

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**NITROGÊNIO E ÁGUA COMO FATORES DE
PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Flávia Barzotto

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

NITROGÊNIO E ÁGUA COMO FATORES DE PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)

Flávia Barzotto

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

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

**NITROGÊNIO E ÁGUA COMO FATORES DE PRODUTIVIDADE DA
SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)**

elaborada por
Flávia Barzotto

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Adroaldo Dias Robaina
Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

**Márcia Xavier Peiter
Dr^a. (UFSM)
(Co-orientadora)**

**Ana Carla dos Santos Gomes
Dr^a. (IF Farroupilha)**

**João Fernando Zamberlan
Dr. (UNICRUZ)**

Santa Maria, 06 de março de 2015.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado a vida, saúde e força para superar as dificuldades.

À Universidade Federal de Santa Maria, seu corpo docente, direção e administração, mais precisamente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida.

À o meu orientador Prof Adroaldo Dias Robaina pelo suporte, acompanhamento, amizade, paciência, respeito, ensinamento, correções e incentivo. Meu respeito, admiração e carinho.

À minha co-orientadora Prof^a Marcia Xavier Peiter pelo seus preciosos conselhos e ensinamentos. Fica meu agradecimento e tenha certeza que levarei seus ensinamentos comigo por toda a minha vida.

Aos meus colegas do laboratório de Engenharia de Irrigação, Rogério, Rosso, Jardel, Taíse, Tonismar, Luciana, Leonita, Braguinha, Crestani, Bozena, Baxinha, Cícero, Mario, Luis, Elisa, colegas e amigos, tenham certeza levarei ótimas recordações de cada um de vocês.

Aos meus tesouros, meus pais Ildo e Neli, por serem minha base, meu porto seguro e pelo amor incondicional.

ÀS minhas irmãs Sandra, Raquel e Izabel, pela ajuda e apoio sempre e meus cunhados, considerados por mim irmãos, pelo carinho e pela doçura de minha sobrinha Nelana.

Ao meu namorado Francis, pelo amor, apoio, amizade e companheirismo.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

NITROGÊNIO E ÁGUA COMO FATORES DE PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)

Autora: Flávia Barzotto
Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, 06 de março de 2015.

A soja é um dos produtos agrícolas de maior importância no mundo e no Brasil, sendo este o segundo maior produtor mundial da cultura. Devido à excelente combinação entre produtividade, teores de proteína e óleo no grão, essa cultura apresenta grande interesse agrônomo. A irrigação suplementar e a adubação nitrogenada durante o desenvolvimento da cultura da soja caracterizam formas de incremento na produtividade e redução nos riscos associados à estiagem. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o rendimento da cultura da soja quanto ao efeito de lâminas de irrigação e doses de adubação nitrogenada na Região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. O trabalho foi realizado no município de Ibirubá, na Agropecuária Guajuvira (28°28'19,31"S e 53°11'17,40" O), utilizando a cultivar de soja BMX Ativa, e o manejo da irrigação foi realizado conforme a evapotranspiração da cultura determinada através do Tanque Classe A instalado próximo a área do experimento. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em esquema bifatorial com parcela subdivididas. Nas parcelas principais foram implantados os tratamentos relacionados à irrigação (345,5; 432,3; 525,8; 568,1; 594,7 mm) e, nas sub-parcelas os tratamentos relacionados às doses de adubação nitrogenada (0, 40, 80, 100 e 120 kg de N ha⁻¹) utilizando como fonte a uréia 46% de nitrogênio (N) em aplicação única no estágio R1 (início do florescimento). No decorrer do período de cultivo, foram avaliadas algumas variáveis, dentre elas altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), matéria seca da parte aérea da planta (MSPA) e o índice de área foliar (IAF). Também foram avaliados os componentes de rendimento da cultura que foram: número de legume por planta (NLP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PG). Além destes, foram avaliados no estágio R2 de desenvolvimento da cultura, o massa seca de nódulo (MSN) e número de nódulos (NN) em plantas de soja para a lâmina 568,1 mm e para as doses 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N. Concluiu-se que a cultivar BMX Ativa, para a região de Ibirubá RS, é dependente da lâmina de irrigação utilizada. O manejo da irrigação (120% da ET_c) pode ser o indicado quando se objetiva máxima produtividade de grãos. As variáveis analisadas (AP, MSPA e IAF) foram influenciadas pela irrigação e apenas a componente de produção MMG foi influenciada positivamente pela adubação nitrogenada. A adubação nitrogenada, independente da dose utilizada, não foi um fator positivo para o acréscimo da produtividade de grãos da soja e fica comprovado que a nodulação da soja, da cultivar em estudo, é prejudicada pela aplicação de adubação nitrogenada.

Palavra Chave: Irrigação; adubação nitrogenada; evapotranspiração.

ABSTRACT

Master Dissertation
Agricultural Engineering Post Graduation Program
Santa Maria Federal University, RS, Brazil

NITROGEN AND WATER AS SOYBEAN PRODUCTIVITY FACTORS (Glycine max (L.) Merrill)

Author: Flávia Barzotto
Advisor: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, 06 march 2015.

Soy is one of the most important agricultural products in the world and in Brazil, which is the second largest producer of culture. Due to the excellent combination of productivity, protein and oil content in grain, this culture has great agronomic interest. The supplemental irrigation and nitrogen fertilization during the development of soybean featuring ways to increase productivity and reduce the risks associated with drought. This study aims to evaluate the yield of soybean as the blades effect of irrigation and nitrogen fertilization on the Eastern Plateau Region of Rio Grande do Sul. The work was conducted in the city of Ibirubá in Agricultural Guajuvira (28 ° 28'19,31 "S and 53°11'17,40" O), using the soybean cultivar BMX Active, and irrigation management was carried out according to evapotranspiration particular culture through the Class A pan installed near the area of the experiment . The design was a randomized block design with four replications in a factorial scheme with split plot. In the main plots were implanted irrigation related treatments (345.5; 432.3; 525.8; 568.1; 594.7 mm) and the sub-plots treatments related to nitrogen fertilization rates (0, 40 , 80, 100 and 120 kg N ha⁻¹) using as source urea 46% nitrogen (N) in a single application in the R1 stage (early flowering). During the growing period, were evaluated some variables including plant height (AP), stem diameter (DC), the aboveground part of the plant (SDM) and the leaf area index (LAI). We also evaluated the crop yield components were: number of vegetable per plant (NLP), thousand grain weight (MMG) and grain yield (GY). Besides these, were evaluated at R2 stage of development of culture, the lump of dry matter (MSN) and number of nodes (NN) in soybean plants for the blade 568.1 mm and the doses 0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹ of N. it can be concluded that the cultivar Active BMX, for Ibirubá RS region is dependent on water depth use. Irrigation management (120% ETc) may be indicated when maximum grain yield objective. The variables analyzed (AP, MSPA and IAF) were influenced by irrigation and only MMG production component was positively influenced by nitrogen fertilization. Nitrogen fertilization, regardless of the dose used was not a positive factor for the soybean grain yield of addition and is proven that soybean nodulation, the cultivar studied is affected by the application of nitrogen fertilizer.

Keywords: Irrigation; nitrogen fertilization; evapotranspiration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Artigo 1

- Figura 1. Rendimento de grãos da cultivar de soja BMX Ativa em função do tratamento irrigado e não irrigado comparados à média do município de Ibirubá. Safra 2013/14, Ibirubá, RS..... 21
- Figura 2. Precipitação efetiva, acumulada e evapotranspiração da cultura registrada durante o ciclo da cultura. Safra 2013/14, Ibirubá, RS. 21
- Figura 3. Número de nódulo por planta em função da aplicação em cobertura (estádio R1) de diferentes doses de nitrogênio. Safra 2013/14, Ibirubá, RS. 24
- Figura 4. Massa seca de nódulo por planta em função da aplicação em cobertura (estádio R1) de diferentes doses de nitrogênio. Safra 2013/14, Ibirubá, RS..... 25

Artigo 2

- Figura 1: Altura de planta (a), massa seca da parte aérea (b), índice de área foliar estágio R2 (c), índice de área foliar estágio R5.1 (d) e produtividade de grãos (e) em função da quantidade de água aplicada. Safra 2013/14, Ibirubá, RS..... 39
- Figura 2: Massa de mil grãos em função das doses de nitrogênio e produtividade de grãos em função da quantidade de água aplicada à cultura da soja, cultivar BMX Ativa. Safra 2013/14, Ibirubá, RS. 41

Discussão Geral

- Figura 1: Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e evapotranspiração da cultura acumulada em sete dias durante o desenvolvimento da cultura da soja para suas respectivas lâminas aplicadas para a cultivar BMX Ativa. Safra 2013/14, Ibirubá, RS. 50

LISTA DE TABELAS

Discussão geral

Tabela 1 – Resumo da análise de variância para o número de nódulo (NN), massa seca de nódulo (MSN) e rendimento de grãos (RG) da cultivar BMX Ativa em função das lâminas de irrigação (L) e doses de nitrogênio (N). Safra 2013/14, Ibirubá, RS.	49
--	----

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1- Croqui da área experimental.....	59
--	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
ARTIGO 1 - RENDIMENTO DE GRÃOS E NODULAÇÃO DA SOJA INFLUENCIADOS PELA IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA	14
ARTIGO 2 - EFEITO DA IRRIGAÇÃO E DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NOS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO E NOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA CULTURA DA SOJA	32
DISCUSSÃO GERAL	49
CONCLUSÃO GERAL	54
REFERÊNCIAS GERAIS.....	55
APÊNDICES	59

INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente a produção desta oleaginosa no Brasil vem sendo liderada pelos estados de Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás, estes produzem cerca de 74,0% da produção nacional, além de ser responsável por 28% do PIB advindo do agronegócio e, 10% do PIB do total do país (IBGE, 2013).

O agronegócio brasileiro é uma atividade próspera e rentável (BORGES, 2007). Sendo este, no primeiro trimestre de 2014, o único setor da economia que apresentou crescimento considerável, totalizando uma alta de 3,6% (PIB do Brasil, 2014).

A estimativa realizada pela Conab é de que a safra brasileira de grãos tenha um aumento de 6,1 %. Os destaques são as culturas de soja, com crescimento de 8,7% (2.399,3 mil hectares), trigo, com 20,7% (457,8 mil hectares), feijão total, com 8,4% (259,2 mil hectares) e algodão, com 25,4% (227,3 mil hectares). Dentre estas culturas, espera-se que a produção da soja atinja 85.656,1 mil toneladas, representando um incremento de 5,1% em relação à safra 2013/14 (CONAB, 2014).

O cultivo de soja é a principal atividade agrícola do estado do Rio Grande do Sul, sendo que a soja produzida no estado representa por volta de 16,0% da produção nacional (CONAB, 2013). Neste estado, a área cultivada desta cultura atingiu 10.489,9 mil hectares, apresentando um incremento de 6,2% e a produção de grãos um acréscimo de 2,3 % em relação ao exercício anterior, porém, quanto à área, houve uma redução de 8,2%, em relação à safra passada, devido a adversidades do clima (CONAB, 2014).

Conforme as condições ambientais da região de cultivo deve-se fazer a escolha da cultivar que melhor se adapta para a região. Durante o desenvolvimento da cultura, modificações nas datas de semeadura e na escolha por culturas com diferente duração de ciclo, contribuem para um melhor manejo da cultura.

Os ciclos pelos quais se desenvolvem a cultura da soja tem diferentes classificações, sendo assim: superprecoce, precoce, médio e tardio. Esta classificação esta relacionada à duração do ciclo, sendo o superprecoce de menor duração, permitindo um melhor escalonamento da cultura. Este ciclo de menor

duração está sujeito a registro de veranico, podendo acarretar perdas de produtividade.

Na produção comercial da cultura da soja, a disponibilidade hídrica é o principal fator limitante ao rendimento da cultura, sendo que a precipitação pluvial, nas médias, apresenta-se suficiente para o atendimento da demanda potencial da cultura em todas as regiões do Estado. Porém, existem registros de quebras parciais e totais de safra em várias regiões do estado em função das estiagens ou “veranicos” que são períodos de déficit de chuva, que ocorrem muitas vezes, nos estádios de maior susceptibilidade hídrica da cultura podendo ocasionar reduções significativas de produtividade.

A irrigação desponta como uma eficiente técnica para a agricultura, podendo suprir estes déficits enfrentados pelas culturas. Esta técnica, por sua vez, caracteriza-se pelo suprimento artificial das demandas hídricas das culturas, podendo ser utilizada como única fonte de suprimento da demanda ou, de forma suplementar, somando-se a precipitação pluviométrica.

Esta água utilizada na agricultura esta intrinsecamente relacionada ao planejamento, manejo e monitoramento do uso racional deste recurso hídrico, pois a agricultura utiliza elevada quantidade de água doce disponível muitas vezes perdida em função do mau uso decorrente de perdas via sistemas de irrigação, condições precárias de conservação dos equipamentos, baixa eficiência, dimensionamento equivocado, entre outros (ANA, 2009).

Dentre os sistemas de irrigação existentes, a irrigação por aspersão se destaca pela uniformidade de distribuição da água na área de cultivo. Esta consiste na condução da água sob pressão e distribuição por meio de aspersores instalados sobre estruturas móveis ou fixas. A aspersão simula uma precipitação pluviométrica através do controle da frequência, duração, intensidade e tamanho das gotas.

Outro fator importante, para o manejo da cultura da soja, esta relacionado à adubação nitrogenada, pois os grãos de soja possuem um teor elevado de proteína, cerca de 40%, constituindo uma fonte importante para a alimentação humana e dos animais, onde o nitrogênio (N) é componente essencial das proteínas, fazendo com que a cultura necessite grandes quantidades deste.

O uso de fertilizante industrializado em cobertura a base de nitrogênio no Brasil é pouco comuns, devido ao eficiente processo de fixação biológica de N₂,

realizado pelas bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (AMADO et al., 2010). Estas bactérias possuem a capacidade de se associar às raízes da soja convertendo o N₂ em compostos nitrogenados para a planta, suficiente para que a cultura alcance patamares produtivos elevados (HUNGRIA et al., 2006).

Em alguns países como Estados Unidos e China, a aplicação de nitrogênio em cobertura é uma prática de manejo rotineira para muitos agricultores, pois nesses países, a fixação biológica não é suficiente para atender a demanda das cultivares modernas de soja, causando um balanço negativo de nitrogênio no sistema solo-planta, limitando a produtividade da lavoura (WESLEY et al., 1998; GAN et al., 2003).

No caso de materiais de ciclo precoce e superprecoce de soja, existem dúvidas quanto à capacidade da fixação simbiótica suprir toda a demanda do nutriente, devido ao crescimento da cultura ocorrer em curto período de tempo e atingir elevada produtividade de grãos. Além disso, a nodulação da soja sofre interferência dos teores de N existentes no solo, podendo o crescimento e a eficiência dos nódulos na fixação do N₂ não serem suficientes para suprir as necessidades da planta, especialmente na fase de crescimento dos grãos. Estes fatos geram dúvidas se a necessidade de N em soja de alta produtividade pode ser preenchida exclusivamente por meio da fixação simbiótica de N₂.

Neste contexto, o presente trabalho objetiva avaliar, em experimento a campo, o efeito de lâminas de irrigação e de doses de nitrogênio sobre o rendimento final de grãos de soja da cultivar BMX Ativa na região do planalto médio, Ibirubá, Rio Grande do Sul.

ARTIGO 1: RENDIMENTO DE GRÃOS E NODULAÇÃO DA SOJA INFLUENCIADOS PELA IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar, em condições de campo, o efeito da lâmina de irrigação e da aplicação de doses de nitrogênio sobre a nodulação (número e massa seca de nódulos) e o rendimento de grãos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura argilosa na Agropecuária Guajuvira, localizada no município de Ibirubá, RS, de novembro de 2013 a março de 2014, utilizando a cultivar de soja BMX Ativa, sendo o manejo da irrigação feito através da evapotranspiração de referência fornecida por Tanque Classe A. O delineamento utilizado no experimento foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema bifatorial com parcela subdividida no espaço, sendo que nas parcelas principais foram alocados os tratamentos sem irrigação e com irrigação e, nas sub parcelas, os tratamentos relacionados às doses de nitrogênio na forma de uréia (45% de N). As variáveis analisadas foram a nodulação (número e massa seca de nódulos por planta) e o rendimento de grãos. A irrigação influenciou positivamente o rendimento de grãos dessa cultivar de soja, uma vez que houve um acréscimo de 4.255 para 4.732 kg ha⁻¹, o que representa um aumento de 11%, aproximadamente. As diferentes doses de adubação nitrogenada aplicadas na cultura da soja não aumentaram a produtividade de grãos da soja e reduziu a nodulação em relação ao tratamento sem aplicação de nitrogênio.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill, evapotranspiração, manejo de irrigação, nitrogênio, produtividade de grãos.

YIELD AND SOY NODULATION INFLUENCED BY THE IRRIGATION AND NITROGEN

ABSTRACT: This work aimed to evaluate, under field conditions, the effect of water depth and the application of nitrogen on nodulation (number and dry weight of nodules) and the yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). The experiment was conducted on Red Oxisol clayey in Agriculture Guajuvira, in the municipality of Ibirubá, RS, from November 2013 to March 2014, using the soybean cultivar BMX Active, and irrigation management done by reference evapotranspiration provided by Tank Class A. the design used in the experiment was a randomized block design with four replications in a factorial scheme with subdivided in space, and the main plot treatments without irrigation, irrigation were allocated and, in sub plots, the treatments related to levels of nitrogen as urea (45% N). The variables analyzed were the nodulation (number and dry weight of nodules per plant) and grain yield. Irrigation positively influenced the grain yield of this variety of soybeans, since there

was an increase of 4,255 to 4,732 kg ha⁻¹, which represents an increase of 11% or so. The different level of N applied in soybean did not increase the productivity of soybean grain and reduced nodulation in relation to the treatment without nitrogen application.

Keywords: Glycine max (L.) Merrill, evapotranspiration, irrigation management, nitrogen, grain yield.

INTRODUÇÃO

A cultura da soja tornou-se a principal “commodity” para a economia do Brasil, representando cerca de 20% do Produto Interno Bruto (PIB) e sendo a principal fonte de exportação (IBGE, 2013). O volume de grãos produzidos no país, segundo CONAB (2014), destaca-se por ter alcançado 191 milhões de toneladas (safra 2013/2014) e com expectativa de superar 200 milhões de toneladas (safra 2014/2015).

No Rio Grande do Sul o cultivo da soja é realizado em condições ambientais variadas e predominantemente sem irrigação. Nos locais em que usufruem da tecnologia de irrigação na cultura da soja, é utilizada, principalmente, para fins de complementação das necessidades hídricas. Isso porque, conforme indicam as séries históricas de precipitação pluviométrica, a altura de lâmina de chuva total precipitada durante o período de safra é suficiente, numericamente, para atender à demanda hídrica da cultura. Porém, devido à variabilidade desta precipitação, muitas vezes, ocorrem déficits hídricos, que coincidem com determinadas fases do ciclo da soja, podendo ocasionar reduções significativas de produtividade (VIVAN, 2014).

A produtividade de uma cultura, de acordo com Guimarães et al. (2008), é definida pela interação entre o genótipo da planta, o ambiente de produção e o manejo, sendo que qualquer limitação imposta por um ou mais destes fatores pode interferir significativamente nos resultados obtidos. Segundo Vivan et al. (2010), os baixos níveis de produtividade da soja no Rio Grande do Sul, indicam a necessidade de incorporar técnicas de produção mais eficientes, com destaque para a irrigação e seu manejo adequado.

O manejo correto da irrigação das culturas se refere ao momento adequado para irrigar e a definição do volume de água a ser aplicada (BERNARDO et al,

2006). A quantidade de água a ser aplicada pode ser estimada através de medidas no solo, na planta ou através de elementos climáticos que relacionam o consumo da água da planta à demanda evaporativa da atmosfera. Dentro destas categorias, o manejo baseado na evapotranspiração ou por meio da tensão de água no solo são os mais citados e utilizados (FERNANDES e TURCO, 2003; SILVA et al., 2005; ALVES JUNIOR, 2006; LIMA et al., 2006).

Dentro de certos limites, a cultura da soja apresenta capacidade de se adaptar a períodos de déficit hídrico, sendo o estágio reprodutivo da cultura o mais sensível à deficiência de água, com impactos negativos sobre a produtividade de grãos. Conclusões de pesquisas indicam que a ocorrência de déficit de água, não muito severo, durante o estágio vegetativo não afeta significativamente a produtividade (FENDRICH, 2003), porém o período crítico inicia a partir de R4, onde ocorre a definição do número de vagens por planta.

O período crítico da soja à deficiência de água, segundo ANDRADE et al. (2000), situa-se entre R4 e R6. De acordo com a EMBRAPA (1999) a máxima demanda de água pela soja é atingida durante a floração-enchimento de grãos sendo que déficits hídricos importantes, nestes estádios, resultam em alterações na fisiologia da planta. O fechamento de estômatos e o murchamento das folhas provocam a queda prematura de folhas e de flores e o abortamento de vagens, com redução no rendimento final de grãos.

De acordo com VIVAN et al. (2010) fatores como a duração do ciclo da cultura (precoce, médio e tardio) e a data de semeadura (outubro, novembro e dezembro) podem influenciar significativamente nas necessidades hídricas da cultura e, conseqüentemente a sua produtividade.

Quanto à adubação da cultura da soja, os principais nutrientes exigidos são nitrogênio, fósforo e potássio, sendo que uma fração significativa da demanda nitrogenada da cultura pode ser atendida através do processo de fixação biológica de nitrogênio. Nesse processo, que consiste na associação simbiótica da soja com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (*B. elkanii* e *B. japonicum*), a enzima nitrogenase converte o N_2 atmosférico em NH_3 nos nódulos das raízes da leguminosa (EMBRAPA, 2001).

Em sistemas de produção de soja que empregam alta tecnologia para a obtenção de altas produtividades, a demanda por nitrogênio (N) pela cultura é

elevada, com alocação próxima a 300 kg ha⁻¹ de N até as sementes em desenvolvimento, durante o enchimento das vagens (LAMOND e WESLEY, 2001). Segundo KLARMANN, (2004) e NOVO et al. (1999), essa elevada demanda de N da cultura pode não ser totalmente atendida através da fixação biológica e do solo, necessitando de complementação via adubações nitrogenadas.

Alguns trabalhos realizados nas últimas décadas avaliaram o potencial da fixação biológica do nitrogênio (FBN) em suprir integralmente a demanda de N da cultura da soja. Ao avaliarem esse aspecto para as condições do Brasil, VARGAS et al. (1982) e MENDES et al. (2003) não encontraram resposta da soja à adubação nitrogenada complementar. Os diferentes resultados apontam para um efeito de condições edafoclimáticas específicas para cada região.

Os resultados contraditórios com relação à irrigação e, principalmente, à adubação nitrogenada da soja motivaram a realização deste trabalho, cujo objetivo foi avaliar o efeito da lâmina de irrigação e de doses de adubação nitrogenada sobre a nodulação e o rendimento final de grãos da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, com a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), foi conduzido no ano agrícola 2013/14, na Agropecuária Guajuvira, (28°28'19,31"S, 53°11'17,40"W e altitude de 411 metros), município de Ibirubá, localizado no planalto médio do Rio Grande do Sul. O clima da região é Subtropical úmido (Classificação Climática de Koppen-Geeiger: Cfa), com valores médios anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar de 1.800 mm, 17°C e 75%, respectivamente (Plano Municipal de Saneamento Básico, 2014).

O solo da área onde foi conduzido o experimento é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa e relevo ondulado a suave ondulado sendo manejado sob sistema plantio direto há 23 anos. Anteriormente à instalação do experimento, foram coletadas 10 sub amostras na camada de 0,0 – 0,2 m da área experimental, constituindo uma amostra composta, a qual foi analisada e apresentou as seguintes características químicas: MO = 41,0 g

dm^{-3} ; pH (CaCl_2 0,01 mol L^{-1}) = 6,5; P = 12,7 mg dm^{-3} ; K = 330 mg dm^{-3} ; Ca^2 ; Mg^2 ; H+Al e CTC = 8,1; 2,7; 2,5 e 14,1 cmolc dm^{-3} , respectivamente; V = 83%. A partir destes resultados, foi realizada a adubação da soja, conforme as recomendações técnicas da cultura estabelecidas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (CQFS-RS/SC, 2004).

O delineamento experimental utilizado no experimento foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema bifatorial com parcela subdividida no espaço. Nas parcelas principais foram avaliados dois níveis de irrigação (Fator A), com acumulados de 0 e 568 mm, baseada na evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura e nas sub parcelas o nitrogênio (Fator B) com doses de (0, 40, 80 e 120 kg N ha^{-1}). A cultivar de soja utilizada foi a BMX Ativa, de hábito de crescimento determinado, grupo de maturação 5.6, possui alta exigência em fertilidade, necessita de alta população de plantas, sendo indicada para o cultivo na região de estudo.

As sementes de soja foram tratadas com fungicida/inseticida Standak Top, de ação protetora, na dose de 200 mL do produto para cada 100 kg de semente. Após o tratamento, foi feita a inoculação das sementes com o inoculante turfoso Masterfix, contendo a mistura de estirpes de *Bradyrhizobium elkanii* e *Bradyrhizobium japonicum*. A dose utilizada foi de 100 g de inoculante para cada 50 kg de sementes.

A semeadura foi realizada em novembro de 2013, em sistema plantio direto, utilizando uma semeadora de oito linhas, regulada para atingir uma população de plantas de 31 plantas m^{-2} . A cultura antecessora à soja foi a aveia preta, cuja produção de matéria seca (MS) da parte aérea foi de 4.500 kg ha^{-1} . As parcelas experimentais eram compostas de seis linhas de semeadura com 4,8 m de comprimento e distanciadas de 0,45 m entre si. As duas linhas laterais foram consideradas como bordadura, enquanto as duas linhas centrais foram utilizadas para avaliação da produção de grãos e as outras duas linhas para avaliação do número e massa seca de nódulos.

A irrigação foi realizada através de um sistema de aspersão com tubos de PVC (50 mm), disposto no campo segundo o sistema de aspersão em “linha” (“line source sprinkler system”), de acordo com o método desenvolvida por Hans et al, (1976). Foram utilizados seis aspersores de impacto, giro completo, modelo AGROPOLO IS 30, com bocal 4,50 x 3,20, pressão de serviço de 15 mca (metros de coluna de água), espaçados de 12 m entre si, instalados a uma altura de 1,5 m da superfície

do solo e com uma intensidade de aplicação de $5,34 \text{ mm h}^{-1}$. O momento de aplicação foi baseado no turno de rega prefixado, com intervalo de sete dias entre as irrigações, quando não ocorria precipitação pluviométrica.

O volume aplicado, em cada irrigação, foi calculado através da multiplicação do coeficiente do tanque ($k_p = 0,7$) pelo somatório da evaporação do Tanque Classe A durante sete dias, considerando uma eficiência de aplicação do sistema de irrigação de 90%. O tempo de funcionamento (horas) do sistema de irrigação foi estimado pela relação entre o volume de água a ser aplicado (mm) e a intensidade de aplicação de $5,34 \text{ mm h}^{-1}$, determinada no teste do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), conforme descrito em Bernardo, et al. (2011).

A aplicação das diferentes doses de nitrogênio foi realizada em cobertura, no estádio R1 (início do florescimento), segundo escala de Fehr & Caviness, (1977).

A avaliação da nodulação da soja foi realizada no estádio R2 (floração plena). O volume de solo coletado com uma pá de corte correspondeu a uma área quadrada com 0,45 m de lado em cujo centro estavam as plantas e com 0,30 m de profundidade. Logo após a coleta, foram separadas raízes, nódulos e solo. Para isso foi utilizada peneira (malha de 3 mm) e água corrente para a limpeza do solo aderido às raízes e aos nódulos. Após a drenagem do excesso de água, os nódulos foram contados, acondicionados em latas de alumínio e levados à estufa à 65°C durante o tempo necessário para se obter a massa seca constante dos nódulos (mg planta^{-1}).

No estádio R9 (maturação plena) avaliou-se o rendimento de grãos de cada parcela, o qual foi convertido em kg ha^{-1} de grãos, com umidade equivalente a 13%.

A análise estatística empregada foi análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de probabilidade de erro, e quando havia diferença significativa entre os tratamentos era realizada a análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fator irrigação teve por objetivo criar dois ambientes diferenciados quanto a restrição hídrica, sendo um com e outro sem restrição. Todavia, o ano agrícola apresentou condições favoráveis de precipitação durante quase todo o ciclo da soja,

ocorrendo pequena deficiência hídrica no estágio vegetativo, onde não foi necessária a aplicação de um volume expressivo de água via irrigação. Apenas nos estádios reprodutivos (R1, R2 e R3), ocorreram déficit hídrico mais expressivo, o qual foi amenizado através de cinco irrigações, cujo volume de água aplicado foi de 222 mm, totalizando um volume de 568 mm (precipitação efetiva mais irrigação).

Os resultados da análise de variância indicaram não haver interação entre os fatores, tratamento com e sem restrição hídrica e doses de nitrogênio aplicadas, mas houve diferença estatística para lâminas de irrigação e para as doses de nitrogênio, sendo estes dados analisados separadamente.

A produtividade média de grãos de soja obtida com irrigação (4.732 kg ha^{-1}) e sem irrigação (4.255 kg ha^{-1}), é superior à produtividade média de 2.611 kg ha^{-1} na região de Ibirubá (IBGE, 2010), conforme pode ser visto na Figura 1, que mostra o aumento de 477 kg ha^{-1} . Esse aumento de produtividade proporcionado pela irrigação representa, em torno de 11,2%, considerado pequeno e se deve ao curto período de déficit hídrico ocorrido durante o ciclo da soja. Para períodos de déficit hídrico mais longo é de se esperar maior diferença de produtividade devido à irrigação, uma vez que segundo Peixoto (1999), a deficiência hídrica reduz o rendimento de grãos, ao provocar tanto o abortamento de grãos como a formação de grãos mais leves.

Essa pequena diferença, entre os tratamentos, pode ser atribuída ao fato de que, durante o desenvolvimento da cultura da soja, mesmo em um ano relativamente chuvoso, ocorreram momentos de restrição hídrica à cultura, porém se compararmos a média do município de Ibirubá, estes valores são superiores, representando um aumento percentual de 38% e 45%, respectivamente.

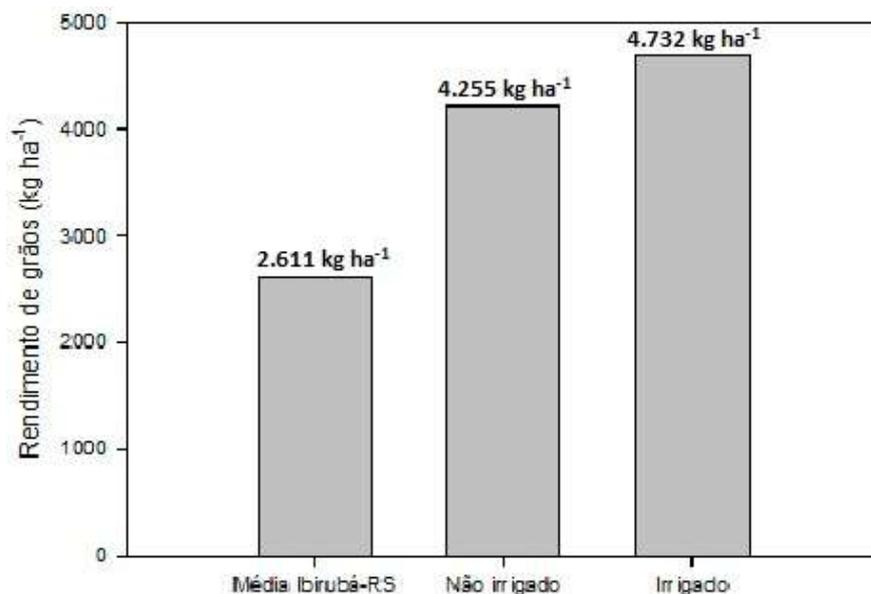


Figura 1. Rendimento de grãos da cultivar de soja BMX Ativa em função do tratamento irrigado e não irrigado comparados à média do município de Ibirubá. Safra 2013/14, Ibirubá, RS.

As precipitações pluviométricas (total e efetiva), bem como a evapotranspiração da cultura durante o ciclo da soja podem ser encontradas na Figura 2.

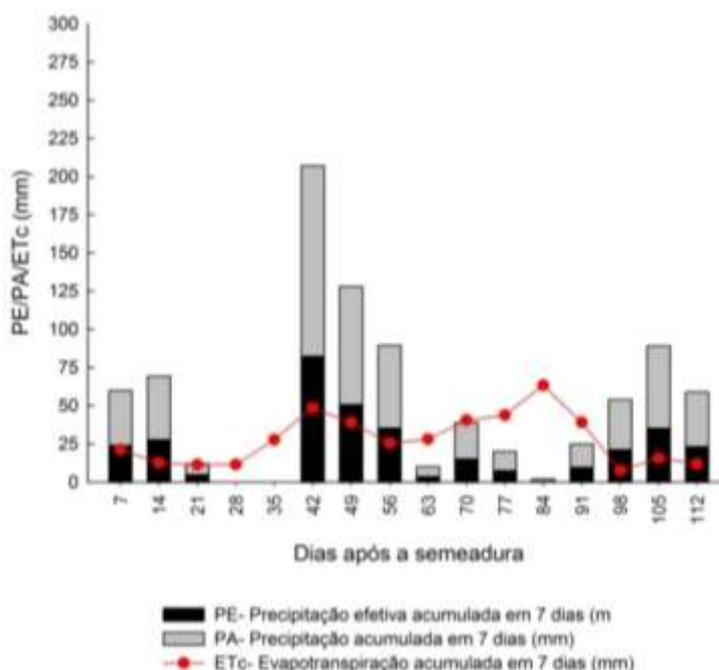


Figura 2. Precipitação efetiva, acumulada e evapotranspiração da cultura registrada durante o ciclo da cultura. Safra 2013/14, Ibirubá, RS.

Esta resposta significativa no tratamento irrigado, provavelmente tenha ocorrido em função do maior “pegamento” de vagens no estágio R2/R3, maior taxa de enchimento de grãos e grãos mais pesados, o que refletiu num maior rendimento de grãos.

Embora os rendimentos de grãos obtidos no presente trabalho, de 4.255 kg ha⁻¹ sem irrigação e de 4.732 kg ha⁻¹ com irrigação (acréscimo de 11%), tenham sido maiores do que aqueles obtidos por Kuss et al. (2008), estes autores obtiveram melhor resposta (36%) da soja à irrigação, já que o rendimento aumentou de 2.372 para 3.217 kg ha⁻¹. É importante destacar que esse resultado foi obtido com a irrigação da cultura durante todo o seu ciclo. Trabalhando com diferentes regimes hídricos, que foram estabelecidos com base na evapotranspiração da cultura, Ruviaro et al. (2011) constataram que o rendimento de grãos de soja (cultivar NA 5909 RG) aumentou de 3.602 kg ha⁻¹, sem irrigação para 4.045 kg ha⁻¹ com irrigação (12%), o que está de acordo com os resultados do presente estudo, corroborando com Gomes, et al. (2014). No experimento conduzido por Wingeyer et al. (2014) a irrigação aumentou o rendimento de grãos de soja de 3.390 kg ha⁻¹ para 4.240 kg ha⁻¹ (25%).

Quanto ao efeito da adubação nitrogenada, na maioria das situações, não há resposta significativa no rendimento de grãos de soja. Isso ocorreu em experimentos similares aos do presente estudo, com a aplicação de N na soja com e sem irrigação (Wingeyer et al., 2014) e também com a aplicação de doses crescentes de N (Santos Neto et al., 2013), ou com a aplicação de dose única de N-uréia (50 kg N ha⁻¹) em experimentos conduzidos sob sistema de plantio direto e plantio convencional (Hungria et al., 2006). No trabalho realizado por Wesley et al. (2013) no estado de Kansas nos EUA, a aplicação de diferentes doses (0, 20 e 40 kg N ha⁻¹) e diversas fontes de N (uréia + nitrato e amônio, nitrato de amônio, uréia e uréia + o inibidor de ureáse N (*n*-butil) tiofosfórico triamida – NBPT) no estágio R3 da soja aumentou significativamente a produtividade de grãos em seis dos oito locais avaliados, embora o aumento médio tenha sido de apenas 11,8 %. Os resultados relatados anteriormente evidenciam que a resposta (pequena ou nula) da soja à fertilização nitrogenada não justifica o uso dessa tecnologia, o que esta de acordo com Mendes et al. (2008) que concluem de forma idêntica ao trabalharem em um Latossolo da região dos Cerrados.

O rendimento de grãos de soja do tratamento não irrigado (4.424 kg ha^{-1}) e do tratamento irrigado (4.820 kg ha^{-1}), apesar do acréscimo de 9%, não representam diferença significativa em relação as doses de N, porém o número de nódulos e massa seca de nódulos por planta foram significativamente influenciados pelas doses de N.

Partindo do princípio que o processo de FBN possa ser avaliada pelo número de nódulos e pela massa seca dos nódulos, uma visão conjunta dos resultados obtidos mostram que o tratamento que não recebeu dose de N apresentou maior número de nódulos e maior massa seca de nódulos, demonstrando que a adubação nitrogenada em cobertura no estágio reprodutivo R2 da soja diminui estas variáveis e a FBN.

Os valores do número de nódulos e da massa seca dos nódulos por planta obtida no tratamento que não recebeu adubação nitrogenada diferiram significativamente das demais doses.

Estes valores de número de nódulos por planta (Figura 3) foram diminuindo conforme foi aumentando a dose de adubação nitrogenada. Estes resultados estão acima aos encontrados por Campos e Lantmann (1998) e Araújo e Hungria (1999), onde estes últimos autores obtiveram valores que chegaram a 41,7 unidades de nódulos por planta nas condições climáticas do Paraná. Esta variabilidade de resultados de número de nódulos entre as cultivares está relacionada a caracteres intrínsecos (genéticos) das cultivares avaliados conforme resultados encontrados por Bohrer e Hungria (1998).

Em suas formas minerais (NO_3^- e NH_4^+) o N presente no solo afeta não só a fixação biológica, mas também a nodulação das plantas, por inibir a formação ou causar senescência dos nódulos já formados (Bottomley e Myrold, 2007). Esses mesmos autores relatam que a aplicação de 50 kg ha^{-1} de N nos estágios R2 e R4 promoveu redução na nodulação secundária, o que resultou na diminuição da quantidade de nitrogênio fixado biologicamente, e afetou negativamente o rendimento de grãos.

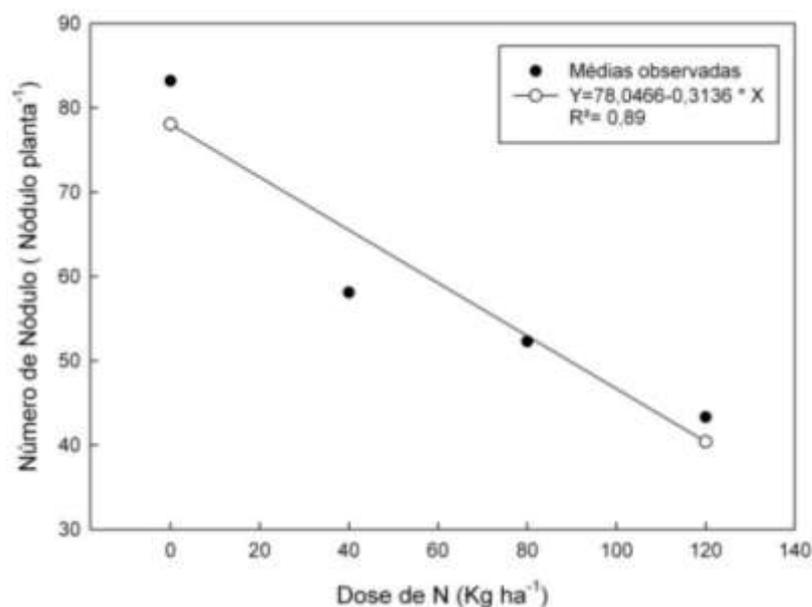


Figura 3. Número de nódulo por planta em função da aplicação em cobertura (estádio R1) de diferentes doses de nitrogênio. Safra 2013/14, Ibirubá, RS.

Constatou-se diferenças significativas quanto a massa seca de nódulo por planta (Figura 4), estes valores foram diminuindo conforme foi aumentando a dose de adubação nitrogenada. Estes resultados estão acima dos encontrados por Campos e Lantmann (1998), os quais obtiveram média de 67 mg planta⁻¹ de peso de nódulo no Estado do Paraná. Por outro lado, Araújo e Hungria (1999) obtiveram média de 140 mg planta⁻¹ de massa de matéria seca de nódulos, demonstrando não haver restrições para o desenvolvimento da nodulação nas condições agro ecológicas de Cruz das Almas – BA na época avaliada. Aratani et al. (2008) verificou que a adubação nitrogenada não prejudicou a nodulação nem interferiu na massa seca dos nódulos coletados no estágio de florescimento pleno.

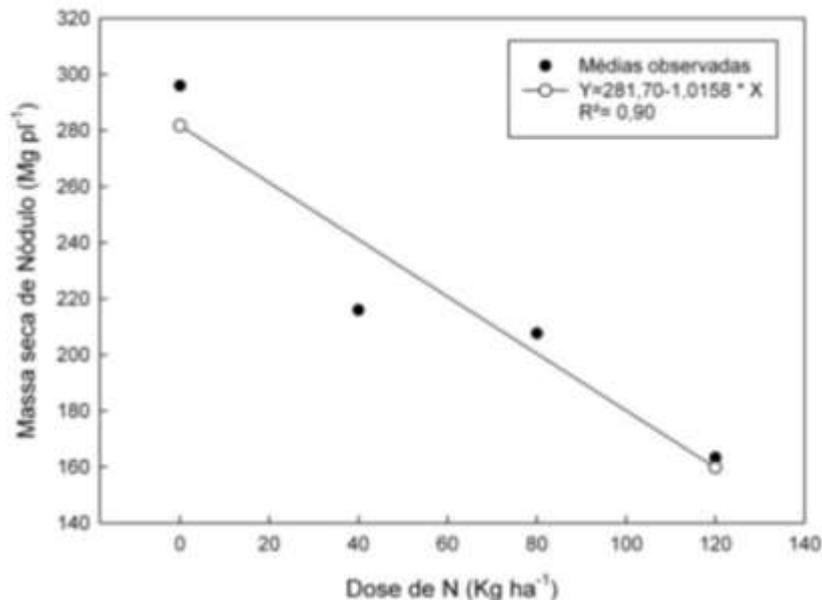


Figura 4. Massa seca de nódulo por planta em função da aplicação em cobertura (estádio R1) de diferentes doses de nitrogênio. Safra 2013/14, Ibirubá, RS.

Estes dados estão de acordo com o estudo realizado por Soares Novo et al. (1999) onde verificou que a massa seca de nódulos foi linear e inversamente correlacionada com a dose de nitrogênio aplicada e que o aumento da dose de nitrogênio causou decréscimo no número de nódulos.

Considerando todos os benefícios advindos das pesquisas brasileiras em FBN, e que o potencial genético de rendimento da soja é de 8.000 kg ha⁻¹ (Specht et al. 1999), as abordagens de pesquisa devem priorizar a realização de estudos que permitam o aprimoramento contínuo desse processo.

Em função dos resultados contraditórios com o uso de fertilizantes nitrogenados, novas pesquisas devem ser conduzidas no sentido de maximizar a eficiência da FBN, visando o suprimento dos novos tetos de produtividade com esse processo de simbiose.

Assim, os resultados deste trabalho ressaltam a importância do manejo adequado do nitrogênio em soja, para que se evite não apenas prejuízos para a FBN, mas também o uso desnecessário de fertilizantes nitrogenados na cultura da soja.

CONCLUSÃO

Para as condições em que foi conduzido o presente estudo, conclui-se que o rendimento de grãos da cultivar de soja BMX Ativa é dependente da lâmina de irrigação utilizada, ficando comprovado que o uso de irrigação suplementar aumenta a produtividade de grãos na região de Ibirubá, RS.

A nodulação da soja, da cultivar em estudo, é prejudicada pela aplicação de nitrogênio, no estágio R1 (início do florescimento), independente da dose utilizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves Junior, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida Tahiti a diferentes níveis de irrigação**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP.

Andrade, F.H.; Aguirrezábal, L.A.N.; Rizzalli, R.H. Crecimiento y rendimiento comparados. In: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. **Balcarce, INTA/Facultad de Ciencias Agrarias UNMP**. 2000. p. 61-91.

Aratani, R. G. et al. Adubação nitrogenada em soja na implantação do sistema plantio direto. **Biosci. Journal.**, Uberlândia, 2008. July/Sept, 24: 31-38.

Araújo, F. F.; Hungria, M. Nodulação e rendimento de soja co-infectada com *Bacillus subtilis* e *Bradyrhizobium japonicum* / *Bradyrhizobium elkanii*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 1999. 34: 1633-1643.

Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. **Manual de Irrigação**. Universidade Federal de Viçosa, 2011. 8: 394-395.

Bohrer, T. R. J.; Hungria, M. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 1998. 33: 937-952.

Bottomley, P. J.; Myrold, D. D. Biological Ninputs. In: Paul, E. A. (Ed.). **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. Ed. 3, Oxford: Academic Press, 2007. p. 365-388.

Campos, R. J.; Lantmann, A. F. Efeitos de micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio e produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 1998. 33: 1245-1253.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. **Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul/Embrapa-CNPT, 2004. 10: 400.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Sexto Levantamento, Brasília, 2014. 1: 69.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 2006. 162.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Soja. Fixação Biológica do Nitrogênio na Cultura da Soja. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Londrina, PR. 2001. 35: 11-15.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1999/2000. Embrapa Soja. Londrina, 1999. 131: 103, 109.

Fehr, W.R.; Caviness, C.E. Stages of soybean development. Ames: State University of Science and Technology. **Special report**, 1977. p. 11.

Fendrich, R. Chuva e produtividade da soja na fazenda experimental Gralha Azul da PUCPR. **Ciências Agrárias e ambientais**, Curitiba, 2003. 1: 37-46.

Fernandez, E. J.; Turco, J. E. P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**. 2003. 8: 132-141.

Guimarães, F. S. et al. Cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para cultivo de verão na região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**. 2008, 32: 1099-1106.

Gomes, A. C. S. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) na região de Santiago, RS**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2007. p. 132.

Hans, R. J. et al. Line source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 1976. 40: 426-429.

Hungria, M. et al. **Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in South America**. In: Singh, R. P.; Shankar, N.; Jaiwal, P. K. (Ed.) Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity. Houston: Studium Press, LLC; 2006. p. 43-93.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Produção Agrícola Municipal – Culturas Temporárias e Permanentes. Brasil, 2010. 37: 26.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Anuário Estatístico do Brasil, 2013. 73: 39.

Klarmann, P. A. **Influência de plantas de cobertura de inverno na disponibilidade de N, fixação biológica e rendimento da soja sob sistema plantio direto**. 2004. p.142 Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

Kuss, R. C. R. et al. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, 2008. 38: 1133-1137, jul.

Lamond, R. E.; Wesley, T.L. In Season Fertilization for High Yield Soybean Production. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, 2001. 85: 6-7.

Lima, J. R. de S. et al. Estimativa da evapotranspiração do feijão caupi utilizando o modelo de Penman-Monteith. **Irriga**, 2006. 11: 477-491.

Mendes, I. C., Hungria, M.; Vargas, M. A. T. Soybean response to starter nitrogen and Bradyrhizobium inoculation on a cerradoolisol under no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2003. 27: 81-87.

Mendes, I. C. et al. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 2008. 43: 1053-1060.

Novo, M. C. S. S. et al. Nitrogênio e potássio na fixação simbiótica de N₂ por soja cultivada no inverno. Piracicaba. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, 1999. 56: 143-155.

Peixoto, C. P. **Análise de crescimento e rendimento de três cultivares de soja em três épocas de semeadura e três densidades de plantas**. 1999. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba.

Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB. Ibirubá-RS, 2014. p. 82. Disponível em:. Acessado: 19 agosto de 2014.

Ruviaro, C. et al. Comportamento da soja submetida a diferentes regimes hídricos e viabilidade da irrigação suplementar na Região do Vale do Jaguari-RS. **Perspectiva**, Erechim, 2011. 35: 79-90.

Santos Neto, J. T. et al. Adubação nitrogenada, com e sem inoculação de semente, na cultura da soja. **Faculdades associadas de Uberaba- FAZU em Revista**, Uberaba, 2013. 10: 8-12.

Silva, D. K. T. et al. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no noroeste do Paraná na safra de 2002/2003. **Scientia Agraria**, 2005. 6: 47-53.

Soares Novo, M. C. S. et al. Nitrogênio e potássio na fixação simbiótica de N₂ por soja cultivada no inverno. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, 1999. 56: 143-155.

Specht, J.E.; Hume, D.J.; Kumudini, S.V. Soybean yield potential: a genetic and physiological perspective. **Crop Science**, 1999. 39: 1560-1570.

Streck, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 2: 77.

Vargas, M. A. T.; Peres, J. R. R.; Suhet, A. R. Adubação nitrogenada, inoculação e épocas de calagem para a soja em um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 1982. 17: 1227-1132.

Vivan, G. A. **Simulação dinâmica da soja, milho e feijão, cultivados sob diferentes regimes hídricos**. 2014. 20.f. Tese Doutorado – Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

Vivan, G. A. **Avaliação das variáveis referentes à produção de soja no Rio Grande do Sul para o período agrícola 2004-2007**. Geomática (Santa Maria. Online), 2010.

Wesley, T.L. et al. Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. **Journal of Production Agriculture**, 2013. 11: 331-336.

Wingeyer, A.B.; Echeverria, H.; Rozas, H. S. Growth and Yield of Irrigated and Rainfed Soybean with Late Nitrogen Fertilization. **Agronomy Journal**, 2014. 106: 567-576.

ARTIGO 2: EFEITO DA IRRIGAÇÃO E DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NOS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO E NOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA CULTURA DA SOJA

RESUMO: A irrigação suplementar e a adubação nitrogenada aplicadas na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) são dois fatores de produção que vem despertando interesse de estudos em várias regiões do Brasil. Nos últimos anos tem surgido dúvidas sobre a utilização de fertilizantes nitrogenados quanto a fixação biológica do nitrogênio e como forma de promover acréscimo na produtividade da soja. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes quantidades de água (chuva e irrigação) e de nitrogênio sobre as variáveis altura de plantas (AP), diâmetro de colmo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA) e o índice de área foliar (IAF) e os componentes de produção, número de legumes por planta (NLP), número de grãos por legume (NGL) e a massa média do grão (MMG) bem como a produtividade de grãos (PG) da cultura da soja, cultivar BMX Ativa. O experimento foi conduzido no município de Ibirubá, RS, de novembro de 2013 a março de 2014, utilizando um delineamento experimental blocos ao acaso com parcelas subdivididas e 4 repetições, sendo que nas parcelas principais foram alocados os tratamentos relacionados aos níveis de irrigação L0, L1, L2, L3 e L4, respectivamente 0, 86,8, 180,3, 222,6 e 249,2 mm. O manejo da irrigação foi feito através da evapotranspiração utilizando um Tanque Classe A. Nas subparcelas foram alocados os tratamentos relacionados às doses de nitrogênio N0, N1, N2, N3 e N4, respectivamente 0, 40, 80, 100 e 120 kg de N ha⁻¹ utilizando uréia como fonte de nitrogênio (46% de N), totalizando assim 25 tratamentos em cada bloco, dispostos em 100 parcelas experimentais. A análise dos resultados mostraram diferenças estatísticas para a altura de planta, massa seca da parte aérea influenciadas pelas lâminas de irrigação, mas não foram influenciadas pelas diferentes doses de adubação nitrogenada. Por outro lado, as doses de N influenciaram de forma significativa a massa média do grão, sendo o maior valor obtido no tratamento L4. Em relação às lâminas de irrigação, os resultados mostraram que o maior valor de produtividade de grãos de soja foi obtido no tratamento L4 onde recebeu maior quantidade de água, apresentando uma produtividade de 4.827 kg ha⁻¹, mas também não foi afetada pelas diferentes doses de nitrogênio. As demais variáveis analisadas não diferiram estatisticamente. Estes resultados sugerem que a adição de diferentes doses de nitrogênio, durante o estágio reprodutivo da soja (cultivar BMX Ativa) não é um manejo eficaz para aumentar a produtividade de grãos quando submetidas a diferentes doses de irrigação.

Palavras chave: *Glycine max* (L.) Merrill, nitrogênio, regime hídrico, produtividade de grãos, índice de área foliar.

EFFECT OF IRRIGATION AND NITROGEN IN THE PARAMETERS OF DEVELOPMENT AND COMPONENTS IN THE PRODUCTION OF SOYBEAN CROP

ABSTRACT: The supplemental irrigation and nitrogen fertilization applied in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) are two factors of production that is attracting interest in studies in various regions of Brazil. In recent years has emerged questions on the use of nitrogen fertilizers for biological nitrogen fixation and in order to promote increase in soybean yield. This work aimed to evaluate the effect of different amounts of water (rain and irrigation) and nitrogen on plant height variables (AP), stem diameter (DC), dry weight of shoot (SDM) and the index leaf area (LAI) and the production of components, number of pods per plant (NLP), number of grains per pod (NGL) and the average grain mass (MMG) and grain yield (PG) of soybean cultivar BMX Active. The experiment was conducted in the municipality of Ibirubá, RS, from November 2013 to March 2014, using an experimental randomized block design with split plots and four replications, with the main plot treatments related to L0 irrigation levels were allocated, L1, L2, L3 and L4, respectively 0, 86.8, 180.3, 222.6 and 249.2 mm. Irrigation management was done through evapotranspiration using a Class Tank A. The subplots were allocated treatments related to nitrogen levels N0, N1, N2, N3 and N4, respectively 0, 40, 80, 100 and 120 kg N ha⁻¹ using urea as nitrogen source (46% N), totaling 25 treatments in each block, arranged in 100 experimental plots. The results showed statistical differences in plant height, shoot dry mass influenced by irrigation levels, but were not influenced by the different doses of nitrogen fertilization. On the other hand, the N levels significantly influence the average grain weight and the maximum value obtained at the L4 treatment. Regarding irrigation regimes, the results showed that the highest value of soybean grain yield was obtained L4 which received treatment more water, with a productivity of 4827 kg ha⁻¹, but was not affected by different doses nitrogen. The remaining variables did not differ statistically. These results suggest that the addition of nitrogen, during the reproductive stage of soybean (cultivar BMX Active) is not an effective management to increase grain yield when subjected to different doses of irrigation.

Key words: *Glycine max* (L.) Merrill, nitrogen, water regime, grain yield, leaf area index.

INTRODUÇÃO

A obtenção de elevada produtividade na cultura da soja depende muito da demanda hídrica que varia entre 450 a 850 mm, levando em consideração as variações do clima durante o crescimento da cultura (FRANKE, 2000). Pela análise

das séries históricas de precipitação pluviométrica, na região do Planalto Central do RS, a quantidade de chuva durante o período de safra é suficiente, numericamente, para atender à demanda hídrica das culturas, porém, devido à sua variabilidade, muitas vezes, ocorrem déficits hídricos, que coincidem com determinadas fases do ciclo, podendo ocasionar reduções significativas de produtividade (VIVAN, 2014).

A irrigação desponta como uma eficiente técnica para a agricultura, podendo suprir déficits enfrentados pelas culturas. Esta técnica, segundo com VIVAN (2014), caracteriza-se pelo suprimento artificial das demandas hídricas das culturas, podendo ser utilizada como única fonte de suprimento da demanda (irrigação total) ou complementando a precipitação (irrigação parcial, complementar, suplementar) e de acordo com PARIZI (2010), no Rio Grande do Sul, irrigações parciais ou suplementares são requeridas ao longo do desenvolvimento da cultura da soja.

Segundo o censo realizado por IBGE (2006), dentre os métodos de irrigação, a aspersão é a mais empregada, 35 % da área total, seguido da inundação (24 %) e pivô central (19 %). Deste total apresentado, a região sul ocupa o segundo lugar em área irrigada.

O manejo da irrigação, segundo BERNARDO et al. (2006), significa decidir quando irrigar e o quanto de água aplicar com o sistema de irrigação utilizado. A quantidade de água é determinada, normalmente, pela necessidade hídrica da cultura, podendo ser estimada através de medidas de solo, planta ou elementos climáticos. Dentro destas categorias, o manejo da irrigação baseado na evapotranspiração da cultura (ETc) ou por meio da tensão de água no solo são bastante citados e utilizados (FERNANDES E TURCO, 2003; SILVA et al., 2005; ALVES JUNIOR, 2006; LIMA et al., 2006).

O manejo da irrigação é muito importante, pois aplicações insuficientes de água acabam repondo o estoque das camadas superficiais do solo, não atingindo a zona das raízes, tornando-as superficiais e assim não explorando todo o volume de solo disponível. Já irrigações excessivas acarretam em perdas de água e nutrientes pela percolação abaixo da zona das raízes, além de favorecer a proliferação de microorganismos patogênicos. Os solos mal drenados ficam saturados prejudicando as raízes que poderão perecer por falta de arejamento (FERNANDEZ & TURCO, 2003).

A redução da disponibilidade de água no solo durante a fase reprodutiva da soja tem influencia no rendimento, uma vez que reduz a taxa fotossintética e a taxa de assimilação de nitrogênio na planta (FREEBORN et al., 2001; PURCELL et al., 2004). Como fonte alternativa, a adubação nitrogenada nessa cultura, vem sendo utilizada como forma de aumento da produtividade (SANTOS et al., 2003).

Existem dúvidas quanto o processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) suprir toda a demanda do nutriente ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja. De acordo com HUNGRIA et al. (2006), a inoculação na cultura da soja com *Bradyrhizobium*, que possui a capacidade de se associar as raízes da soja convertendo o N₂ em compostos nitrogenados para a planta, é suficiente para que a cultura alcance produtividade elevada. Por outro lado, KLARMANN (2004) relatou que a FBN não atendeu adequadamente a demanda desse nutriente pela planta, de modo que a mesma potencializasse sua produtividade, sendo necessária a adubação nitrogenada.

Estes resultados distintos quanto à eficiência da aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura da soja se devem a uma diversidade de fatores, como a própria cultivar de soja, a eficiência da simbiose, a fonte de nitrogênio utilizada, a época de semeadura da soja, o tipo de solo e os fatores climáticos (ARATANI et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito de diferentes lâminas de irrigação e doses de adubação nitrogenada nos parâmetros de desenvolvimento (altura de planta, massa seca da parte aérea e índice de área foliar) e nos componentes de produção (número de legumes por planta, número de grãos por legume e massa média do grão) e na produtividade de grãos da cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra 2013/2014, no município de Ibirubá (RS) em Latossolo Vermelho Distrófico típico (STRECK et al, 2008), na Agropecuária Guajuvira (28°28'19,31" Sul, 53°11'17,40" Oeste e altitude de 411 metros), utilizando a, com a cultivar BMX Ativa (ciclo super precoce e grupo de maturação 5,6). O espaçamento utilizado foi de 0,45 metros entre as linhas de plantio, 14

plantas por metro linear obtendo uma população de 31 plantas m^{-2} . Segundo a classificação internacional de Koeppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido Cfa, com precipitação pluviométrica média anual de 1800 mm, temperatura média do ar de 17° C, umidade relativa do ar de 75%. (Plano Municipal de Saneamento Básico, 2014).

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, sendo nas parcelas alocados os tratamentos relacionados aos níveis de irrigação (0, 40, 80, 100 e 120 % da ETc) e nas sub parcelas os tratamentos referentes as diferentes doses de nitrogênio (0, 40, 80, 100 e 120 kg de N . ha^{-1}).

As doses de nitrogênio foram aplicadas aos 59 dias após a emergência, no estádio R1 (início do florescimento), segundo escala de FEHR & CAVINESS (1977), utilizando a uréia (46% de N) como fonte de adubação nitrogenada.

A aplicação de água foi realizada através de um sistema de irrigação por aspersão, com tubos de PVC (diâmetro de 50 mm), disposto na área experimental segundo o sistema de “aspersão em linha” (“line source sprinkler system”), de acordo com o método desenvolvida por HANS et al. (1976). Essa forma de disposição possibilita a aplicação de maior quantidade de água junto aos aspersores e quantidades decrescentes em relação ao raio de alcance dos aspersores. A localização das parcelas experimentais ao longo da linha de aspersores permitem que elas recebam diferentes lâminas de irrigação.

Foram utilizados 6 aspersores de impacto, giro completo, marca Agropolo, modelo IS 30, bocal 4,50 x 3,20mm, pressão de serviço de 15 m, alcance de 11 metros, instalados a 1,5 m de altura e espaçamento de 12m.

A intensidade de precipitação de água, determinada através de um teste de uniformidade (BERNARDO et al., 2006), apresentou os valores médios de 6,31 mm/h (120%), 5,34 mm/h (100%), 4,42 mm/h (80%) e 2,11mm/h (40%) nas distâncias correspondentes a 0-25, 25-50, 50-75 e 75-100% do raio de alcance dos aspersores.

O momento da aplicação da irrigação foi baseado no turno de rega prefixado (7 dias) quando não ocorria precipitação pluviométrica. O volume de água aplicado (VA) em cada irrigação foi calculado através da multiplicação do coeficiente do tanque (Kp), do coeficiente de cultura (Kc) e do somatório da evaporação do Tanque Classe A (ETA) durante sete dias, considerando uma eficiência de aplicação de

90%, isto é, $V_a = K_c \cdot K_p \cdot E_{TA}/0,9$. Os valores de K_p utilizados foram os fornecidos por DOORENBOS & PRUITT (1977), corrigidos em função da velocidade do vento (km. dia^{-1}) e umidade relativa do ar (%). Os valores de K_c foram os fornecidos por ALLEN et al. (1998). A precipitação efetiva foi estimada de acordo com o coeficiente de escoamento superficial (MILLAR, 1978), que varia em função da classe de textura, da declividade da área (%) e da cobertura do solo.

O tempo de funcionamento (horas) do sistema de irrigação foi estimado pela relação entre o volume de água a ser aplicado (mm) e a intensidade de aplicação de $5,34 \text{ mm h}^{-1}$, utilizada como referência (100%).

Ao longo do desenvolvimento da cultura foram analisados algumas variáveis como AP, MSPA e IAF. A colheita do experimento foi realizada no estágio R9 (maturação plena) sendo avaliados os componentes de produção da cultura como NLP, NGL e MMG. Também foi avaliada a PG da cultura da soja.

Os dados foram interpretados a partir da análise de variância, de acordo com o delineamento experimental adotado e, por tratar-se, neste experimento, de investigação de variáveis quantitativas (lâminas de irrigação e doses de nitrogênio), foi testada a análise de regressão. Para a realização dessas análises foi utilizado o programa "SISVAR", e para a elaboração dos gráficos foi utilizado o programa SIGMAPLOT (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou haver diferenças estatísticas nos parâmetros de desenvolvimento da cultura (AP, MSPA e IAF) em relação às lâminas de irrigação, porém, não apresentou diferença entre as doses de nitrogênio, como também na interação entre os dois fatores. Os valores de AP mostram que, até o estágio de desenvolvimento R2, as lâminas de irrigação e as doses de N não provocaram efeitos sobre a altura de planta. Esta somente apresentou diferença significativa no estágio R5.1 e somente para as lâminas de irrigação, sendo que os maiores valores foram apresentados pelos tratamentos que receberam maiores lâminas de água, sendo o máximo valor de 0,800 m apresentado pelo tratamento L4,

e o mínimo valor apresentado pelo tratamento L0 que atingiu a 0,663 m (Figura 1 (a)).

Estes resultados concordam com os de MONTEIRO et al. (2010), que avaliou os efeitos da irrigação e da adubação nitrogenada na cultura da soja, sendo que a AP foi influenciada pelo fator água, encontrando-se valores maiores nas plantas que receberam maiores quantidades de água. A altura de plantas também foi uma das características expressas mediante o uso da irrigação da cultura da soja, na região de Jaguari-RS, em trabalho realizado por RUVIARO et al. (2011), sendo que o tratamento testemunha atingiu a menor AP (0,967 metros), quando comparado aos demais. Resultados semelhantes foram observados por WINGEYER et al. (2013) e ROSADI et al. (2005).

Discordando dos resultados deste estudo, SCOTT et al. (2005) trabalhando com a aplicação de cinco doses de N (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹) e diferentes épocas de plantio, durante dois anos em três locais de Alabama (EUA), não obteve resultados significativos quanto a AP no estágio R1 nem ao final do ciclo da cultura da soja.

Os resultados obtidos da massa seca da parte aérea das plantas, tanto no estágio R5.1 como no estágio R9, apresentaram diferenças significativas em relação às lâminas de irrigação (Figura 1 (b)), o maior valor de MSPA foi de 9294,6 kg ha⁻¹ e 11311,7 kg ha⁻¹ respectivamente. Em seu trabalho SCOTT et al. (2005), avaliou o rendimento e a matéria seca na cultura da soja com aplicações de nitrogênio e observou que a aplicação de 60 e 70 kg ha⁻¹ maximizou o acúmulo de matéria seca no estágio R1 da cultura.

Estes dados estão de acordo com WINGEYER, et al. (2013), que trabalhou em ambiente irrigado e não irrigado com aplicação de adubação nitrogenada em soja, nos estádios R1 e R4 e observou que a matéria seca da parte aérea das plantas em R5 foi 16% maior na área irrigada, mas não foram afetados pela adição de fertilizantes nitrogenados.

Em relação às doses de N, no presente trabalho, a MSPA não apresentou diferenças significativas, porém, em tratamentos com uréia e uréia revestida de polímero, aplicados em superfície com doses de 45 e 90 kg ha⁻¹ e uma testemunha sem N, BARKER et al. (2005), foram observados efeitos significativos no estágio R6 com a dose de 90 kg ha⁻¹.

Em experimento desenvolvido durante três anos em Midsouthern (EUA), com doses altas de adubação nitrogenada de 290, 310 e 360 kg ha⁻¹ em ambiente irrigado e não irrigado, RAY et al. (2006), observou um aumento significativo no acúmulo de MS de 14 e 17%, aproximadamente, em relação aos dois tipos de ambientes.

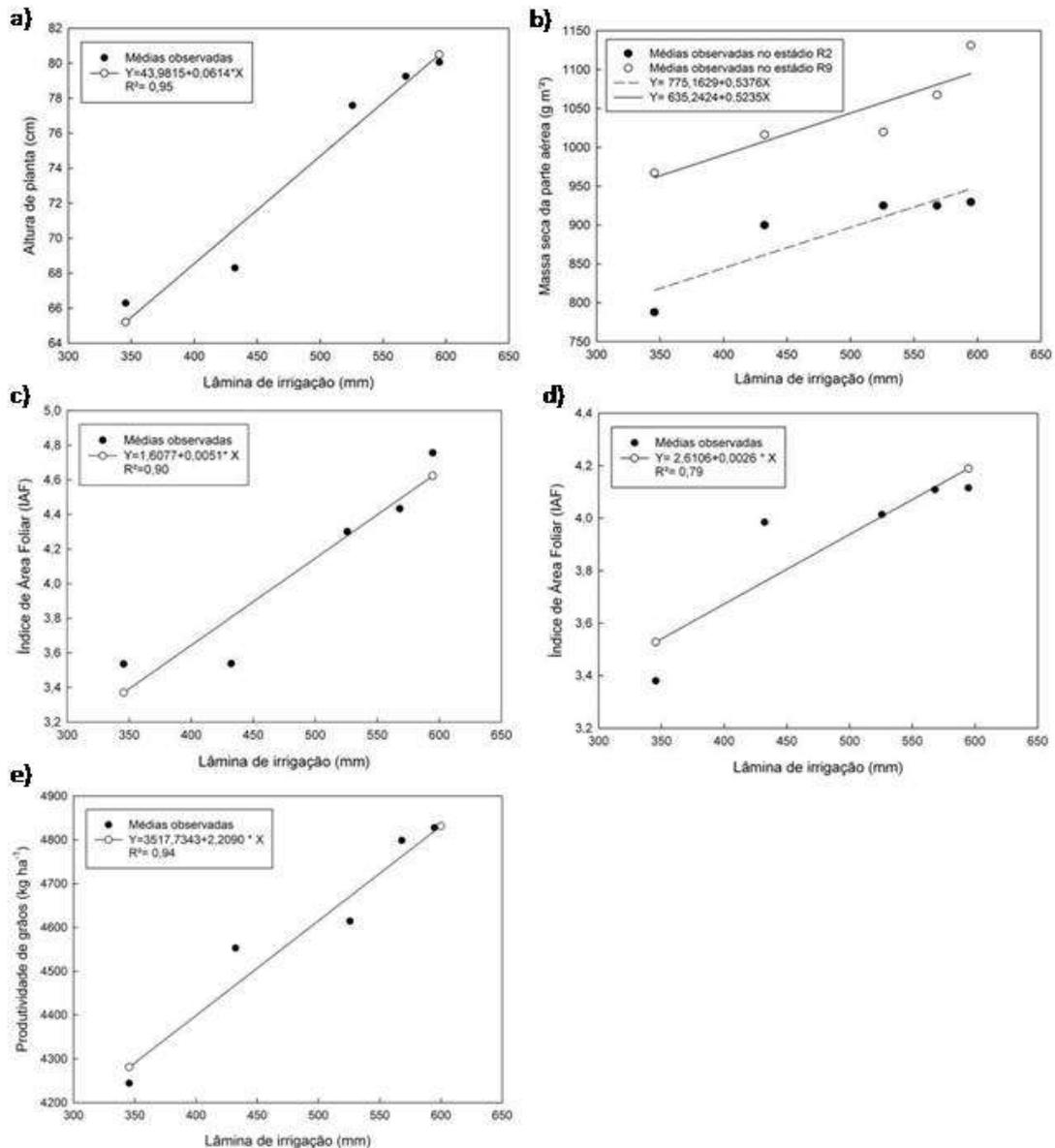


Figura 1: Altura de planta (a), massa seca da parte aérea (b), índice de área foliar estádio R2 (c), índice de área foliar estádio R5.1 (d) e produtividade de grãos (e) em função da quantidade de água aplicada. Safra 2013/14, Ibirubá, RS.

Avaliando a MSPA com diferentes populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja, KUSS, et al., (2008) observou que a maior

população de plantas com irrigação durante todo o ciclo apresentou a maior MSPA, diferindo dos demais manejos, já a população com menos plantas por hectare não apresentou diferenças estatísticas entre os manejos de irrigação. Isso se deve em relação do maior número de plantas por área, implicando maior acúmulo de massa seca onde não houve restrição hídrica.

As variações dos valores de índice de área foliar (IAF), durante o ciclo da cultura da soja foi avaliada nos estádios R2 e R5.1, (Figura 1 (c) e (d)), onde apresentaram diferenças significativas apenas para as lâminas de irrigação e não foi observado a interação entre os dois fatores.

Os valores de IAF nestes estádios de desenvolvimento da cultura foram semelhantes para o manejo nitrogenado, porém não houve diferença significativa. Diferentemente do que foi observado neste experimento, SANT`ANA & SILVEIRA (2008), ao trabalhar com a avaliação da resposta do feijoeiro irrigado ao nitrogênio em cobertura, observou que a adubação nitrogenada influenciou, significativamente ($p < 0,005$), o IAF até os 66 dias após a semeadura.

Já o fator água influenciou as variações do IAF nos dois estádios avaliados, encontrando-se os maiores valores nas plantas que receberam maiores quantidades de água, porém, os valores de IAF encontrados nos estádios R5.1 foram inferiores aos encontrados no estágio anterior. O tratamento L4 apresentou o máximo IAF de $4,75 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ (R2) e $4,12 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ (R5.1) e o L0 o mínimo IAF de $3,53 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ (R2) e $3,38 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ (R5.1).

Estes valores foram superiores aos obtidos por HEIFFIG et al. (2006), estudando o desenvolvimento da soja, cultivar MG/BR 46 (Conquista), sob diferentes arranjos, onde o IAF máximo ($2,9 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$), referente ao espaçamento de 0,5m e uma população de $280.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, ocorreu no início do estágio R5. O IAF das plantas varia de acordo com o clima, estações do ano, e estágio de desenvolvimento da cultura (CÂMARA e HEIFFIG, 2000).

Quanto aos componentes de produção da cultura (NLP, NGL e MMG) e a PG, a análise de variância revelou que a PG apresentou diferenças estatísticas entre as lâminas de irrigação e a MMG foi significativo somente para as doses de nitrogênio, não influenciando estatisticamente o NLP e o NGL para nenhum dos dois fatores. Assim, como diferentes doses de N não apresentaram diferenças significativa para as outras variáveis, apenas para MMG, ARF et al. (2004) justificam que tal resultado

repousa no alto teor de matéria orgânica do solo liberaria quantidades suficientes de N para atender às necessidades da planta.

A massa de mil grãos (figura 2) apresentou maior valor (155,2 g) que foi obtido com a maior dose de N aplicada (120 kg de N ha⁻¹) e o menor valor (151,5 g) obtido no tratamento que não recebeu nitrogênio. Em relação aos tratamentos irrigados e não irrigado a massa de mil grãos não diferiram entre si, sendo que esse resultado está de acordo com o que foi observado por WESLEY et al. (2013) e MELGAR & LUPI (2002).

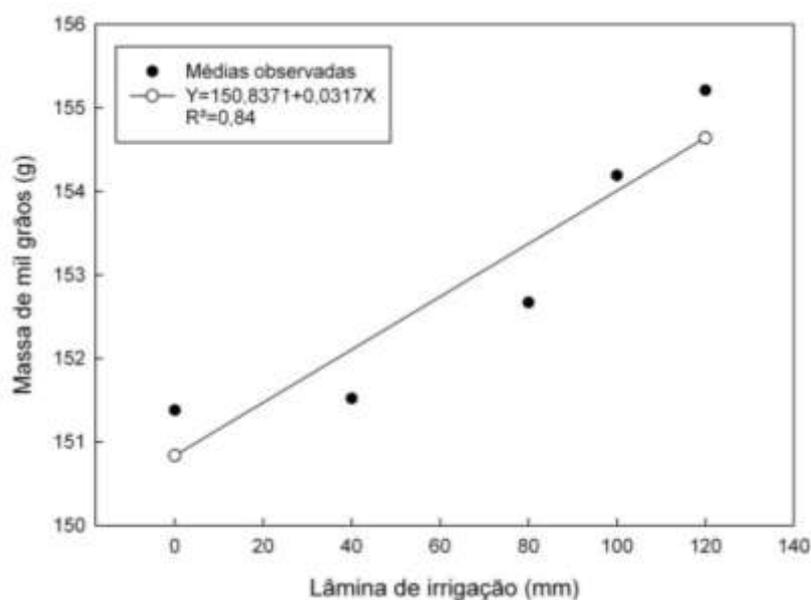


Figura 2: Massa de mil grãos em função das doses de nitrogênio e produtividade de grãos em função da quantidade de água aplicada à cultura da soja, cultivar BMX Ativa. Safra 2013/14, Ibirubá, RS.

Estes resultados podem estar relacionados com o acúmulo de biomassa durante os estádios reprodutivos da cultura (VEGA et al., 2001). Pode ser que nestes tratamentos onde a MMG foi reduzido houve maior abortamento de flores e legumes por planta, fazendo com que aqueles legumes que permaneceram nas plantas, acumulassem mais massa seca em seus grãos do que, comparativamente, com plantas com maior número de legumes e grãos, onde é maior a demanda por foto assimilado (CASAGRANDE et al., 2001).

O máximo valor de PG (Figura 1 (e)) encontrado foi de aproximadamente 4827 kg ha⁻¹ no tratamento L4, correspondente à maior lâmina de irrigação, enquanto que o menor valor de PG foi de 4244 kg ha⁻¹, no tratamento testemunha

L0, evidenciando um aumento de aproximadamente 12% na PG, quando aumentada a lâmina em 249 mm. Em trabalho realizado por GOMES et al. (2014), foi observado o mesmo comportamento quanto ao aumento na produtividade de grãos em função da quantidade de água aplicada nas cultivares de soja CD 219 e AL 55. O tratamento que recebeu a maior lâmina de irrigação apresentou um incremento de 11,5% em relação à testemunha que não recebeu irrigação.

Os valores da PG obtidos neste trabalho são menores que os obtidos por RAMBO et al. (2002) que avaliaram o rendimento de grãos de soja (cultivar BRS 137), em Eldorado do Sul (RS), onde obtiveram uma produtividade de 5530 kg ha⁻¹ e 4898 kg ha⁻¹ para o tratamento irrigado e não irrigado, respectivamente.

Por outro lado, os valores da PG superaram os valores encontrados por HERZOG et al. (2004), em experimento com a cultivar FEPAGRO RS-10, no ano agrícola 2001/02, em Eldorado do Sul onde obtiveram, em sistema plantio direto, rendimentos médios de 3334 kg ha⁻¹ (com irrigação) e 2996 kg ha⁻¹, (sem irrigação). Esses rendimentos foram atribuídos à oferta pluvial no período em que a cultura se encontrava em enchimento de grãos (fevereiro e março). Em experimentos conduzidos, por MOREIRA et al. (2002), em sistema de plantio direto e sem limitação hídrica, foram obtidos rendimentos de grãos de 3207 kg ha⁻¹.

Os resultados deste estudo corroboram com os do trabalho de WINGEYER et al. (2013), no qual a aplicação de adubação nitrogenada nos estádios R1 e R4, apresentou o rendimento médio de soja de 4240 (irrigado) e 3390 Kg ha⁻¹ (não irrigado), respectivamente, mas não foram afetados pela adubação nitrogenada. Estes resultados sugerem que a adição de fertilizante nitrogenado durante os estádios reprodutivos da soja não é um manejo eficaz para aumentar a produtividade de plantas de soja sob regime irrigado ou não irrigado.

Por outro lado, discordando destes valores, em um período de dois anos no Kansas, WESLEY et al. (2013) avaliou as doses de 0, 20 e 40 kg ha⁻¹ de N e oriundo de diferentes fontes: solução de uréia e nitrato de amônio (UAN); nitrato de amônio; uréia; uréia + N (N-BUTIL) tiofosforico triamida NBPT (é um inibidor de uréase disponível comercialmente), estas aplicações ocorreram no estádio R3 e concluíram que a produtividade da soja foi significativamente aumentada pela aplicação de N em final de ciclo em 6 dos 8 locais testados, onde o aumento médio foi de 11,8%.

Em virtude dos estudos apresentados, anteriormente, pode-se avaliar que as práticas de irrigação se tornam muito importantes para garantir a produção, principalmente, nas regiões mais susceptíveis a déficit hídrico.

CONCLUSÃO

De acordo com as condições em que foi realizado o experimento, em função dos resultados obtidos e das análises realizadas, para a cultivar de soja (BMX Ativa) na região de Ibirubá-RS, pode-se concluir que:

Existe a necessidade de uso da irrigação, uma vez que ocorreu redução significativa da produção de grãos no tratamento não irrigado, sendo estas reduções devidas à ocorrência de períodos de déficit hídrico devidos à distribuição irregular das chuvas.

Os parâmetros de desenvolvimento (AP, MSPA e IAF) e a componente de produção MMG foram influenciados pela irrigação, mas a adubação nitrogenada (uréia) influenciou apenas a MMG.

A produtividade de grãos foi influenciada significativamente pela irrigação, mas não pela aplicação de nitrogênio.

A adubação nitrogenada aplicada no início do estágio reprodutivo da soja não foi um fator positivo para o acréscimo da produtividade de grãos, mesmo influenciando a MMG.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. Evapotranspiración Del cultivo Guías para La determinación de los requerimientos de água de los cultivos. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. **Irrigation and drainage** paper, 56).

ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida 'Tahiti' a diferentes níveis de irrigação**. 2006. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2006.

ARATANI, R. G. et al. Nitrogen fertilization in soybean in no tillage system introduction. **Bioscience Journal**, v. 24, n.3, p. 31-38, 2008.

ARF, O. et al. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 131-138, 2004.

BARKER, D.W., SAWYER, J.E. Nitrogen Application to Soybean at Early Reproductive Development. **Agronomy Journal**. V. 97, n. 2, p. 615-619, March, 2005.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 393 p.

CÂMARA, G. M. S., HEIFFIG, L. S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. In: CÂMARA, G.M.S. Soja: **Tecnologia da produção**. Piracicaba: ESALQ/LPV, p. 81-120, 2000.

CASAGRANDE, E. C. et al. Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, n.2, p.168-184. 2001.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179p. **Irrigation and Grainage**, Paper 24.

FEHR, W.R. & CAVINESS, C.E. 1977. Stages of soybean development. Ames: State University of Science and Technology. **Special report**, p. 11.

FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**, v. 8, n. 2, p. 132-141, 2003.

FRANKE, A. E.; DORFMAN, R. Necessidade de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões. RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.35, n. 8, p. 1675-1683, 2000.

FREEBORN, J. R. et al. Soybean yield response to reproductive stage soil-applied nitrogen and foliar-applied boron. **Agronomy Journal**, vol. 93, Nov-dez 2001.

GOMES, A. C. S. et al. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 43-49, jan, 2014.

HANS, R.J. et al. Line source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, p. 426-429, 1976.

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

HERZOG, R. L. DAS.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 771-780, 2004.

HUNGRIA, M. et al. **Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max (L.) Merr.*) in South America**. In: SINGH, R.P.; SHANKAR, N.; JAIWAL, P.K. (Ed.). Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity. **Houston: Studium**, 2006. p.43-93.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** – Censo agropecuário – 2006. Rio de Janeiro, 2009.

KLARMANN, P. A. **Influência de plantas de cobertura de inverno na disponibilidade de N, fixação biológica e rendimento da soja sob sistema**

plantio direto. 2004. 142p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

KUSS, R. C. R. et al. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, 38:1133-1137, 2008.

LIMA, J. R. de S. et al. Estimativa da evapotranspiração do feijão caupi utilizando o modelo de Penman-Monteith. **Irriga**, v. 11, n. 4, p. 477-491, 2006.

MELGAR, R., and LUPI, A. Soybean with nitrogen. (In Spanish.) **Fertilizar** (Argentina) 28: 14-17, 2002.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, LTDA, 1978. 276p.

MONTEIRO, P. F. C.; ÂNGULO, R. F. & MONTEIRO, R. O. C. Efeito da irrigação e da adubação nitrogenada sobre as variáveis agronômicas da cultura do feijão. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 386-400, outubro-dezembro, 2010.

MOREIRA, S. G. et al. Produtividade de soja e acúmulo de nutrientes em função de sistemas de preparo. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 14, 2002, Cuiabá. **Anais...**Cuiabá: SBCS, 2002. CD Rom.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. 2010. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PMSB - **Plano Municipal de Saneamento Básico**. 2014. Ibirubá-RS, p. 82. Disponível em: <http://www.ibiruba.rs.gov.br/engenharia/2014/pmsb-ibiruba.pdf>. Acessado: 19 agosto de 2014.

PURCELL L.C.; RACHID S.; THOMAS R. & de A. (2004) Soybean N₂ fixation estimates, ureide concentration, and yield responses to drought. **Crop Science**, 44:484-492.

RAMBO, L. et al. Rendimento dos grãos de soja e seus componentes por estrato do dossel em função do arranjo de plantas e regime hídrico. **Scientia Agrária**, v. 3, n. 1-2, p. 79-85, 2002.

RAY, D. J. Influence of Large Amounts of Nitrogen on Non irrigated and Irrigated Soybean. **Crop Science**. V. 46, n. 1, p. 52-60, Jan, 2006.

ROSADI, R. A. B. et al. Critical water content and water stress coefficient of soybean (*Glycine Max (L.) Merr.*) under deficit irrigation. Springer – Verlag - **Paddy Water Environ**, v. 3, p. 219-223, 2005.

RUVIARO, C. et al. Comportamento da soja submetida a diferentes regimes hídricos e viabilidade da irrigação suplementar na Região do Vale do Jaguari-RS. **Perspectiva**, Erechim, v. 35, n. 131, p. 79-90, 2011.

SANT`ANA, E. V. P. & SILVEIRA, P. M. Crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) influenciado por doses de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, p. 134-140, 2008.

SANTOS, A. B. et al. Resposta do feijoeiro ao manejo de nitrogênio em várzeas tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1265-1271, 2003.

SCOTT, T. S. et al. Nitrogen Application Increases Yield and Early Dry Matter Accumulation in Late-Planted Soybean. **Crop Science**.n.45, p. 854–858, 2005.

SILVA D. K. T. da et al. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no noroeste do Paraná na safra 2002/2003. **Scientia Agrária**, v.6, n. 1-2, p. 47-53, 2005.

SIGMAPLOT. For Windows, version 11.0. Systat Software, 2008.

STRECK, E. V. et al. 2008. **Solos do Rio Grande do Sul**.2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, p. 77.

VEGA, C. R. C., et al. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower, and maize. **Crop Science**. 41:748–754. 2001.

VIVAN, G. A. et al. **Simulação dinâmica da soja, milho e feijão, cultivados sob diferentes regimes hídricos**. 2014, 20.f. Tese Doutorado – Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

WESLEY, T. L. et al. Effects of Late-Season Nitrogen Fertilizer on Irrigated Soybean Yield And Composition. **Journal of Production Agriculture**. V. 11, n. 3, p. 331-336. April, 2013.

WINGEYER, A. B.; ECHEVERRIA, H. & ROZAS, H.S. Growth and yield of irrigated and raifaed soybean with Late nitrogen fertilization. **American Society of Agronomy**. V. 106, n. 2, p. 567-576, 2013.

DISCUSSÃO GERAL

No presente trabalho, nos artigos 1 e 2, foram avaliadas algumas variáveis agronômicas da cultura da soja em relação à irrigação e à adubação nitrogenada. De modo geral pode-se afirmar que a utilização da irrigação na cultura resultou em incremento na produtividade da soja em ambas as situações.

Quanto a utilização da irrigação, pode-se observar, no artigo 1, que o rendimento da soja no tratamento irrigado foi superior em 477 kg ha⁻¹ em relação ao tratamento não irrigado, que apresentou uma produtividade de 4.255 kg ha⁻¹. Esses dados de produtividade encontrados, corroboram com os encontrados por Ruviano, et al. (2011), que testaram a cultivar de soja NA 5909 RG, em Santiago, RS encontrando valores de produtividade de 4.045 kg ha⁻¹ para uma lâmina aplicada de 30 mm e 3.602 kg ha⁻¹ para a estratégia não irrigada.

Os resultados da análise de variância, referentes ao artigo 1, indicaram não haver interação entre os fatores, tratamento com e sem restrição hídrica e doses de nitrogênio aplicadas (Tabela 1), mas houve diferença estatística para lâminas de irrigação e para as doses de nitrogênio, sendo estes dados analisados separadamente.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância para o número de nódulo (NN), massa seca de nódulo (MSN) e rendimento de grãos (RG) da cultivar BMX Ativa em função das lâminas de irrigação (L), doses de nitrogênio (N) e coeficiente de variação (CV%). Safra 2013/14, Ibirubá, RS.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Probabilidade maior que F calculado		
		Pr>Fc	NN	MSN
L	1	0,1355	0,0901	0,0350*
N	3	0,0066*	0,0104*	0,2364
L x N	3	0,8148	0,3199	0,2648
CV Lâmina(%)		37,5	6,6	8,18
CV Nitrogênio(%)		27,4	25,3	11,13
Média geral		59,3	220,7	4493,3

*Significativo em nível de 5% de probabilidade de erro.

O consumo hídrico da cultura da soja (Figura 1) no período experimental foi de 434,5 mm (Evapotranspiração da cultura acumulada – Etc). Diante disso, no artigo 2, observou-se que as lâminas de água aplicadas nos tratamentos L0, que não recebeu irrigação, L1 e L2, causaram déficit hídrico à cultura da soja. O tratamento L3 foi manejado de acordo com a evapotranspiração da cultura, ou seja, recebia através da irrigação a lâmina referente a 100% da ETc. Já o tratamento L4 recebeu irrigação em valor superior à necessidade da cultura.

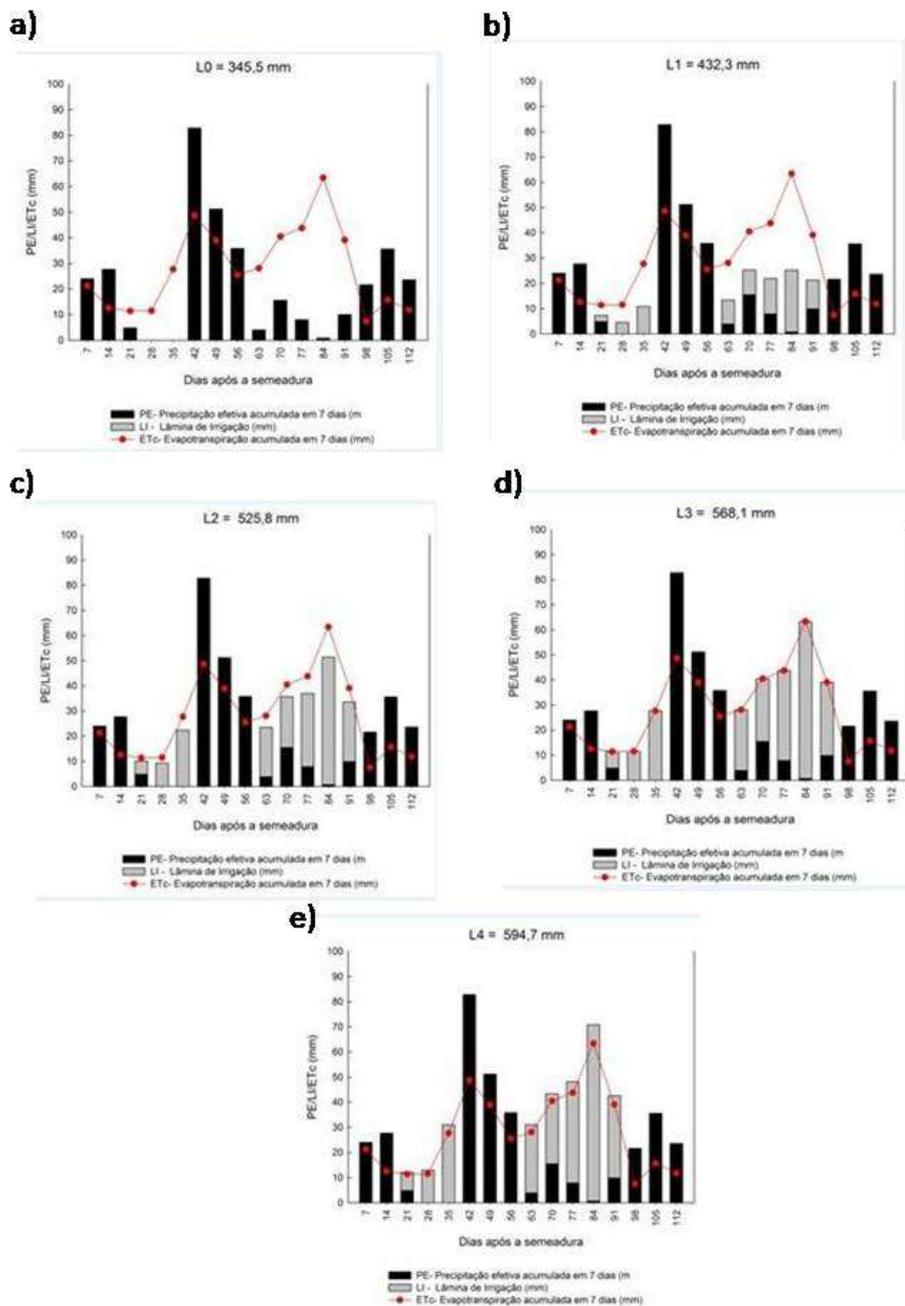


Figura 1: Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e evapotranspiração da cultura acumulada em sete dias durante o desenvolvimento da cultura da soja para suas respectivas lâminas aplicadas para a cultivar BMX Ativa. Safra 2013/14, Ibirubá, RS.

A menor lâmina aplicada esta de acordo com o trabalho de VIVAN (2010), que realizou uma análise das safras do período de 93/94 a 06/07, e verificou que todos os cenários simulados apresentaram necessidade de irrigação suplementar para a cultura da soja, sendo a mínima e máxima lâmina requerida entre aproximadamente 54 e 430 mm.

Observou-se que o aumento das lâminas de irrigação aplicadas à cultura (345,5; 432,3; 525,8; 568,1 e 594,7 mm) é diretamente proporcional ao aumento da produtividade (4.244; 4.553; 4.614; 4.799 e 4.828 kg ha⁻¹). Através da análise dos dados encontrados, nota-se que à medida que se eleva o percentual de lâmina aplicada, isto é, aproxima-se a lâmina requerida da lâmina de irrigação fornecida, suprimindo as necessidades da cultura, ocorrem menores reduções de rendimento e a cultura tende a expressar seu máximo potencial produtivo. Estes resultados da relação das lâminas de irrigação com o aumento da produtividade estão de acordo com os encontrados por DOORENBOS & KASSAN (1979) e REICHARD (1987), que afirmam que para a obtenção de uma produtividade elevada, são necessários entre 450 a 850 mm de água por ciclo, dependendo do clima e da duração do período de desenvolvimento. Assim, considerando os valores dos tratamentos referentes às lâminas de irrigação do presente trabalho, apenas a testemunha L0 e o tratamento L1 estão abaixo destes valores.

Conforme o resultado encontrado nos dois artigos fica comprovado que o uso de irrigação na cultivar de soja BMX Ativa aumenta a produtividade de grãos na região de Ibirubá, RS, e a maior produtividade de grãos obtida foi de 4.827 kg ha⁻¹ observado no tratamento L4 que recebeu 594,7 mm. A lâmina total de água necessária pela cultura durante seu ciclo deve atender às exigências hídricas das plantas em todos os estádios do ciclo de desenvolvimento. Deve-se ressaltar que as necessidades hídricas das plantas variam de um período para outro, aumentando desde a emergência das plântulas, com valores muito baixos, até o ponto de máxima área foliar onde se observa a maior evapotranspiração (KUSS, 2006).

Além do incremento na produtividade, o fator lâminas de irrigação influenciou algumas das variáveis biofísicas da soja no artigo 2, sendo elas: AP, MSPA e IAF encontrando valores maiores nas plantas que receberam maiores quantidades de água.

Já em relação à adubação nitrogenada, em relação a produtividade da cultura, nas diferentes situações de estudo, tanto no artigo 1 como no artigo 2, não obteve-se respostas significativas, nem observou-se a interação dos fatores analisados. Segundo Alves et al. (2006) a fixação biológica é suficiente para atender a demanda de nitrogênio da soja, dispensando a adubação suplementar com o nutriente, não corroborado por Gan et al. (2003), os quais consideram a aplicação de N na soja um ponto positivo e indispensável para o aumento de produtividade, sendo que sem o fornecimento de N à cultura, a produtividade tende a ser menor, mesmo com reinoculação da soja.

Apesar da maioria dos trabalhos científicos realizados com adubação nitrogenada em soja não apresentarem diferença significativa quanto à produção de grãos, existem trabalhos em que se obtiveram resultados significativos de produtividade como PAEK et al. (1998), SOARES NOVO et al. (1999), JUDY e MURDOCK (1998) e SANTOS et al. (2000). Sendo assim, a obtenção de acréscimo de produtividade e melhora das características das plantas de soja com a utilização da adubação nitrogenada pode estar relacionada a outros fatores, além da adubação, tais como, variedades, épocas de semeadura, fonte de nitrogênio, etc.

Trabalhos desenvolvidos por MENDES et al. (2008), BAHRY (2011) e BAHRY et al. (2013a) mostraram não haver efeito benéfico da prática de adubação nitrogenada em cobertura à produtividade da soja e, em determinados casos, segundo AMADO et al. (2010) o efeito pode ser prejudicial.

Conforme observado no artigo 2, observa-se resultados significativos quanto a adubação nitrogenada apenas para a MMG, apresentando um valor máximo de 155,2 g no tratamento que recebeu a maior dose de N (120 kg ha^{-1}). Corroborando com estes resultados, Silveira e Damasceno (1993) verificaram aumento na massa de 100 sementes com a aplicação de 30 kg ha^{-1} de N, no entanto, diferem dos obtidos por ALMEIDA et al. (2000) e CRUSCIOL et al. (2003), que não observaram efeito da aplicação de N na massa de 100 grãos. O aumento no peso das sementes pode estar associado ao maior acúmulo de proteína nos grãos, em função da maior síntese de aminoácidos ocasionada pela presença de N. Isso pode ser em função de que o nitrogênio aplicado juntamente à floração é normalmente canalizado diretamente para os grãos (ZIMMER, 2012); o contrário ocorre antes da floração, em que o N é rapidamente incorporado em novas proteínas vegetativas, contribuindo

assim para o crescimento e desenvolvimento vegetativo da planta (THIES et al., 1995; LARCHER, 2000).

No artigo 1, avaliou-se o MSN e o NN e concluiu-se que a adubação nitrogenada, independente da dose aplicada, diminui a massa seca e o número de nódulos por planta, sendo os menores (163,3 mg e 49,3 nódulos) valores obtidos nos tratamentos em que receberam a maior dose de N. Estes dados corroboram com NOVO et al. (1997) que constatou que a massa seca de nódulos foi linear e inversamente correlacionada com a dose de nitrogênio aplicada, indicando que o aumento da dose de N causou decréscimo no número de nódulos.

Em função de resultados contraditórios quanto ao uso de fertilizantes nitrogenados, novas pesquisas devem ser conduzidas no sentido de maximizar a eficiência da FBN, visando o suprimento dos novos tetos de produtividade com esse processo de simbiose e evitando assim o uso desnecessário de fertilizantes (PETTER, 2012).

CONCLUSÃO GERAL

Para as condições em que foi conduzido o presente estudo na região de Ibirubá-RS, pode concluir que:

- ▶ O rendimento de grãos da cultivar de soja BMX Ativa é dependente da lâmina de irrigação utilizada, ficando comprovado que o uso de irrigação suplementar aumenta a produtividade de grãos na região de Ibirubá, RS.
- ▶ A nodulação da soja, da cultivar em estudo, é prejudicada pela aplicação de nitrogênio independente da dose usada.
- ▶ As variáveis analisadas (AP, MSPA e IAF) e a componente de produção MMG foram influenciados pela irrigação, mas a adubação nitrogenada (uréia) influenciou apenas a MMG.
- ▶ A produtividade de grãos foi influenciada significativamente pela irrigação, mas não pela aplicação de nitrogênio. O manejo da irrigação (120% da ETc) pode ser o indicado quando se objetiva a máxima produtividade de grãos.
- ▶ A adubação nitrogenada aplicada no início do estágio reprodutivo da soja não foi um fator positivo para o acréscimo da produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS GERAIS

ALMEIDA, C. et al. Uréia em cobertura e via foliar em feijoeiro. Piracicaba, **Scientia Agrícola** v. 57, n.2, p. 293-298, 2000.

ALVES, B.J.R. et al. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p. 449-456, 2006.

AMADO, T. J. C., SCHLEINDWEIN, J. A., FIORIN, J. E. Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema de plantio direto. In: THOMAS, A. L., COSTA, J. A. (Eds.). **Soja: Manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre, 2010, p. 35-80.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, 2009**. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso: set 2014.

ANDRADE. C. L. T. et al. Avaliação de Estratégias de Produção em Agricultura Irrigada no Perímetro de Irrigação do Gorutuba. **Embrapa Milho e Sorgo**, p. 151. 2008.

BAHRY, C.A. **Desempenho agrônômico da soja em função da adubação nitrogenada em diferentes estádios reprodutivos**. Ano de obtenção: 2011. 45p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós Graduação em Ciência e tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2011.

BAHRY, A.C. et al. Aplicação de ureia na fase reprodutiva da soja e seu efeito sobre os caracteres agrônômicos. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.7, n.2, p.9-14, 2013a.

BAHRY, C. A. et al. Características morfológicas e componentes de rendimento da soja submetida à adubação nitrogenada. Dourados, **Revista Agrarian**, v.6, n.21, p.281-288, 2013b.

BORGES, A. O grande desafio do agronegócio no Brasil. Disponível em: <<http://www.empreendedorrural.com.br>>. Acesso em: 16 dez.2008.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2012/2013, nono levantamento, junho 2013.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2013/2014, v. 1, n. 11, Décimo primeiro levantamento, agosto. 2014.

CRUSCIOL, A. C. et al. Efeito do nitrogênio sobre a qualidade fisiológica, produtividade e característica de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 108-115, 2003.

DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Roma, **Irrigation and Drainage Paper** 33, p. 306, 1979.

GAN, Y. et al. Effect of N fertilizer top-dressing at various reproductive stages on growth, N₂ fixation and yield of three soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) genotypes. **Field Crops Research**, Warwick, v. 80, n. 2, p. 147-155. 2003.

HUNGRIA, M. et al. **Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in South America**. In: Singh, R. P.; Shankar, N.; Jaiwal, P. K. (Ed.) Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity. Houston: Studium Press, LLC; p. 43-93. 2006.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Anuário Estatístico do Brasil. V. 73, p. 39. 2013.

JUDY, C.; MURDOCK, L. Late season supplemental nitrogen on double-cropped soybeans. **Soil Science News & Views**, v. 19, n. 2, 1998, p. 1-2.

KLARMANN, P.A. **Influência de plantas de cobertura de inverno na disponibilidade de N, fixação biológica e rendimento da soja sob sistema plantio direto**. Ano de obtenção: 2004. 142 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

KUSS, R. C. R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. 2006. 81 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. cap. 3, p.478. 2000.

LOURENÇO, J. C. **A evolução do agronegócio brasileiro no cenário atual**. Disponível em http://www.administradores.com.br/artigos/a_evolucao_do_agronegocio_brasileiro_no_cenario_atual/24824. 2008.

LOURENÇO C.,LIMA, B. **Evolução do agronegócio brasileiro, desafios e perspectivas em Observatorio de La Economía Latino americana**. Número 118, 2009. Texto completo in <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/>.

MARIANO, Z. de F. **Precipitações pluviiais e a cultura da soja em Goiás**. Revista Mercator, Fortaleza, CE, v.9, n. especial 1. 2010. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/455/295>>. Acesso em 23 de setembro 2014.

PAEK, N. C. et al. Nutritional control of soybean seed storage protein. **Crop Science**, v. 37, 1998, p.498-503.

PETTER, F.A. et al. Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de cerrado. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 25, n. 1, p. 67-72, jan-mar., 2012.

PINTO, J.E.S.S.; NETTO, A.O.A. **Clima Geografia e agrometeorologia: uma abordagem interdisciplinar**. São Cristovão: Ed. UFS, 2008.

PRODUTO INTERNO BRUTO (PIB) DO BRASIL. Disponível em: http://www.suapesquisa.com/economia/pib_brasil_2014.htm. Acesso em 24 de setembro 2014.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, p. 178, 1987.

RUVIARO, C. et al. Comportamento da soja submetida a diferentes regimes hídricos e viabilidade da irrigação suplementar na região do Vale do Jaguari-RS. **Perspectiva, Erechim**. V.35, n.131, p.79-90, setembro/2011.

SANTOS, L. P. et al. Adubação nitrogenada e molíbdica da cultura da soja em Viçosa e Coimbra, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 269, 2000, p. 33-48.

SILVEIRA, P.M. da; DAMASCENO, M.A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.1269-1276, 1993.

THIES, J.E.; WOOMER, P.L.; SINGLETON, P.W. Enrichment of Bradyrhizobium spp. populations in soil due to cropping of the homologous host plant. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.633-636, 1995.

VIVAN, G. A. **Resposta da irrigação suplementar em diferentes cenários para a cultura da soja na microrregião de Passo Fundo, RS**. 2010. 87 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, 2010.

VIVAN, G. A. et al. **Avaliação das variáveis referentes à produção de soja no Rio Grande do Sul para o período agrícola 2004-2007**. Geomática (Santa Maria. Online), 2010.

WESLEY, T.L. et al. Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. **Journal of Production Agriculture**, v.11, p.331-336. 1998.

ZIMMER, P.D. **Fundamentos da qualidade da semente**. In: PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. (Ed.) Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. Pelotas, 2012. Cap. 2, p. 105-160.

APÊNDICES

Apêndice 1- Croqui da área experimental

