol.21, n.1, pp. 131-136. 2003.

FIDALGO, F. et al. Efeccts of long term salt stress on antioxidante defense systems, leaf water relations and cloroplast ultrastructure of potato plants. **Annals of Applied Biology**, v.145, n.2, p.185-192, 2004.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 6, p. 269-279, 2004.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBÓ, M. Keeping a positive balance under adverse conditions: responses of

photosynthesis ans respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, n. 127, p. 343-352, 2006.

FMC Corporation. Technical Bulletin of Sulfentrazone. Philadelphia: FMC Corporation, 1995. 6 p.

FONTES, P.C.R. Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose. Viçosa, MG: Arka Editora, 2011. 296p.

FOYER, C.H.; NOCTOR, G. Oxygen processing in photosynthesis: Regulation and signaling. **New Phytologist**, v.146, n.3, p.359-388, 2000.

FRANZ, J. E. Discovery, development and chemistry of glyphosate. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). The herbicide glyphosate. London: Butterworths, 1985. p. 3-17.

FREDEEN A. L.; GAMON, J. A.; FIELD, C. B. Responses of photosynthesis and carbohydrate partitioning to limitations in nitrogen and water availability in field grown sunflower. **Plant Cell Environ**, Oxford, v. 14, p. 963-970, 1991.

FRIDOVICH, I. Superoxide dismutases. In: Advances in enzymology and related areas of molecular biology. v.58, 1986, p. 61-97.

FURLAN, M. R. Cultivo de Plantas Medicinais. Cuiabá: SEBRAE, 1998. 137 p. (Coleção Agroindústria, v. 13).

GAZZONI, D.L.; 2013 A sustentabilidade da soja no contexto do agronegócio brasileiro e mundial – Documentos 344, **Embrapa Soja** / Londrina-PR. Novembro 2013.

GIANNAKOULA, A.; MOUSTAKAS, M.; MYLONA, P.; PAPADAKIS, I.; YUPSANIS, T. Aluminum tolerance in maize is correlated with increased levels of mineral nutrients, carbohydrates and proline, and decreased levels of lipid peroxidation and Al accumulation. **Journal of Plant Physiology**, v.165, p.385-396, 2008.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v.59, p.309-314, 1977.

GIBBERD, M. R. et al. Waterlogging tolerance among a diverse range of Trifolium accessions is related to root porosity lateral root formation and aerotropic rooting. **Annals of Botany**, Oxford, v. 88, n. 4, p. 579-589, 2001.

GIRIJA, C.; SMITH, B.N.; SWAMY, P.M. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycine betaine in peanut (Arachis hypogaea L.) **Environ Exp Bot** 47:1–10, 2002.

GOETZ, A.J. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Science**, v.38, p.421-428, 1990.

GOULAS, Y.; CEROVIC, Z.G.; CARTELAT, A.; MOYA, I. Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence. **Applied Optics**, v. 43, p. 4488-4496, 2004.

GREGGAINS, V.; FINCH-SAVAGE, W.E.; QUICK, W.P.; ATHERTON, N.M. Metabolism-induced free radical activity does not contribute significantly to loss of viability in moist-stored recalcitrant seeds of contrasting species. **New Phytologist**, v.148, p.267-276, 2000.

GREY, T.L.; WALKER, R.H.; WEHTJE, G.R.; HANCOCK, H.G. Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**, v.45, p.733738, 1997.

GRUYS, K. J.; SIKORSKI, J. A. Inhibitors of tryptophan, phenylalanine and tyrosine biosynthesis as herbicides.In: SINGH, B. K. **Plant amino acids:** biochemistry and biotechnology. New York: Marcel Dekker, 1999. p. 357-384.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. Free radicals in biology and medicine. Oxford: Oxford University Press, 1989. 543 p.

HARE, P. D.; CRESS, W. A. Metabolic implications of stress induced proline accumulation in plants. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 21, p. 79-102, 1997.

HARTZLER, B. Which glyphosate product is best?. Disponível em: <http:www.weeds.iastate.edu/mgmt/qtr01-1/glyphosateformulations.htm.> Acesso em: 19 de agosto de 2014.

HESS, D. F. Herbicide effects on plant structure, physiology, and biochemistry. In: ALTMAN, J. (org.). Pesticide Interactions in Crop Production: Beneficial and deleterious effects. **Boca Raton**: CRC Press, 1993. p. 13-34.

HIGGINS, J. M.; WHITWELL, T.; CORBIN, F. T.; CARTER JUNIOR, G. E.; HILL JUNIOR, H. S. Absorption, tranlocation, and metabolism of acifluorfen and lactofen in pitted morningglory (Ipomoea lacunosa) and ivyleaf morning glory (Ipomoea hederacea). **Weed Science**, Champaign, v. 36, n. 2, p. 141-145, 1988.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I.The water-culture method for growing plants without soil. **California Agricultural Experimental Station**.Circ. n.347, 1938.

HU, W.; SHAO, M. A.; WANG, Q. J.; e REICHARDT, K.. Soil water content temporal spatial variability of the surface layer of a Loess Plateau hillside in China. **Sci. agric..** 2008, vol. 65, no. 3, pp. 277-289.

HURA, T.; HURA, K.; GRZESIAK, M.; RZEPKA, A. Effect of long-term drought stress on leaf gas exchange and fluorescence parameters in C3 and C4 plants. Acta **Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 29, p. 103-113, 2007.

INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA A CULTURA DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA, safras 2014/2015 e 2015/2016. Documentos 382. Julho, 2014.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change – Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change; Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the **Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2014.

JAWORSKI, E.G. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 20, p. 1195-1198,1972.

JONES, C. A. C4 grasses and cereals: growth, development and stress response. New York: John Wiley, 1985. 419 p.

KENYON, W. H.; DUKE, S. O.; VAUGHN, K. C. Sequence of effects of acifluorfen on physiological and ultrastructural parameters in cucumber cotyledon discs. **Pest. Biochem. Physiol.**, v. 24, n. 2, p. 240-250, 1985.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 452 p.

KOGAN, M.; BAYER, D. E. Herbicide up take as influenced by plant water status. **Pestic. Biochem. Physiol**., v. 56, p.174-182, 1996.

KRAEMER, A.F. et al. Persistência dos herbicidas imazethapyr e imazapic em solo de várzea sob diferentes sistemas de manejo. **Planta Daninha**, v.27, n.3, p.581-588, 2009.

KRAEMER, A. F.; MARCHESAN, E.; AVILA, L. A.; MACHADO, S. L. O; GROHS, M. Destino ambiental dos herbicidas do grupo das imidazolinonas – Revisão, 2009.

KRAMER, P. J. Water relations of plants. New York: Academic, 1983. 489 p.

KRON, A.P. et al. Water deficiency at different developmental stages of glycine max can improve drought tolerance. Bragantia, Campinas, v.67, p.43-49, 2008.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: RiMa,. 531p. 2000.

LAWLOR, D.W. The effects of water deficit on photosynthesis. In: Smirnoff N (ed), Environmental and plant metabolism-flexibility and acclimation, pp.129-160. **Bios Scientific** Publisher, Oxford. 1995.

LAZCANO-FERRAT, I.; LOVATT, C. J. Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of Phaseolus vulgaris L. and P. acutifolius A. Gray during water deficit. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 467-475, 1999.

LEE, H.J.; DUKE, S.O.; DUKE, M.V. Cellular localization of protoporphyrinogenoxidizing activities of etiolated barley (Hordeumvulgare L.) leaves. **Plant Physiology**, v.102, p.881-889, 1993.

LIEBL, R. Cell growth inhibitors (cloroacetamides, cabomothioates, napropamide, bensulide), In Liebl, R. Herbicide action. West Lafayette: Purdue University, v. 1, 1995. p. 200-224.

LOBELL, D. B.; FIELD, C. B. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. USA. **Environmental Research Letters**, p.1-7, 2007.

LOCKE, M. A.; ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Integrating soil conservation practices and glyphosate-resistant crops: impacts on soil. **Pest Management Science**, New York, v.64, n. 4, p.457–469, 2008.

LOUX, M.; REESE, K. Effect of soil typeand pH on persistence and carryover of imidazolinones herbicides. **Weed Technology**, v.7, n.2, p. 452-458, 1993.

MA, Y. et al. Enantio selective degradation of rac-metolachlor and S-metolachlor in soil. **Pedosphere**, v. 16, n. 4, p. 489-494, 2006.

MACHADO, A. de A.; CONCEIÇÃO, A.R. WinStat: sistema de análise estatística para Windows. Versão 2.0. Pelotas: UFPel/NIA, 2003.

MADAN, S. et al. Proline and proline metabolising enzymes in in-vitro selected NaCl-tolerant Brassica juncea L. under salt stress. **Ann. Bot.**, London, v. 76, p. 51-57, 1995.

MAIA, Josemir Moura et al. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade. **Acta Bot. Bras.** 2012, vol.26, n.2, pp. 342-349.

MANY, L.; BARRIUSO, E. Glyphosate adsorption in soil compared to herbicides replaced with the introduction of glyphosate resistant crops. **Chemosphere**, Oxford, v.61, n. 6, p.844-855, 2005.

MAPA. Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio. Informe de produtos. 2013b. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/internacional/indicadores-e-estatisticas/informes-de-produtos> Acesso em 19 de agosto de 2014.

MARCHEZAN, E. Produção animal em várzea sistematizada cultivada com forrageiras de estação fria submetidas a diferentes níveis de adubação. **Ciência Rural**, v.32, n.2, p.303-308, 2002.

MARCHEZAN, M.G.; AVILA, L.A.; SCHAEDLER, C.E.; AMARANTE, L.; ZIMMER, M. Alterações bioquímicas em plantas daninhas em resposta ao estresse causado por herbicidas e a submersão total de plantas. Dissertação de Mestrado. 2014.

MARTINEZ, C. O.; SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F.; ABAKERLI, R. B.; MAIA, A. H. N.; DURRANT, L. R. Microbial degradation of sulfentrazone in a Brazilian rhodichapludox soil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.41, p.209-217, 2010.

MATERN, V.; GRIMMIG, B. Natural phenols as stress metabolites. Acta **Horticulturae**, n. 381, p. 448-462, 1994.

MATRINGE, M.; CAMADRO, J.M.; LABBE, P.; SCALLA, R. Protoporphyrinogen oxidase as a molecular target for diphenylether herbicides. **Biochem. Journal**, v.260, p.231-235, 1989.

MATSUMOTO, H.; DUKE, S.O.; LYDON, J.; BECERRIL, J.M.; SHERMAN, T.D.; LEHNEN JR., L.P.; Protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. **Weed Science**, v.39, p.465-473, 1991.

MATSUMOTO, H.; KASHIMOTO, Y.; WARABI, E. Basis for commom chickweed (Stellaria media) tolerance to oxyfluorfen. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 64, n. 1, p. 47-53, 1999.

MICHALAK, A. Phenolic compounds and their antioxidante activity in plants growing under heavy metal stress. **Polish Journal of Environmental Studies**. v.15, n.4, p.523-530, 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2015. “Soja” Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja> Acesso em 09 de junho de 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2015. “Exportações do agronegócio brasileiro somaram US$ 7,07 bi em abril de 2015.” Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2015/05/exportacoes-do-agronegocio-brasileiro-somaram-uss-7-bi-em-abril-de-2015> Acesso em 05 de junho de 2015.

MOLDES, C.A. Respostas de enzimas antioxidantes á aplicação do herbicida glyphosate em variedades de soja transgênica e não transgênica. Tese Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006, 92p.

MOLLER, I. M.; JENSEN, P. E.; HANSSON, A. Oxidative modifications to cellular components in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p. 459481, 2007.

MONQUERO, P. A.; SILVA, P. V.; SILVA HIRATA, A. C.; TABLAS, D. C.; ORZARI, I. Lixiviação e persistência dos herbicidas Sulfentrazone e Imazapic. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 1, p. 185-195, 2010.

MONSANTO, 2015. Disponível em: < http://www.monsanto.com/global/br/produtos/pages/soja-rr.aspx> Acesso em 05 junho 2015.

MORGAN, J.M. Osmoregulation and water stress in higher plants. Annual **Review of Plant Physiology**, Bethesda, v.35, p.299-319, 1984.

MOSER, H.; RIHS, G.; SAUTER, H. P.; BÖHNER, B. Atropisomerism, chiral center and activity of metolachlor. In: Miyamoto, J.; Kearney, P.C.; Doyle P.; Fujita, T. IUPAC Pesticide Chemistry: human welf are and enviroment. Oxford: Pergamon Press, 1983, p. 315-320.

MOYER, J. R. Effect of soil moisture on the efficacy and selectivity of soil-applied herbicides. **Rev. Weed Sci.**, v. 3, p. 19-34, 1987.

NAKANO, Y.; ASADA, K. hydrogen peroxide is scavenged by ascobate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, v.22, n.5, p.867-880, 1981.

NEILL, S.; DESIKAN, R.; HANCOCK, J. Hidrogen peroxide signaling. Curr Opin **Plant Biololy**, Netherlands, v. 5, p. 388-395, 2002.

NOGUEIRA, R. J. M. C., MORAES, J. A. P. V., BURITY, H. A., 2001 Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleira submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 13, n.1, p. 75-87.

NUNES, A.L.; VIDAL, R.A..Persistência do herbicida S-metolachlor associado ao glyphosate ou paraquat em plantio direto. **Planta daninha** . 2008, vol.26, n.2, pp. 385-393. ISSN 1806-9681.

NÚÑEZ, Miriam; MAZORRA, L. M; REYES, Yanelis y MARTINEZ, Lisbel. Los brasinoesteroides y las respuestas de las plantas a estrés abióticos: Una visión actualizada. cultrop vol.31 no.2 La Habana abr.-jun. 2010

OHMES, G. A.; HAYES, R. M.; Mueller, T. C. Sulfentrazone dissipation in a Tennessee soil. **Weed Technology**, v.14, p.100-105, 2000.

OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J. Plantas daninhas e seu manejo. Guaíba: **Agropecuária**, 2001. 362 p.

ONU, 2013. Disponível em: <http://www.onu.org.br/populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu/> Acesso em: 19 de agosto de 2014.

PAIVA, A.S.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D.; Turco, J.E.P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Eng. Agríc.** vol.25 no.1 Jaboticabal Jan./Apr. 2005

PATERSON, M. Gliphosate Análisis of Risks to Endangered and Threatened Salmon and Steelhead. Disponível em <http://www.epa.gov/espp/litstatus/effects/glyphosate-analysis.pdf> Acesso em 20 de agosto de 2014.

PEREIRA, L. F. M. ; SILVA, A. H. A. ; GONÇALVES, E. R. ; VERÍSSIMO, V. ; CAVALCANTE, P. G. S. ; BARBOSA, T. P. ; DUARTE, W. G. ; CRUZ, S. J. S. ; SILVA-JR., I. M. ; ENDRES, L. . Trocas gasosas e eficiência fotossintética em variedades de cana-de açúcar submetidas a dois regimes hídricos. In: IX **Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal Rural de Pernambuco**, Recife, 2009.

PIETTA, P.G. Flavonoids as antioxidants. **Journal of Natural Products**, v.63, p.1035-1042, 2000.

PIRES, J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 4150, 2002.

PRESTON, A. C. et al. A decade of glyphosate-resistant Lolium around the world: mechanisms, genes, fitness, and agronomic management. **Weed Sci.**, v. 57, n. 4, p. 435-441, 2009.

PROCHAZKOVA, D.; SAIRAM, R.K.; SRIVASTAVA, G.C.; SINGH, D.V. 2001. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. **Plant Science** 161, 765-771.

QUINN, J. P. Interactions of the herbicides glyphosate and glufosinate (phosphinothricin) with the soil microflora. In: ALTMAN, J. (Ed.) Pesticides interactions in crop production - beneficial and deleterious effects. Boca Raton: CTC Press, 1993. p. 245-265.

REDDY, K.N.; LOCKE, M.A. Sulfentrazone sorption, desorption, and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Science**, v.46, p.494-500, 1998.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478p.

RÊGO, G.M.; POSSAMAI, E. Avaliação dos teores de clorofila no crescimento de mudas de Jequitibá-Rosa (Cariniana legalis). Comunicado Técnico 128, Colombo, PR, **EMBRAPA**, Dezembro, 2008.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. 5.ed. Londrina: Edição dos Autores, 2005. 592 p.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. 6.ed. Londrina: Edição dos autores, 2011. 697 p.

ROMAN, E. S.; TOSSO, F.; MARINHO, J. A. A. Respostas de cultivares de soja a herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.1, n.2, 2000, p.133-137.

ROMERO, P., BOTÍA, P. Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, p. 158-173, 2006.

ROSA L., DILLENBURG L., FORSETH I. Responses of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. **Ann Botany**, v.67, p.51-58. 1991.

ROSSI, C. V. S.; ALVES, P. L. C. A.; MARQUES JÚNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone em nitossolo vermelho e em neossolo quartzarênico. **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 207-215, 2003.

ROUNDUP ORIGINAL BULA. Disponível em: https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved

=0CDUQFjAH&url=http%3A%2F%2Fwww.adapar.pr.gov.br%2Farquivos%2FFile%2Fdefis%2FDFI%2FBulas%2FHerbicidas%2Froundup_original.pdf&ei=5WeZVY-sEIiXNoH2gvAI&usg=AFQjCNFxeOZaHCagc5sYg7S-f4vXei2_ag Acesso em 05 junho 2015.

SALA, A.; TENHUNEN, J. D. Simulations of canopy net photosynthesis and transpiration in Quercus ilex L. under the influence of seasonal drought. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v. 78, p. 203-222, 1996.

SANYAL, D.; KULSHRESTHA, G. Effects of repeated metolachlor applications on its persistence in field soil and degradation kinetics in mixed microbial cultures. **Biol. Fert. Soils**, v. 30, n. 2, p. 124-131, 1999.

SANKAR, B., JALEEL, C. A., MANIVANNAN, P., KISHOREKUMAR, A., SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. (2007). Effect of paclobutrazol on water stress amelioration through antioxidants and free radical scavenging enzymes in Arachis hypogaea L. Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces, 60, 229-235.

SANTOS, J.B.; SANTOS, E.A.; FIALHO, C.M.T.; SILVA, A.A.; FREITAS, M.A. M. Época de dessecação anterior à semeadura sobre o desenvolvimento da soja resistente ao glyphosate. **Planta Daninha**, v.25, p.869-875, 2007.

SANTOS, G.; FRANCISCHINI, A.C.; CONSTANTINS, J.; OLIVEIRA JR., R.S. *Carryover* proporcionado pelos herbicidas S-metolachlor e trifluralin nas culturas de feijão, milho e soja. **Planta Daninha** vol.30 no. 4 Viçosa Oct./Dec. 2012.

SCHOFFEL, Edgar Ricardo et al. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. **Ciencia Rural**. Santa Maria, fev. 2001, v. 31, n. 1.

SERGIEV, I. G. et al. The phenylurea cytokinin 4PU-30 protects maize plants against glyphosate action. **Pest. Biochem. Physiol.**, v. 85, n. 3, p. 139-146, 2006.

SERRES, B. J.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding stress: acclimations and Genetic Diversity. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, p. 313–339, jun. 2008.

SHALHEVET, J. Plants under salt and water stress. In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. **Plant adaptation to environmental stress**. London: Chapman & Hall, 1983. cap 7, p.133-54.

SHANER, D.L.; MALLIPUDI, N.M. Mechanisms of selectivity of the imidazolinones. In: SHANER, D.L.; O'CONNOR, S.L. (Eds.). The imidazolinone herbicides. Boca Raton: CRC Press, Inc., p.91-102. 1991.

SHEVYAKOVA, N. I. Metabolism and the physiological role of proline in plants under conditions of water and salt stress. **Soviet Plant Physiology**, New York, v. 30, p. 597608, 1984.

SILVA, A.A. et al. Controle de plantas daninhas. Brasília, DF: ABEAS, 2000. p. 260.

SILVA, A. A. et al. Competição entre plantas daninhas e culturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. p. 17-61.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 83-148.

SILVA, E.N. et al. Contribution of organic and inorganic solutes to osmotic adjustment of physic nut under salinity. **Pesqui Agropecu Bras** 44:437–445, 2009

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. Drenagem superficial para diversificação do uso dos solos de várzea do Rio Grande do Sul. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2004. 10 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 40). Disponível em: < http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/ item/30790/1/Circular-40.pdf>. Acesso em: 09 de junho de 2015.

SILVEIRA, J.A.G.; MELO, A.R.B.; VIÉGAS, R.A.; OLIVEIRA, J.T.A. Salinity-induced effects on nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.46, n.2, p.171-179, 2001.

SILVEIRA, J.A.G. et al. Proline accumulation and glutamine synthetase activity are increased by salt-induced proteolysis in cashew leaves. **J. Plant Physiol**. 160, 115– 123, 2003.

SILVEIRA, J.A.G. et al. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in Atriplex numularia. **Environ Exp Bot** 66:1–8, 2009.

SIMOVA-STOILOVA, L.; DEMIREVSKA, K.; PETROVA, T.; TSENOV, N.; FELLER, U. (2009). Antioxidative protection and proteolytic activity in tolerant and sensitive wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties subjected to long-term field drought. **Plant Growth Regul**. 58, 107–11710.1007/s10725-008-9356-6

SLESAK, I. et al. The role of hydrogen peroxide in regulation of plant metabolism and cellular signalling in response to environmental stresses. **Acta Biochimica Polonica**, Warszawa, v. 54, p. 39-50, Feb. 2007.

SMART, R. E.; BINGHAM, G. E.; Rapid Estimates of Relative Water Content. **Plant Physiol**. Vol. 53, 258-260, 1974.

SMIRNOFF, N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and dessiccation. **New Phytol**. 125:27-58. 1993.

SOLOMON, K. R.; THOMPSON, D. G. Ecological risk assessment for aquatic organisms from over-water uses of glyphosate. **Journal of Toxicology and Environmental Health B**, Philadelphia, v.6, n.3, p.211-246, 2003.

SOMAL, T. L. C.; YAPA, P. A. J. Accumulation of proline in cowpea under nutrient, drought, and saline stresses. **J. Plant Nutr.**, Moticello, v. 21, n.11, p. 2465-2473, 1998.

SONG, N.H. Biological responses of wheat (Triticum aestivum) plants to the herbicide chlorotoluron in soils. **Chemosphere**, v.68, n.9, p.1779-1787, 2007.

SOUTHWICK, L. M.; APPELBOOM, T. W.; FOUSS, J. L. Runoff and leaching of metolachlor from Mississippi river alluvial soil during seasons of average and below-average rainfall. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 57, n. 4, p. 1413-1420, 2009.

STEPNIEWSKI, W.; GLINSKI, J.; BALL, B.C. Effects of compaction on soil aeration properties. In: SOANE, B.D.; VAN OUWERKERK, C. (Ed.) Soil compaction in crop production. New York: Elsevier, 1994. p.167-169.

STOUGAARD, R. N.; SHEA, P. J.; MARTIN, A. R. Effect of soiltypeand pH on adsorption, mobility and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 38, n. 1, p. 6773, 1990.

SWANTEK, J.M.; SNELLER, C.H.; OLIVER, L.R. Evaluation of soybean injury from sulfentrazone and inheritance of tolerance. **Weed Science**, v.46, p.271277, 1998.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Respostas e Adaptações ao Estresse Abiótico. **Fisiologia Vegetal.** 5.ed. Porto Alegre: Artimed, 2013. p.763 - 780.

TIMM, L. C.; PIRES, L.F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R.C.J.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J.C.M.; BACCHI, O.O.S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Sci. agric.** 2006, vol. 63, no. 1, pp. 55-64.

THEODORIDIS, G.; BAHR, J.T.; HOTZMAN, F.W.; SEHGEL, S.; SUAREZ, D. P. New generation of protox-inhibiting herbicides. **Crop Protection**, v.19, p.533-535, 2001.

TOMINAGA, T.T.; CÁSSARO, F.A.M.; BACCHI, O.O.S.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J.C.M.; Timm, L.C. Variability of soil water content and bulk density in a sugarcane field. **Australian Journal of Soil Research**, v.40, p.605-614, 2002.

TOMLIN, C. Pesticide manual. 10.ed. Cambridge: British Crop Protection Counciland **The Royal Society of Chemistry**, 1994. 1341 p.

TONI, L. R. M.; SANTANA, H.; ZAIA, D. A. M. Adsorção de glyphosate sobre solos e minerais. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.4, p.829-833, 2006.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da ALS. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO Jr., A. **Herbicidologia.** Porto Alegre. p. 25-36, 2001.

USDA (United StatesDepartmentofAgriculture) Disponível em: <http://www.usdabrazil.org.br/home/index.asp> Acesso em 19 de agosto de 2014.

VAUGHN, K. C.; DUKE, S. O. Mechanisms of resistance. In: EBING, W. Chemistry of plant protection. New York: **Springer-Verlag**, 1991. p. 142-169.

VELIKOVA, V., I. YORDANOV & A. EDREVA. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. **Plant Science**, v.151, p. 59-66, 2000.

VERNETTI JUNIOR, F. de J.; NUNES, T.L. Avaliação de cultivares da Rede Soja Sul de pesquisa do grupo de maturidade seis tolerantes ao glifosato, na Embrapa Clima Temperado – 2010. In: VERNETTI JUNIOR, F. de J. (Ed.) Resultados de pesquisa da soja na Embrapa Clima Temperado – 2010. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2010. 90 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 322).

VIDAL, R. A. **Herbicidas**: mecanismos de ação e resistência de plantas. Porto Alegre-RS: Ed. do Autor, 1997. 165p.

VICTORIA FILHO, R. Fatores que influenciam a absorção foliar dos herbicidas. **Inf. Agropec.,** v. 11, p. 31-37, 1985.

VOESENEK L. A. C. J. et al. Plant hormones regulate fast shoot elongation under water: from genes to communities. **Ecology, Washington**, v. 85, n. 1, p. 16-27, 2004.

WALKER, A.; MOON, Y.; WELCH., S. J. Influence of temperature, soil moisture and soil characteristics on the persistence of alachlor. **Pest. Sci.**, v. 35, n. 1, p. 109-116, 1992.

WEBER, J.B. Mechanism of adsorption of s-triazines by clay colloids and factors affecting plant availability. In: GUNTHER, F.A. (Ed.) **Residue Reviews**., v.32, p.93-130, 1970.

WEED SCIENCE SOCIETY OF AMÉRICA. **Herbicide handbook**. 7. Ed. Champaign: 1994. p. 352.

WEHTJE, G.R.; WALKER, R.H.; GREY, T.L.; HANCOCK H.G. Response of purple (Cyperus rotundus) and yellow nutsedges (C. esculentus) to selective placement of sulfentrazone. **Weed Science**, v.45, p.382-387, 1997.

WITT, W.W.; FLINT, J.F. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.45, p.586-591, 1997.

WU, X. M. et al. Effects of adsorption on degradation and bioavailability of metolachlor in soil. **J. Soil Sci. Plant Nutr**., v. 11, n. 3, p. 83-97, 2011.

YAMADA, T.; CASTRO, P.R.C. Encarte Técnico, INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS Nº 119 – **International Plant Nutrition Institute**; Setembro, 2007.

ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Impact of glyphosate and Bradyrhizobium japonicum symbiosis;with glyphosate-resistant transgenic soybean: a minireview. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 825-831, 2004.

ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. **Crop Protection**, v.26, p. 370-376, 2007.

ZAEFYZADEH, M. et al. The Effect of the Interaction between Genotypes and Drought Stress on the Superoxide Dismutase and Chlorophyll Content in Durum Wheat Landraces. **Turk J Biol** 33, 1-7, 2009.

ZHANG, W. et al. Effect of moisture on efficacy of imazethapyr in greenhouse. **Weed Technology**, v.15, p.355-359, 2001.

ZOBIOLE, L.H.S.; KREMER, R.J.; OLIVEIRA Jr, R.S. de; CONSTANTIN, J. Glyphosate effectson photosynthesis, nutrient accumulation, and nodulation in glyphosate-resistant soybean J. **Plant Nutr. Soil Sci**. 2012, 000, 1–12.

6. VITA

Lariza Benedetti é filha de Lauro Antônio Benedetti e Zilda Justina Bianchetti Benedetti, nasceu em 19 de Abril de 1991, no município de David Canabarro, Rio Grande do Sul. No ano de 2009 ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal de Pelotas, através do vestibular. Em março de 2014 colou grau, recebendo o título de Engenheira Agônoma. Durante a graduação, iniciou sua vida científica como estagiária no Laboratório de pós-colheita de grãos no Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, posteriormente estagiou na Cooperativa Agrícola Mista Ibiraiaras, participou também no Grupo de Pesquisas do Laboratório de Dinâmica de Herbicidas pertencente ao Departamento de Fitossanidade, e realizou estágio de conclusão de curso no Centro Tecnológico do Chasqueiro atuando também na Machado Hax Comércio de Produtos Rurais Ltda. Em março de 2014, iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Pelotas/RS.