

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

**INFLUÊNCIA DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E
DENSIDADES DE PLANTAS SOBRE O CULTIVO DO
MILHO “SAFRINHA”**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Luis Humberto Bahú Ben

Santa Maria, RS, Brasil.

2015

**INFLUÊNCIA DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E
DENSIDADES DE PLANTAS SOBRE O CULTIVO DO MILHO
“SAFRINHA”**

Luis Humberto Bahú Ben

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração 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**.

Orientadora: Prof.^a Marcia Xavier Peiter

Santa Maria, RS, Brasil.

2015

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

Bahú Ben, Luis Humberto
INFLUÊNCIA DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E DENSIDADES DE
PLANTAS SOBRE O CULTIVO DO MILHO "SAFRINHA" / Luis
Humberto Bahú Ben.-2015.
87 p.; 30cm

Orientadora: Marcia Xavier Peiter
Coorientador: Adroaldo Dias Robaina
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2015

1. Zea mays L. 2. Milho segunda safra 3. Manejo de
água 4. Populações de plantas I. Xavier Peiter, Marcia
II. Dias Robaina, Adroaldo III. Título.

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Luis Humberto Bahú Ben. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: luishumbertoben@hotmail.com

**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

**INFLUÊNCIA DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E DENSIDADES DE
PLANTAS SOBRE O CULTIVO DO MILHO “SAFRINHA”**

elaborada por
Luis Humberto Bahú Ben

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Marcia Xavier Peiter Dr.^a (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Adroaldo Dias Robaina Dr. (UFSM)
(Coorientador)

Ana Carla dos Santos Gomes Dr.^a. (IFFarroupilha)

Fátima Cibele Soares Dr.^a. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 14 de julho de 2015.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao PPGEA pela oportunidade e espaço oferecido.

À professora orientadora Márcia Xavier Peiter pela oportunidade, carinho, amizade, ensinamento e paciência depositada.

Ao professor coorientador Adroaldo Dias Robaina, pelos ensinamentos, atenção, amizade e profissionalismo.

À professora Ana Rita Costenaro Parizi pelo carinho, amizade, aprendizado, auxílio na realização deste trabalho e, principalmente por me conduzir ao início e a trajetória do mestrado.

À minha namorada e companheira amada Ana Paula pelo cuidado, carinho, compreensão, incentivo e companheirismo na minha trajetória, sempre me dando forças para seguir em frente.

À minha família: meu Pai, Eitor Bernardo Ben e Minha Mãe, Lourdes Bahú Ben pelo apoio e base de vida em meu percurso.

Aos meus irmãos Bernardo Bahú Ben e Milena Bahú Ben pelo apreço, carinho e apoio.

Aos colegas do grupo de pesquisa de Engenharia de Irrigação do IFF-Alegrete pela camaradagem e auxílio na realização deste trabalho, em especial ao amigo Gideon Ujacov da Silva, pela dedicação e empenho na realização do trabalho de campo.

Aos colegas do laboratório de hidráulica da UFSM, pela amizade e amparo.

Ao Instituto Federal Farroupilha Campus Alegrete por ceder espaço e equipamentos para realização do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

Muito Obrigado!

"Costurar supõe a condição de furar o material para logo depois juntar. De um tecido contínuo qualquer, de qualquer matéria maleável e flexível, passível de ser transpassada, será preciso furar, cutucar, romper, cortar para ligar este mesmo material numa outra configuração. Romper as malhas das tramas, das fibras encadeadas, das linhas sobrepostas, uma a uma, num determinado ritmo e velocidade para novamente religá-las, numa outra sucessão."

(Edith Derdyk)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

INFLUÊNCIA DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E DENSIDADES DE PLANTAS SOBRE O CULTIVO DO MILHO “SAFRINHA”

AUTOR: LUIS HUMBERTO BAHÚ BEN

ORIENTADORA: MARCIA XAVIER PEITER

Santa Maria, 14 de julho de 2015.

A cultura do milho (*Zea mays L.*) destaca-se entre as grandes culturas de importância econômica mundial. No Brasil apresenta-se como o terceiro cereal mais cultivado, devido sua utilização que vai desde a alimentação animal até indústrias de alta tecnologia. Porém, a produtividade ainda é baixa ou sofre flutuações devido a má distribuição das chuvas. Sendo o déficit hídrico causado pela falta da água, o principal fator de produção que afeta a produtividade dessa cultura nas principais regiões produtoras do País. O que, para a região Fronteira Oeste do RS não é diferente. Assim, a utilização de irrigação suplementar apresenta-se como alternativa fundamental para minimizar o efeito do déficit hídrico e aumentar a produtividade. Outro fator limitante é a adequação da densidade de plantas em cenários com utilização de irrigação suplementar. Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação e densidades de plantas sobre os componentes de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho safrinha, cultivado na região Fronteira Oeste do Estado do RS. O trabalho foi conduzido no Instituto Federal Farroupilha – Campus de Alegrete/RS, no período de janeiro a maio de 2014. Utilizou-se o híbrido superprecoce Dekalb 250 VT Pro2. Os tratamentos foram dispostos em um Delineamento Inteiramente Casualizado em esquema fatorial 4x5 com três repetições. O momento das irrigações foi definido em turno de rega fixo de cinco dias e a quantidade de água aplicada, com base na evapotranspiração da cultura (Etc) medidas através de um tanque classe A e ajustadas conforme os coeficientes de tanque e de cultivo. Os tratamentos foram: 0% (precipitação pluviométrica), 50%, 75%, 100% e 125% da Etc. Foram definidas quatro densidades de plantas (40, 70, 100 e 130 mil plantas.ha⁻¹). Avaliou-se: altura de plantas, altura de inserção de espiga, diâmetro de colmo, índice de área foliar, matéria seca da parte aérea, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, número de espigas por planta, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, índice de colheita, produtividade de grãos e eficiência no uso da água. As diferentes lâminas de irrigação influenciaram o diâmetro de colmo, o índice de área foliar, a matéria seca da parte aérea, o comprimento de espigas, o número de grãos por espigas, a massa de cem grãos, a produtividade de grãos e a eficiência no uso da água. A utilização de irrigação suplementar é recomendada para maximizar a produtividade do milho safrinha para a região fronteira oeste do RS. A escolha da densidade de plantas é uma variável decisiva no cultivo de milho safrinha, visto que, as diferentes densidades de planta influenciaram significativamente os componentes produtivos da cultura. Além disso, há uma densidade de plantas que maximiza o rendimento de grãos de milho para cada lâmina de irrigação adotada. A combinação que obteve maior produtividade de grãos foi na densidade de 130 mil plantas.ha⁻¹ com a lâmina de irrigação de 100% da Etc com 15,25 t.ha⁻¹.

Palavras-chave: *Zea mays L.* Milho segunda safra. Manejo de água. Populações de plantas.

ABSTRACT

Masters Dissertation
Post Graduation Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

INFLUENCE OF DIFFERENT IRRIGATION STRATEGIES AND PLANT DENSITY ON THE CULTIVATION OF CORN "SECOND HARVEST"

AUTHOR: LUIS HUMBERTO BAHÚ BEN

ADVISER: MARCIA XAVIER PEITER

Santa Maria, 14 de julho de 2015.

The maize (*Zea mays* L.) stands out among the great cultures of global economic importance. In Brazil presents itself as the third most cultivated cereal, because its use ranging from animal feed to high-tech industries. However, productivity is still low or suffers fluctuations due to poor distribution of rainfall. As the drought caused by lack of water, the main production factor affecting the productivity of this crop in the main producing regions of the country. What, for RS West Frontier region is no different. Thus, the use of supplemental irrigation presents itself as a fundamental alternative to minimize the effect of water stress and increase productivity. Another limiting factor is the adequacy of plant density in scenarios with the use of supplemental irrigation. The purpose of the present study was to asses the effect of different irrigation strategies and plant densities on the yield components of maize crop cultivated in second season. This work took place at Instituto Federal Farroupilha - Alegrete Campus/RS, from January to June 2014. The treatments were arranged in a randomized design in a factorial scheme 4x5 with 3 replications. The moment of irrigation was defined in turn fixed irrigation of five days and the amount of water applied, based on evapotranspiration of culture (Etc). The treatments were 0% (rainfall without irrigation), 50%, 75%, 100% and 125% of the Etc was set four densities of plants (40, 70, 100 and 130 thousand plants.ha⁻¹). It was assessed: Plant height, ear insertion height, stem diameter, leaf area index, dry matter of the aerial part, ear length, ear diameter, number of corn ear per plant, number of grains per ear, aboveground dry matter, mass of 100 grains, harvest index and grain productivity and efficient use of water. There was a population of plants that maximized the yield of corn for each irrigation strategies adopted. The different irrigation strategies influenced mainly the stem diameter, leaf area index, dry matter of the shoot, the length of ear number of grains per ear, the mass of one hundred grains and grain productivity and efficient use of water. The use of supplementary irrigation is recommended to maximize the productivity of maize second crop to the border region west of the RS. The choice of the plant density is a crucial variable in the cultivation of maize crops, since the different populations significantly influenced the components of yeld. Furthermore, there is a plant density which maximizes the yield of corn grain for each blade irrigation adopted. The combination which obtained greater grain productivity was 130 thousand plants.ha⁻¹ with the strategies 100% of irrigation Etc (15.25 t. ha⁻¹).

Keywords: *Zea mays* L. Second crop. Water management. Plant populations.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Densidade do solo e de partícula observada na área experimental.....	26
Tabela 2 - Características físicas do solo da área experimental, valores médios de três repetições.....	27
Tabela 3 – Características químicas do solo Latossolo Vermelho distrófico arênico, unidade de mapeamento São Pedro – Valores médios para três repetições.....	27
Tabela 4 - Coeficiente (Kp) para o cálculo da evapotranspiração de referência a partir de observações do tanque Classe A.....	33
Tabela 5 - Coeficientes de cultura (Kc) para uso na evapotranspiração de referência.....	33
Tabela 6 – Lâminas de irrigação (individuais e acumulada) e precipitação acumulada de acordo com os diferentes tratamentos.	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Temperatura quinquidial média máxima e mínima observado durante o ciclo do milho safrinha.....	28
Figura 2 – Precipitação total efetiva acumulada a cada cinco dias, observadas durante o período de cultivo do milho.....	38
Figura 3 – Precipitação efetiva, irrigações na lâmina de 100% da Etc e evapotranspiração da cultura quinquidias.....	39
Figura 4 – Valores médios do comportamento da altura de plantas para as lâminas de irrigação e densidades de plantas, durante o período de cultivo do milho.....	40
Figura 5 – Influência de diferentes lâminas de irrigação sobre o diâmetro de colmo do milho.....	43
Figura 6 – Influência de diferentes densidades de plantas sobre o diâmetro de colmo do milho.....	44
Figura 7 – Resposta da produção de matéria seca da parte aérea em função das densidades de plantas e lâminas de irrigação.....	45
Figura 8 – Desenvolvimento do índice de área foliar do milho durante o ciclo da cultura, em resposta às diferentes populações de plantas.....	47
Figura 9 – Influência das lâminas de irrigação no índice de área foliar do milho durante o ciclo de cultivo.....	49
Figura 10 – Resposta do comprimento de espigas de milho às diferentes lâminas de irrigação.....	51
Figura 11 – Resposta do comprimento de espigas de milho às diferentes populações de plantas.....	52
Figura 12 – Número de espigas por planta em resposta as densidades de plantas de milho....	54
Figura 13 – Número de grãos por espiga de milho em resposta às densidades de plantas e lâminas de irrigação.....	56
Figura 14 – Efeito das lâminas de irrigação sobre a massa de cem grãos de milho.....	58
Figura 15 – Efeito das densidades de plantas sobre a massa de cem grãos de milho.....	59
Figura 16 – Resposta da produtividade de grãos de milho às diferentes lâminas de irrigação e densidades de plantas.....	60
Figura 17 – Índice de colheita em resposta às diferentes populações de plantas.....	63

Figura 18 – Eficiência no uso da água pelo milho em relação às diferentes lâminas de irrigação impostas.....	64
Figura 19 – Resposta do milho para a eficiência no uso da água em relação às densidades de plantas.	65

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Análise de variância da variável altura de plantas aos 14 DAE.....	76
Apêndice B - Análise de variância da variável altura de plantas aos 28 DAE.....	76
Apêndice C - Análise de variância da variável altura de plantas aos 41 DAE.....	76
Apêndice D – Análise de variância da variável altura de plantas aos 55 DAE.....	77
Apêndice E - Análise de variância da altura de inserção da primeira espiga.....	77
Apêndice F - Análise de variância do diâmetro de colmo.....	77
Apêndice G - Análise de variância da massa da matéria seca da parte aérea.....	78
Apêndice H - Análise de variância do índice de área foliar aos 14 DAE.....	79
Apêndice I - Análise de variância do índice de área foliar aos 28 DAE.....	79
Apêndice J - Análise de variância do índice de área foliar aos 41 DAE.....	79
Apêndice K - Análise de variância do índice de área foliar aos 55 DAE.....	80
Apêndice L - Análise de variância do índice de área foliar aos 71 DAE.....	80
Apêndice M - Análise de variância do índice de área foliar aos 84 DAE.....	80
Apêndice N - Análise de variância do índice de área foliar aos 96 DAE.....	81
Apêndice O - Análise de variância do índice de área foliar aos 112 DAE.....	81
Apêndice P - Análise de variância do índice de área foliar aos 127 DAE.....	81
Apêndice Q - Análise de variância do comprimento de espiga.....	82
Apêndice R - Análise de variância do diâmetro de espiga.....	83
Apêndice S - Análise de variância do número de espigas por planta.....	83
Apêndice T - Análise de variância do número de grãos por espiga.....	84
Apêndice U - Análise de variância da massa de cem grãos.....	84
Apêndice V - Análise de variância da produtividade de grãos.....	85
Apêndice W - Análise de variância do índice de colheita.....	85
Apêndice X - Análise de variância da eficiência no uso da água.....	86

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Aspectos gerais e importância da cultura do milho.....	17
2.2	Disponibilidade hídrica e irrigação em milho	19
2.3	Densidades de plantas e épocas de semeadura.....	22
2.4	Milho “safrinha”.....	24
3	METODOLOGIA.....	26
3.1	Localização e distinção da área experimental.....	26
3.1.1	Histórico da área experimental	28
3.2	Obtenção dos dados básicos.....	29
3.2.1	Coleta para caracterização físico-hídrica do solo	29
3.2.2	Coleta para caracterização química do solo.....	29
3.2.3	Dados meteorológicos	30
3.3	Delineamento experimental e tratamentos.....	30
3.4	Instalação e condução do experimento	31
3.5	Manejo da irrigação	32
3.6	Variáveis analisadas	34
3.6.1	Parâmetros de crescimento e desenvolvimento	34
3.6.2	Componentes de Rendimento	35
3.6.3	Eficiência do uso da água	35
3.7	Análise estatística.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1	Precipitação e irrigação.....	37
4.2	Variáveis de crescimento e desenvolvimento	40
4.2.1	Altura de plantas	40
4.2.2	Altura de inserção da primeira espiga	41

4.2.3	Diâmetro de colmo	42
4.2.4	Produção de matéria seca.....	44
4.2.5	Índice de área foliar	46
4.3	Componentes de rendimento	50
4.3.1	Comprimento de espigas.....	50
4.3.2	Diâmetro de espigas.....	53
4.3.3	Número de espigas por planta.....	53
4.3.4	Número de grãos por espiga	55
4.3.5	Massa de cem grãos	57
4.3.6	Produtividade de grãos	59
4.3.7	Índice de colheita	62
4.4	Eficiência do uso da água	63
5	CONCLUSÕES.....	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	APÊNDICES	76

1 INTRODUÇÃO

A agricultura apresenta-se como base para a alimentação mundial, através de seus produtos indispensáveis para a sobrevivência da humanidade. Atualmente, presencia-se em um incessante processo evolutivo, passando por modificações constantes, em especial nas novas tecnologias, equipamentos e técnicas que são agregados constantemente a esta atividade, buscando principalmente maior produtividade do sistema, notadamente na produção de grandes culturas.

Entre as grandes culturas de importância econômica mundial destaca-se a cultura do milho (*Zea mays* L.), que hoje, encontra-se entre as mais cultivadas no mundo, e assim, desempenha importante papel socioeconômico, uma vez que, seu produto pode ser utilizado como matéria prima para vários fins. Seus grãos podem ser utilizados para a alimentação animal e humana e, além disso, para produção de diversos produtos industrializados, como na produção de óleos, espessantes e etanol.

No Brasil devido sua alta capacidade de adaptação, o milho é cultivado na maioria dos estados, com destaque para os das regiões Sul e Sudeste. Este fato, aliado ao aumento da demanda externa e do consumo interno de milho, o tornam o segundo cereal mais cultivado no país. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2015) a área de cultivo de milho no país na safra 2014/2015 foi de 15,83 milhões de hectares.

Para o Estado do Rio Grande do Sul (RS) o cultivo de milho assume cada vez maior importância, pela rotação e diversificação de culturas, pela sustentabilidade das propriedades e ainda pelo Estado ser produtor de carne e leite, onde o milho entra como principal insumo de alimentação, e, com isso sua produção tem importância estratégica nas propriedades. Destaca-se como regiões mais produtoras de milho as encontradas próximas ao norte. As demais áreas, como a região Fronteira Oeste possuem menores áreas destinadas ao seu cultivo.

Na região da Fronteira Oeste, a utilização da cultura serve além da diversificação e rotação de culturas, também para complementação na rentabilidade e o consumo interno das propriedades, pois a pecuária é muito difundida na região. Contudo, a área destinada ao seu cultivo ainda não é muito significativa se relacionarmos ao restante do estado, em torno de 3% da área. Além disso, a produtividade de milho na região, ainda é baixa e/ou sofre flutuações constantes, fazendo com que a eficiência dos recursos e dos investimentos

incorporados para o seu cultivo, sejam reduzidos, comparando com o potencial que a cultura apresenta em condições apropriadas de desenvolvimento.

Um dos motivos para a baixa produtividade do milho na região é a irregularidade da distribuição pluviométrica durante seu cultivo. Esses eventos ocorrem com grande frequência, assim sendo, um dos principais fatores que conduzem a uma área de cultivo expressivamente menor.

Deste modo, existem variações e instabilidade no rendimento, que acarretam em insegurança para os produtores da região. O déficit hídrico provocado pela falta de água causa perturbações fisiológicas, evidenciando em altos níveis de estresses as plantas, o que afeta o desempenho produtivo do milho. Sendo o suplemento hídrico de água um dos fatores indispensável para o seu adequado comportamento produtivo.

A utilização da irrigação suplementar se destaca entre as tecnologias disponíveis para cobrir as anormalidades nas precipitações e favorecer o correto suprimento hídrico às plantas, trazendo a obtenção de garantia e aumento na produtividade sem frustrações nas safras. Cabe salientar, que o uso desta tecnologia está crescendo consideravelmente, principalmente na região Fronteira Oeste do Estado do RS.

Nesse contexto, a técnica de irrigação consiste em aplicar água na quantidade e no momento adequado, buscando o correto suprimento hídrico da cultura, a fim de aumentar a produtividade e fazer um uso eficiente da água, sendo este último um fator que está se tornando cada vez mais importante, devido à escassez desse recurso e ao elevado custo na produção agrícola.

Desta forma, torna-se cada vez mais necessário o uso de metodologias apropriadas ao manejo racional da água. Uma técnica na irrigação para tornar o uso da água mais eficiente é a obtenção da lâmina de irrigação mais apropriada para cada local de cultivo. Em certos casos, nem sempre a aplicação total da água necessária para a cultura é o manejo mais adequado, pois há possibilidade de reduzir a lâmina de água necessária e não causar redução significativa da produtividade, e isso ocorrendo aumenta-se o uso eficiente da água. Além disso, a utilização de lâminas reduzidas também pode fazer parte de uma estratégia econômica na redução dos custos de aplicação de água.

Outro fator importante para o aumento na exploração do potencial produtivo do milho é o manejo da adequação na população de plantas em relação ao manejo de irrigação utilizado. A adequação da densidade de plantas é uma forma de maximizar a interceptação da radiação solar através da determinação de uma densidade ideal, que seja, capaz de otimizar a utilização dos recursos disponíveis no ambiente, como por exemplo, o suprimento hídrico.

Neste contexto, para cada cenário de irrigação utilizado, uma densidade de plantas vai maximizar os recursos. Além disso, outro fato segundo Peake et al. (2006) é que os ensaios das empresas produtoras de sementes de milho, são realizados em sistema de sequeiro ou com reposição de 100% da água, através da irrigação, não especificando informação de populações de plantas a serem utilizadas para irrigações parciais e nem nas diferentes regiões produtoras.

Desta forma, tendo em vista os fatores ambientais da região Fronteira Oeste do RS e o adequado manejo da adubação e os tratos culturais, a comparação da utilização de densidades populacionais de plantas para o cultivo do milho, conduzido através do sistema de irrigação pressurizada sob diferentes lâminas de irrigação, vem a contribuir para o desenvolvimento do setor produtivo da região. Mais notadamente no que tange ao suporte a pesquisadores, técnicos e produtores que pretendem investir ou que já investem nesta tecnologia.

Deste modo, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação e densidades de plantas, sobre os componentes de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho cultivado no período de safrinha na região Fronteira Oeste do Estado do RS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão bibliográfica tem por objetivo referenciar a construção teórica sobre o tema proposto neste trabalho. Desta forma, nesse capítulo apresenta-se uma revisão de literatura sobre a cultura do milho, através de um breve histórico diante da importância da cultura, da influência da deficiência hídrica, da irrigação, da densidade de plantas e da época de semeadura sobre a cultura, a fim de, apresentar a situação das pesquisas realizadas e as principais considerações existentes.

2.1 Aspectos gerais e importância da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família Poaceae, e é considerado originário da América Central (México/Guatemala). Hoje, é cultivado em todas as regiões do mundo, sejam elas temperadas ou tropicais. Suas qualidades adaptativas da cultura foram resultantes do trabalho desenvolvido pelos indígenas americanos. Entretanto, a domesticação do primitivo milho tornou-se extremamente dependente do homem, fazendo com que hoje existam muitos tipos de milho adaptados a várias condições de clima e de cultivo (FORNASIERI FILHO, 1992 apud ALVES, 2013; DOORENBOS e KASSAN, 1994).

O milho é uma planta de ciclo vegetativo variado, pois existem genótipos extremamente precoces, onde a polinização pode ocorrer aos 30 dias após a emergência, até aqueles cujo ciclo pode alcançar 300 dias. Todavia, no Brasil, a cultura do milho apresenta ciclo variável entre 110 e 180 dias, dependendo das características genotípicas (com ciclo superprecoce, precoce, normal e tardio) (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

A cultura apresenta grande importância mundial devido os seus grãos serem utilizados na indústria alimentícia (animal e humana), bem como, na produção de óleos, de elementos espessantes e colantes, e recentemente a Europa e os Estados Unidos tem incentivado sua utilização para a produção de etanol (SILVA et al., 2009). De acordo com Moraes (2009), além da utilização de seus grãos para os fins citados acima, a planta de milho pode ser utilizada praticamente em sua totalidade, como espigas verdes ou como minimilho. Também, pode ser utilizado na incorporação no solo dos restos das plantas, como cobertura do solo para

plantio direto, ou ainda, ser triturado para compor a silagem para a alimentação animal.

Desta forma, o milho apresenta-se como um dos cereais mais produzidos e pesquisados no mundo, originando, ano após ano, novas tecnologias, que trazem consigo o aumento do potencial produtivo da cultura (AFFÉRI et al., 2008).

Desse modo, comparando a produção entre os países produtores, o Brasil apresenta-se como terceiro maior produtor mundial de milho, produzindo aproximadamente 6,5% do total produzido no mundo, sendo superado pelos Estados Unidos, que produz aproximadamente 37% e pela China, que produz 21% do total mundial (ATLAS SOCIOECONOMICO, 2015). Segundo a Conab (2015), a área de cultivo no Brasil, está em torno de 15,087 milhões de hectares, sendo que, obteve uma produção total de 78,206 milhões de toneladas de grãos na safra 2014/2015.

No Brasil, o cultivo dessa planta apresenta grande dispersão geográfica, pois é produzido em grande parte do território nacional. Conforme Souza e Braga (2004), a importância do milho está ligada principalmente a produção animal, pois verifica-se o emprego de 80% de todos os grãos produzidos sendo destinados para a fabricação de ração. De acordo com Caldarelli e Bacchi (2012), devido ao milho ser o principal macro ingrediente para a produção de rações e devido também à competitividade do mercado brasileiro de carnes, a produção do grão tem aumentado gradativamente.

No Estado do Rio Grande do Sul (RS) o cultivo do milho é, em geral, alternado com a cultura da soja, ou entre outras culturas possíveis de se obter o produto através de mais de uma safra anual. Além disso, nesta região destaca-se principalmente o seu cultivo devido este estar fortemente relacionado com a cadeia de produção agroindustrial de aves e suínos. O cultivo ocorre em praticamente todo o Estado e as maiores quantidades produzidas ocorrem em municípios com estrutura fundiária assentada principalmente na pequena e média propriedade (ATLAS SOCIOECONOMICO, 2015).

A área cultivada com milho, no estado do RS, teve uma grande retração. Em 2000, a área ocupada atingiu mais de 1,4 milhões de hectares, com produção de 3,9 milhões de toneladas, resultando em uma produtividade de 2,64 t.ha⁻¹. Já em 2015, a área cultivada foi de 941 mil hectares para uma produção de 5,58 milhões de toneladas, resultando em uma produtividade de 5,94 t.ha⁻¹. Assim, observa-se em comparação entre essas duas safras, uma redução próxima de 32% na área cultivada e aumento de 125% na produtividade (CONAB 2015; INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA O CULTIVO DE MILHO E DE SORGO NO RIO GRANDE DO SUL, SAFRAS - 2013/2014).

Porém, a produtividade média de milho para o RS está abaixo de 6,00 t.ha⁻¹ (CONAB,

2015). Esse valor, quando comparado com a produtividade alcançada em experimentos no Estado que alcançaram até $17,20 \text{ t.ha}^{-1}$ (MUNDSTOCK; SILVA, 2005) é considerado baixo, relacionando-se a várias causas, entre as quais destacam-se as influências climáticas e de manejo.

Para Andrade (1995), apesar do elevado potencial produtivo, o milho apresenta acentuada sensibilidade aos estresses de natureza biótica e abiótica, que aliada a sua pequena plasticidade foliar, reduzida prolificidade e baixa capacidade de compensação efetiva, seu cultivo necessita ser rigorosamente planejado e criteriosamente manejado, objetivando a manifestação de sua capacidade produtiva. De acordo com Echarte et al. (2000 apud BRACHTVOGEL et al., 2008) e Maddonni et al. (2001 apud BRACHTVOGEL et al., 2008) a resposta produtiva do milho varia de acordo com a densidade de plantas e a disponibilidade hídrica a que estão submetidos, levando em consideração o correto suprimento nutricional e tratamentos culturais.

2.2 Disponibilidade hídrica e irrigação em milho

A disponibilidade hídrica é um fator determinante na obtenção de elevadas produtividades da cultura do milho, vários autores destacam que, as oscilações nas safras de milho, das principais regiões produtoras do Brasil, estão associadas à disponibilidade de água (BERGONCI et al., 2001; BERGAMASCHI et al., 2004).

O milho é uma cultura que, sob déficits hídricos obtém respostas diferentes de produtividade, podendo ser maior ou menor, de acordo com a época e intensidade do déficit (CUNHA; BERGAMASCHI, 1992).

Segundo Costa et al. (2008), a cultura do milho é afetada de diferentes formas, pela deficiência hídrica, com alterações no crescimento das plantas e expansão da área foliar durante os estádios vegetativos e da produção de matéria seca da parte aérea, quando ocorre disponibilidade hídrica insuficiente nos estádios reprodutivos do ciclo da cultura.

A deficiência hídrica no milho causa vários efeitos negativos sobre a planta, e afeta diretamente seu rendimento, porém depende do seu estágio de desenvolvimento, do nível da deficiência e da sua duração (KUNZ et al., 2007). Destaca-se ainda, que o principal efeito a se manifestar em caso de déficit hídrico, é a redução da expansão celular, pois nessas condições o limiar de turgescência para que haja expansão pode não ser atingido, causando o

enrolamento das folhas. A resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico consiste no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas (McCREE; FERNÁNDEZ, 1989; TAIZ; ZEIGER, 1991, apud SANTOS; CARLESSO, 1998). Com a redução da área foliar há a diminuição da absorção da radiação solar fotossinteticamente ativa e também da fotossíntese da planta, o que reduz a produção de grãos (EARL; DAVIS, 2003).

De acordo com Bergamaschi et al. (2004), o número de grãos por espiga e o número de espigas por planta são os componentes da produção de grãos mais afetados pelo déficit hídrico, quando ocorrem desde o pendoamento até o início do enchimento dos grãos. Estes autores obtiveram uma redução de 57% e 40% para o número de grãos por espiga e número de espiga por planta respectivamente, com tratamentos de 100, 41, 20 e 0% do volume máximo necessário para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo.

A quantidade de água que o milho utiliza durante o ciclo é chamada demanda sazonal, podendo variar com as condições climáticas da região onde é cultivado. Além disso, há um período durante o ciclo da cultura em que mais água é consumida diariamente. No caso do milho, esse período coincide com o florescimento e o enchimento de grãos. A quantidade de água usada pela cultura, por unidade de tempo, nesse período é chamada demanda de pico (ANDRADE, 2006).

Fancelli e Dourado Neto (2000) ressaltam que o potencial produtivo do milho é definido por ocasião da emissão da 4^o folha, podendo se estender até a 6^o, dependendo do tipo de material, sendo que neste estágio a planta não pode ser submetida a nenhum tipo de estresse, principalmente aquelas relacionadas ao suprimento de água e disponibilidade de nutrientes.

Já Magalhães et al. (1995) considera que o efeito da falta de água, associado à produção de grãos, é particularmente importante em três estádios de desenvolvimento da planta de milho: a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado; b) período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado; nesta fase, a presença da água também é importante para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico; c) enchimento de grãos, quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, o qual está intimamente relacionado à fotossíntese, desde que o “stress” vai resultar na menor produção de hidratos de carbono, o que implicaria menor volume de matéria seca nos grãos .

O milho é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida por uma planta de milho durante o seu ciclo, está

em torno de 600 mm. Porém, dois dias de “stress” hídrico no florescimento pode diminuir o rendimento em mais de 20%, já de quatro a oito dias a diminuição pode chegar em mais de 50% (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; MAGALHÃES; DURÃES, 2006). O déficit hídrico provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (MEDICI et al., 2007).

Para Matzenauer et al. (2002) nos meses de verão, devido à maior demanda evaporativa da atmosfera, as chuvas não são suficientes para suprir as necessidades das culturas, além da variabilidade espacial que ocorre neste período.

A quantidade de água que a planta consome, perante seu ciclo, é estimada entre 500 e 600 mm, e o consumo diário varia dependendo da temperatura e estágio de desenvolvimento da planta (CRUZ et al., 2010) e portanto, do local e da época de cultivo. Souza et al. (2012) estudando a cultivar Eldorado em clima tropical, verificou que o ciclo da cultura no sistema de mono cultivo foi de 115 dias, com consumo total de água de 394,10 mm e média de 3,46 mm.dia⁻¹. Já Almeida (2012) trabalhando com o milho híbrido variedade AG1051 na região de Mossoró, Rio grande do Norte, verificou um consumo médio por fase de desenvolvimento de 0,8; 3,1; 5,9 e 6,2 mm.dia⁻¹, cultivados no período de maio a agosto. Com a mesma variedade e na mesma localidade, cultivando no período de novembro a fevereiro obteve valor total de consumo de água de 269,39 mm.

Segundo Doorenbos e Kassan (1994), o milho de ciclo médio requer 500 a 800 mm de água, dependendo do clima, para uma boa produção. Shaw (1977 apud PEGORARE et al., 2009), analisando os resultados obtidos por diferentes autores, verificou que o consumo de água do milho variou de 410 a 610 mm. Já Fancelli (1991), relata uma exigência mínima de 300 a 350 mm de água para uma produção satisfatória sem uso de irrigação, porém, essa quantidade deve ser bem distribuída durante o ciclo da cultura.

Deste modo, para satisfazer adequadamente o consumo hídrico do milho, Minuzzi et al., (2012) enfatiza que a irrigação fornece um importante grau de estabilidade para a produção de alimentos, visto que, os efeitos das estiagens são suprimidos desde que o planejamento de irrigação seja bem elaborado. A irrigação é uma prática agrícola de fornecimento de água às culturas, onde e quando as chuvas, ou qualquer outra forma natural de fornecimento, não são suficientes para suprir as necessidades hídricas das plantas (GOMES, 1997).

Nesse contexto, Paz et al. (2000) salientam que, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos. Com a utilização da irrigação se torna

possível realizar mais de uma safra anual, permitindo o aproveitamento intensivo do solo, minimizando as incertezas do clima e elevando substancialmente a produtividade agrícola (SANTANA, 2003).

De acordo com Andrade (2006), além do efeito direto da disponibilidade de água para as plantas, a irrigação proporciona o uso mais eficiente de fertilizantes, possibilitando o aumento da densidade de plantio e a possibilidade de uso de variedades que respondem melhor à irrigação, assim propicia o aumento na produtividade da cultura.

Desta maneira, a irrigação predomina como uma das tecnologias mais eficazes contra o déficit hídrico e, portanto para o aumento da produtividade e maximização da produção agrícola, desde que bem manejada. Assim, Alves Júnior (2006) destaca que o manejo da irrigação envolve a tomada de decisão sobre quando irrigar e quanto de água aplicar. Se não houver uma correta definição entre essas duas variáveis, o irrigante estará fazendo um uso ineficiente da água, seja pela aplicação em demasia ou abaixo das necessidades da cultura (COSTA, 2004).

O aumento da produtividade com a utilização da irrigação é relatada por vários autores. Cruz et al. (2010) afirmam que com a irrigação, pode-se aumentar a produtividade do milho para $9,00 \text{ t.ha}^{-1}$, aproximadamente. Já Parizi (2010), constatou que o uso da irrigação suplementar na cultura do milho aumentou a produção de grãos em 95,4%, para a lâmina de 100% da evapotranspiração (Etc), onde obtiveram $12,84 \text{ t.ha}^{-1}$, seguido de 84,8%, 77,1% 52,2% e 20,4% de produtividade a mais, para as lâminas de 80%, 60%, 40% e 20% da Etc respectivamente, quando comparado com o tratamento sem irrigação suplementar. Pegorare et al. (2009) encontrou com a lâmina suplementar de 608 mm (100% da Etc) uma produtividade de $6,97 \text{ t.ha}^{-1}$, já para o tratamento sem irrigação $2,75 \text{ t.ha}^{-1}$.

Assim sendo, de acordo com Loomis e Connors, (1992), a disponibilidade de água é, provavelmente, o principal fator que se deve levar em consideração para a escolha da densidade ótima de plantas, pois quando há alta probabilidade de falta de umidade deve-se diminuir a densidade para que o solo possa suprir as plantas com suas reservas hídricas (MUNDSTOCK, 1977).

2.3 Densidades de plantas e épocas de semeadura

A densidade de plantas de milho é uma ferramenta de gestão eficiente para maximizar

o rendimento de grãos, aumentando a captação da radiação solar dentro do dossel (MONNEVEUX et al., 2005). Existe uma população de plantas ideal para máxima eficiência econômica para todas as espécies de cultivo e varia com a cultivar e o meio ambiente (BRUNS; ABBAS, 2005). Afféri et al. (2008), destacam também que a densidade ideal para a semeadura do milho são fatores de grande importância para a produtividade de grãos, sendo que, para cada ambiente, há uma combinação entre cultivar, espaçamento e densidade de plantas, que resulta em maior produtividade.

Assim, a densidade populacional de plantas necessária para alcançar um rendimento máximo de grãos em milho, varia de acordo com a quantidade e a frequência de eventos de chuva ou de irrigação, embora a recomendação das empresas seja para manejos de sequeiro e totalmente irrigados, nenhuma dessas recomendações estão disponíveis para situações parcialmente irrigadas (PEAKE, 2006).

Segundo Sangakkara et al. (2004), a população de plantas afeta a maioria dos parâmetros de crescimento do milho, mesmo sob condições de crescimento ideais e, portanto, ele é considerado um fator determinante para o grau de competição entre as plantas. A densidade afeta a arquitetura das plantas, altera o crescimento e padrões de desenvolvimento, além de influenciar na produção de carboidratos (ABUJAR, 2011).

O aumento da população de plantas ocasionou maior eficiência do uso da água para a produção de grãos de até 17% em relação às populações menores (BARBIERI et al., 2012). Já Leal (1993) avaliou o crescimento do híbrido BR-201 para as seguintes condições: plantio realizado no mês de agosto, para três densidades de plantio, 80.000, 60.000 e 40.000 plantas.ha⁻¹. O autor encontrou a altura máxima de planta de 2,24 m, 2,20 m e 2,07 m e uma massa de matéria seca de 22,70; 20,30 e 15,70 t.ha⁻¹, obtendo uma produtividade de 7,75; 7,57 e 6,70 t.ha⁻¹, respectivamente.

Já Sangoi et al. (2007) encontrou maior produtividade de grãos para o híbrido Speed de ciclo precoce com uma densidade de 125 mil plantas.ha⁻¹, em torno de 9,50 t.ha⁻¹.

Porém, Sangoi et al. (2000) salienta que, a população ideal para maximizar o rendimento de grãos, depende principalmente da disponibilidade hídrica, da fertilidade do solo, ciclo da cultivar e da época de semeadura. Sendo que diante disso pode variar de 30.000 a 90.000 plantas.ha⁻¹.

Neste aspecto, tendo em vista a fertilidade do solo como fator não limitante, a época de cultivo passa a ser categórica para o cultivo de milho. Segundo Piana et al. (2008), a época de semeadura é um dos principais determinantes da produtividade das culturas, porém, a sua escolha é influenciada também, pelos fatores ambientais. A exemplo, Nascimento et al.

(2011) testando épocas de semeaduras e híbridos constataram que, em semeaduras realizadas nos meses de dezembro e fevereiro (caracterizados como período de segunda safra ou safrinha), a produtividade do milho é afetada negativamente, principalmente em híbridos tardios.

Pode-se ressaltar que a época de semeadura mais adequada para a cultura do milho no Sul do Brasil, está compreendida entre meados de setembro e o final de outubro (SANGOI et al., 2007). Esta época é onde coincide o florescimento e o início do enchimento de grãos em dezembro e janeiro, meses em que os dias são mais longos e há maior ocorrência de radiação solar, fato crucial para o milho (FORSTHOFER et al., 2004). Entretanto, a alteração na época de semeadura pode servir como estratégia de escape da deficiência hídrica quando não se dispõe de irrigação suplementar. Por outro lado, em lavouras irrigadas também podem ser empregadas para aperfeiçoar a eficiência de uso do solo (FORSTHOFER et al., 2006).

Assim, a época de semeadura influi na escolha da densidade de plantas em milho, pois, a variação da época de semeadura afetam a disponibilidade de temperatura e radiação solar, alterando assim, a expansão foliar e a estatura da cultura. Desta forma, deve-se aumentar-se ou diminuir-se o número de plantas, para otimizar a eficiência de uso da radiação solar e o efeito da temperatura (ALMEIDA et al., 2000; SANGOI et al., 2001).

2.4 Milho “safrinha”

O cultivo de milho safrinha normalmente é realizado em sucessão ao milho para silagem, ao cultivo de tabaco, feijão preto, batata, ou ainda, após a colheita de culturas forrageiras, como é o caso do nabo forrageiro e da ervilhaca. Segundo Basso et al. (2013), o milho safrinha no RS também é utilizado para a produção de palhada, servindo como forma de sustentabilidade do sistema, sendo que na maioria das propriedades a sequência aveia preta, milho silagem e milho safrinha é muito utilizada.

Todavia, nessa época o potencial de rendimento de grãos é mais baixo devido à menor quantidade de radiação solar durante o período de enchimento de grãos e à maior incidência de doenças foliares e de colmo (FORSTHOFER et al., 2006). Além disso, a baixa soma térmica evidenciada no enchimento de grãos também é um fator a ser considerado.

Segundo Nascimento et al. (2011), em semeaduras tardias a produtividade do milho é menor devido ao menor comprimento de espigas, o que nos indica menor número de grãos

por espigas, já que em seu trabalho o diâmetro foi inalterado com a época de semeadura, além disso, outro fator que o autor observou foi o menor peso de grãos nas semeaduras tardias.

Deste modo, a adequação da densidade de plantas seria crucial para compensar menores produtividades adquiridas em semeaduras tardias (NASCIMENTO et al., 2011). Assim, com espigas menores e por seguinte menor número de grãos, o aumento da densidade de plantas para semeadura tardias é um dos fatores a serem considerados, pois com espigas menores aumentando a densidade de plantas compensaria o menor número de grãos produzidos nesta época de semeadura. Desta forma, há uma densidade “ótima” de plantas para este panorama, onde o aumento acima desta pode ocasionar diminuição da produtividade, desta forma, o ajuste de plantas para cada situação, como época de semeadura e disponibilidade hídrica é importante para a produção de milho.

Silva et al. (2010) estudando híbridos irrigados, épocas de semeaduras e densidade de plantas encontraram na densidade de 90 mil plantas.ha⁻¹ maior número de espigas por metro quadrado, com um aumento linear ao incremento da densidade de 45 mil para 90 mil plantas.ha⁻¹, na média dos dois híbridos na época de semeadura tardia (na primeira quinzena de dezembro). Na mesma densidade de plantas, o autor encontrou a maior produtividade de grãos, independente do híbrido testado.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo está exposto o material, os métodos e as técnicas utilizadas neste trabalho, bem como, informações sobre a localização, características da área experimental, implantação, condução do experimento, manejo das irrigações, além disso, os referenciais utilizados para realização das atividades experimentais, coleta, análise e interpretação de dados.

3.1 Localização e distinção da área experimental

O experimento foi realizado na área experimental do Setor de Irrigação e Drenagem do Instituto Federal Farroupilha - Campus Alegrete, situado no município de Alegrete, RS, Brasil, coordenadas (29° 42' 52,85" latitudes Sul, e 55° 31' 29,69" longitude Oeste). Altitude de 121 m.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico arênico, com granulometria 62,6%, 12,1% e 25,2% de areia, silte e argila, respectivamente. Essa classe de solo tem características de serem profundos e com presença de um gradiente textural no perfil, onde o horizonte B é mais argiloso que o horizonte A (STRECK et al., 2008). As características físico-hídricas do solo da área experimental estão representadas na tabela 1 e 2. Os procedimentos para a realização destas coletas e a metodologia realizada em laboratório estão descritos nos itens 3.2.1.

Tabela 1 – Densidade do solo e de partícula observada na área experimental

Profundidade (cm)	Densidade (g.cm ³)	
	Solo	Partícula
0-5	1,77	2,60
5-15	1,69	2,58
15-30	1,67	2,62
30-45	1,64	2,58
45-60	1,66	2,60
60-75	1,66	2,65

Tabela 2 - Características físicas do solo da área experimental, valores médios de três repetições.

Profundidade (cm)	Umidade Volumétrica (cm ³ .cm ⁻³)							
	SATURAÇÃO	1 (-kpa)	6 (-kpa)	10 (-kpa)	33 (-kpa)	100 (-kpa)	500 (-kpa)	1500 (-kpa)
0-5	0,367	0,348	0,267	0,240	0,182	0,164	0,120	0,075
5-15	0,371	0,356	0,265	0,242	0,201	0,182	0,135	0,076
15-30	0,362	0,380	0,274	0,252	0,213	0,189	0,163	0,116
30-45	0,390	0,362	0,299	0,277	0,248	0,226	0,144	0,107
45-60	0,394	0,372	0,325	0,308	0,283	0,261	0,174	0,113
60-75	0,383	0,361	0,320	0,308	0,285	0,261	0,138	0,111

As características químicas do solo da área experimental estão representadas na tabela 3. Os procedimentos de coleta de solo para caracterização química esta descritos no item 3.2.2.

Tabela 3 – Características químicas do solo Latossolo Vermelho distrófico arênico, unidade de mapeamento São Pedro – Valores médios para três repetições.

Prof. (cm)	pH	M.O. %	Teor Trocável em g/100 g de Solo							SMP	Saturação		Argila %
			H ₂ O (1:1)	CTC	K molc. dm ⁻³	Ca cmolc .dm ⁻³	Mg cmolc .dm ⁻³	Al	P mg.d m ⁻³		H + Al	Al %	
0-10	5,50	2,31	6,20	0,30	2,61	1,10	0	38,42	2	6,6	0	64,7	18
0-10	5,60	2,21	5,30	0,23	2,43	0,90	0	28,04	2	6,8	0	67,2	15
0-10	5,85	2,21	5,36	0,23	2,79	0,89	0	27,28	1	7,0	0	72,7	16

O clima da região é classificado como Cfa subtropical úmido, sem estação seca e com temperaturas variando de 14,3°C no inverno a 26,3°C no verão, com média de precipitações anuais de 1400 mm. Desses, 24% no verão, 25% no outono, 25% no inverno e 26% na primavera (MORENO, 1961). Entretanto, nos meses de verão, devido à maior demanda evaporativa da atmosfera, comumente as precipitações não são suficientes para suprir as necessidades das culturas. Além da variabilidade anual da distribuição da precipitação e ao longo de um ano agrícola, nos meses de verão, essas apresentam maior variabilidade espacial e, frequentemente, têm alta intensidade (NIED et al., 2005).

Durante a condução do experimento, a temperatura média do ar observada foi de 22,83 °C, com média das máximas de 28,16 °C e média das mínimas de 17,15 °C. A umidade relativa do ar apresentou média máxima de 91% e mínima de 56%. A temperatura máxima e mínima acumulada a cada cinco dias, bem como, a umidade máxima e mínima observada durante o período de cultivo do milho estão representados na figura 1.

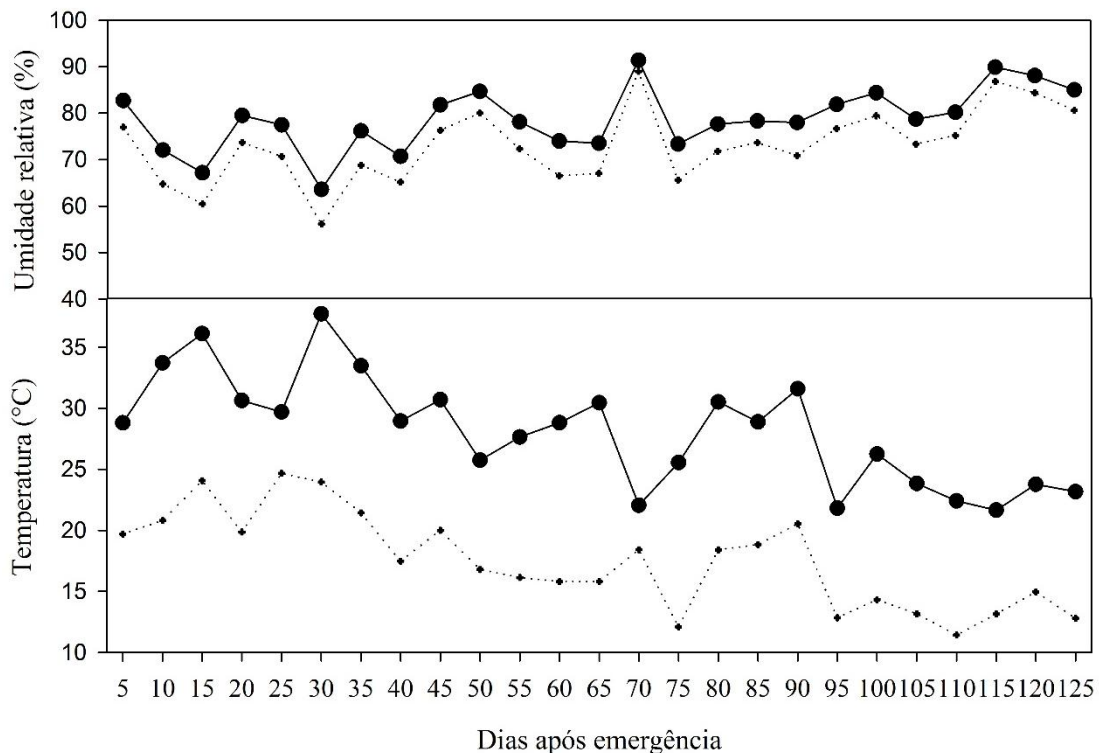


Figura 1 – Temperatura quinquidial média máxima e mínima observado durante o ciclo do milho safrinha.

3.1.1 Histórico da área experimental

O campo experimental possui aproximadamente 3,4 hectares, dos quais aproximadamente 0,26 hectares foram utilizados para a realização desta pesquisa. A área é utilizada para realização de experimentos desde o ano de 2011. Na área experimental foram realizados experimentos com várias culturas agrícolas, na safra 2011/2012, por exemplo, foi conduzido uma pesquisa com a cultura da soja. Já na safra de verão de 2012/2013, anterior a implantação deste experimento, havia no local um ensaio com milho safrinha e logo após sua

conclusão foi semeado nabo forrageiro, para fins de cobertura de solo e rotação de culturas, no período de inverno/primavera.

3.2 Obtenção dos dados básicos

3.2.1 Coleta para caracterização físico-hídrica do solo

Para realização desta atividade foram coletadas amostras de solo indeformadas e deformada, sendo que as profundidades utilizadas foram de 0 - 5; 5 - 15; 15 - 30; 30 - 45; 45 - 60; 60 - 75 cm. A coleta realizada no ponto médio referente a cada profundidade, e com três repetições.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Física dos Solos da Universidade Federal de Santa Maria, onde foram determinados os parâmetros: classificação textural, densidade de solo e de partícula, curva característica de água no solo e condutividade hidráulica. As metodologias utilizadas para todas as amostras foram propostas por Embrapa (1997), com exceção da densidade de partículas que foi determinada pelo método do balão volumétrico proposto por Gubiani et al. (2006).

A infiltração de água no solo foi determinada conforme o método descrito por Cauduro e Dorfman (1986) utilizando os anéis concêntricos. Após a obtenção desses dados foi dimensionado o sistema de irrigação.

3.2.2 Coleta para caracterização química do solo

Para a caracterização química do solo foram retiradas amostras em três pontos da área experimental, da camada de 0 – 10 cm, conforme Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004), para adubação em um sistema de plantio direto consolidado. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises Químicas dos Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para posterior interpretação e recomendação de fertilizantes.

3.2.3 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados durante o desenvolvimento do trabalho foram coletados em uma estação meteorológica automática e com a utilização de um Tanque Classe A, distantes da área experimental aproximadamente 500 m.

Com a utilização da estação meteorológica automática foram coletados diariamente, dados de precipitação pluvial (mm), umidade relativa do ar (%), Temperaturas máxima e mínima do ar (°C), Radiação solar e velocidade do vento (m.s^{-1}). A estação faz parte da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Com a utilização do tanque Classe A, obteve-se os dados de evaporação de água, expressos em milímetros e coletados diariamente, às 10h e às 15h.

A precipitação efetiva também foi coletada, onde para sua obtenção utilizou-se um lisímetro de drenagem. Desta forma, quando havia ocorrência de chuva observava-se o escoamento superficial ocorrido no lisímetro, e posteriormente subtraía-se da precipitação pluvial coletada na estação meteorológica. Assim, utilizou-se a precipitação efetiva para o cálculo da irrigação e quando o acúmulo da mesma, no turno de cinco dias, fosse maior que a Etc, não aplicava-se irrigação.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi um bifatorial, constituído de um delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo utilizadas cinco diferentes lâminas de irrigação suplementar (0% - T0, 50% - T1, 75% - T2, 100% - T3 e 125 % - T4 da evapotranspiração da cultura) e quatro densidades de plantas (40 mil plantas. ha^{-1} , 70 mil plantas. ha^{-1} , 100 mil plantas. ha^{-1} e 130 mil plantas. ha^{-1}). Totalizando vinte tratamentos com três repetições.

A área experimental demarcada para o experimento continha uma extensão de 1.728 m^2 , medindo 72 x 24 m, dividida em 60 parcelas com dimensão de 6 x 2,25 m, com 6 linhas de semeadura espaçadas de 0,45 m. Totalizando uma área útil de 13,5 m^2 .

3.4 Instalação e condução do experimento

Para o preparo da área da pesquisa, quarenta e cinco dias antes da semeadura do milho foi realizada uma dessecação total das plantas de cobertura e plantas daninhas existentes na área. Para essa atividade utilizou-se os herbicidas glifosato ($1800 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ do ingrediente ativo – i.a.) e 2,4-D ($670 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ do i.a.), sendo que foram diluídos em água e aplicados com uma máquina manual costal, com capacidade de 20 litros de calda.

Após a dessecação da área experimental, foi montado o sistema de irrigação e realizado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o qual demonstra a uniformidade e capacidade de aplicação de água do sistema de irrigação. Através dessa atividade foi estabelecida a diferenciação das lâminas de irrigação pretendidas.

A semeadura do milho safrinha foi realizada dia 06 de janeiro de 2014 com aproximadamente 7,0 sementes por metro linear (equivalente a $150 \text{ mil plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$). A emergência das plantas ocorreu em 12 de janeiro de 2014. Para a realização da semeadura utilizou-se uma semeadora mecânica composta de quatro linhas de semeadura, com espaçamento entre linhas de 0,45 m. O híbrido de milho utilizado no experimento foi o Dekalb 250 VT PRO 2, de ciclo precoce. A tecnologia VT PRO 2 confere resistência ao herbicida glifosato e também para o controle de pragas como a broca-da-colmo (*Diatraea saccharalis*), lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e da lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*). As sementes utilizadas foram previamente tratadas com o inseticida tiametoxan (Cruiser), e com o fungicida fludioxonil + metalaxil (Maxim XL) para controle de pragas e doenças na fase inicial do ciclo da cultura.

Após a semeadura estabeleceu-se as diferentes densidades populacionais de plantas propostas, sendo esta realizada através de raleio manual, aos quinze dias após emergência (DAE). Para o auxílio dessa atividade utilizou-se uma régua graduada colocada ao lado da linha de cultivo, a fim de deixar as plantas equidistante.

Para a adubação de base aplicou-se junto à semeadura $450 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N-P-K na formulação 05-20-20. Para a adubação de cobertura utilizou-se $400 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de uréia (45% de N) dividido em duas aplicações de $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, aos 15 e aos 34 DAE, estágio V3 e V8, Rithie (1993) respectivamente. A adubação foi aplicada conforme interpretação do laudo de fertilidade do solo, de acordo com Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004), para uma expectativa de produtividade de $14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Os tratos culturais foram realizados de forma homogênea para todos os tratamentos,

com o objetivo de manter o experimento sem a interferência de plantas daninhas, pragas e doenças. Quando necessária a utilização de defensivos agrícolas, os mesmos foram aplicados com um pulverizador costal manual. Durante a condução do experimento foram necessárias duas aplicações de herbicida e três aplicações de inseticidas.

As aplicações de herbicidas foram realizadas aos 11 e aos 40 DAE, para o controle de ervas daninhas incidentes durante a condução do experimento. Para isso, utilizou-se um herbicida a base de glifosato (1800 g.ha^{-1} do i.a.), com volume de calda de 200 l.ha^{-1} .

No período de emergência foi aplicado um inseticida para o controle inicial de Lagarta Rosca (*Agrotis ipsilon*), com os produtos Match (Lufenuron 50 g.l^{-1}) e Curyon (Profenofós $500 \text{ g.l}^{-1} + \text{Lufenuron } 50 \text{ g.l}^{-1}$), nas dosagens de 250 ml.ha^{-1} e 300 ml.ha^{-1} respectivamente, e com volume de calda de 150 l.ha^{-1} .

A segunda e a terceira aplicação de inseticida foram realizadas aos 58 e 85 DAE, para o controle de Percevejo Verde (*Nezara viridula*) e Percevejo Marron (*Euschistus heros*), com os produtos Match (Lufenuron 50 g.l^{-1}) e Curyon (Profenofós $500 \text{ g.l}^{-1} + \text{Lufenuron } 50 \text{ g.l}^{-1}$), nas dosagens de 250 ml.ha^{-1} e 300 ml.ha^{-1} respectivamente, e com volume de calda de 150 l.ha^{-1} .

A maturidade fisiológica das plantas foi constatada aos 127 DAE. Assim, a colheita foi realizada após a ocorrência da maturidade fisiológica do milho, realizada aos 135 DAE, onde todas as plantas já estavam com o processo de senescência natural das folhas finalizado e umidade dos grãos abaixo de 18%.

3.5 Manejo da irrigação

A irrigação foi exercida com um sistema do tipo aspersão convencional com espaçamento de $12 \times 12 \text{ m}$. Constituído por uma linha principal medindo 48 m e cinco linhas laterais fixas medindo 24 m , interligadas com engate rápido. Os aspersores foram conectados a essas linhas com espaçamento de 12 m e altura de $2,2 \text{ m}$ em relação ao solo.

Os aspersores utilizados foram da marca NAAN, modelo 5022, giro completo, os quais tinham diferentes bocais para cada linha lateral, sendo: $4,0 \text{ mm} \times 2,5 \text{ mm}$; $3,2 \text{ mm} \times 2,5 \text{ mm}$ e $2,1 \text{ mm} \times 2,5 \text{ mm}$. Assim, com os diferentes diâmetros de bocais obteve-se a diferenciação das lâminas de irrigação testadas.

As irrigações foram executadas em um turno de rega fixo de cinco dias. O

monitoramento da irrigação foi realizado através das leituras de evaporação do Tanque Classe A (EV). Para a obtenção da quantidade de água a ser aplicada utilizou-se a expressão:

$$ETc = Kp.EV.Kc \quad [1.0]$$

Onde Etc é a evapotranspiração da cultura (mm); Kp é coeficiente do tanque; EV é a evaporação do Tanque Classe A e Kc é coeficiente de cultura. Para a obtenção do Kp foi observado a metodologia de Büchele e Silva (1992) e para o cálculo do Kc a metodologia de Doorenbos e Kassan (1979), tabela 4 e 5 respectivamente.

Tabela 4 - Coeficiente (Kp) para o cálculo da evapotranspiração de referência a partir de observações do tanque Classe A.

Vento (U2 km/dia)	Umidade (U%)		
	U<40	40≤U≤70	U>70
U2<175	0,70	0,80	0,85
175≤U2<425	0,65	0,75	0,80
425≤U2<700	0,60	0,65	0,70
U≥700	0,50	0,60	0,65

Fonte: adaptado de Doorenbos e Pruitt (1977).

Tabela 5 - Coeficientes de cultura (Kc) para uso na evapotranspiração de referência.

Kc					
(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	Período total de crescimento
0,30 – 0,50	0,80 – 0,85	1,05 – 1,20	0,80 – 0,95	0,55 – 0,60	0,75 – 0,90

Primeiro número: UR > 70% e velocidade do vento < 5 m.s⁻¹; Segundo número: UR < 20% e velocidade do vento > 5 m.s⁻¹; Caracterização dos estádios: Estádio I – emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo (DV); Estádio II – 10% do DV até 80% do DV; Estádio III – 80% do DV até 100% do DV (inclusive frutos formados); Estádio IV – maturação; Estádio V – colheita

Para a obtenção do K_p , segundo Büchelee Silva (1992), são necessários dados meteorológicos de velocidade do vento e de umidade relativa do ar. Assim, para isso, utilizou-se os dados coletados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, conforme citado anteriormente.

O tempo de funcionamento do sistema de irrigação foi calculado conforme a taxa de aplicação de água do sistema, obtidos através do coeficiente de uniformidade de Christiansen – CUC, realizado anteriormente a instalação do experimento.

3.6 Variáveis analisadas

3.6.1 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento

Essas determinações foram realizadas utilizando cinco plantas por unidade experimental e avaliadas as seguintes características:

Altura de planta: Tomada do ponto de inserção do pendão até o solo utilizando uma trena graduada, medida aos 14, 28, 41, 55, 70, 84, 96, 112 e 127 DAE.

Diâmetro do colmo: Medido com paquímetro digital a 10 cm do solo na colheita;

Altura da inserção da primeira espiga (AIE): Tomada do ponto de inserção da primeira espiga até o solo, medindo-se em metros, após a maturidade fisiológica dos grãos;

Massa seca total da parte aérea (MS): As plantas foram cortadas rente ao solo, por ocasião da colheita (R6) e extrapolado para $t \cdot ha^{-1}$. Estas eram colocadas em sacos de papel, identificadas e transferidas para estufa a 65 °C até obtenção de massa constante. Para esta coleta utilizou-se dez plantas por parcela no momento da colheita;

Índice de área foliar (IAF): Nas linhas centrais de cultivo de cada unidade experimental foram identificadas e marcadas três plantas com semelhante estatura e número de folhas expandidas. Para a medição da área foliar utilizou-se o equipamento LI-corr modelo LI-3000C (Portable area meter), medidor da área foliar portátil, baseado no método eletrônico de aproximação para medir a área foliar das plantas intactas. O índice de área foliar (IAF) foi calculado a partir da média da área foliar das três plantas marcadas em cada parcela, e da área superficial de solo ocupada por estas plantas. As determinações da área foliar foram realizadas aos 14, 28, 41, 55, 70, 84, 96, 112 e 127 DAE.

3.6.2 Componentes de Rendimento

Para a coleta dos componentes de rendimento foram coletadas dez plantas por unidade experimental (UE) e colocadas em estufa para secagem. Após a secagem, as plantas foram pesadas para a contabilização da MS e avaliadas os seguintes componentes de rendimento:

Comprimento (CE) e diâmetro da espiga (DE): Foram utilizados uma régua e um paquímetro digital respectivamente e avaliadas todas as espigas das plantas coletadas na UE;

Número de espigas por planta (NEP): Calculada pela razão entre o número de espigas e o número de plantas coletadas;

Número de grãos por espiga (NGE): Obtido através da multiplicação entre o número médio de fileiras e o número médio de grãos por fileira, contadas nas espigas das plantas coletadas;

Massa de cem grãos (MCG): Adquiridas após debulha manual das espigas, sendo que, após a pesagem a umidade foi medida e a MCG corrigida para 13%, sendo esta utilizada para o cálculo da produtividade.

Produtividade de grãos (Pgrãos): A produtividade de grãos foi obtida através da utilização dos componentes de rendimento coletados e avaliados das dez plantas e aplicado na seguinte equação:

$$P_{\text{grãos}} (t.ha^{-1}) = \frac{\text{densidade de plantas} \cdot m^{-2} \times NEP \times NGE \times MCG (g)}{10000} \quad \text{Eq.2}$$

Índice de colheita (IC): Obtido pela fração da produtividade de grãos em relação à matéria seca total da parte aérea coletada.

3.6.3 Eficiência do uso da água

Após a realização do experimento, através da produtividade de grãos e a quantidade total de água aplicada foi possível contabilizar a eficiência no uso da água. Sendo esta, a

fração da massa seca total na colheita em relação à quantidade de água aplicada em cada tratamento de irrigação.

3.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente por meio da análise da variância – ANOVA. Os efeitos individuais dos tratamentos e as interações entre os fatores (lâmina de irrigação e densidade de plantas) submetido a análise de regressão e por ocorrência de interação criou-se gráficos de superfície de resposta, considerando todos os testes estatísticos ao nível de 5% de probabilidade de erro. Para a análise estatística utilizou-se o software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 1998) e para a elaboração das imagens gráficas foi utilizado o software SIGMAPLOT 11.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados avaliados e observados nesta pesquisa, bem como, os resultados encontrados estão discutidos e representados neste capítulo. Inicialmente, serão demonstrados os dados de precipitação e irrigação, após, os resultados referentes a influência das lâminas de irrigação aplicadas e as densidades de plantas impostas, sobre o crescimento, desenvolvimento, componentes de rendimento e a eficiência do uso da água da cultura do milho. Salienta-se que, os quadros da análise de variância, assim como, as análises complementares estão apresentadas nos apêndices indicados no texto.

4.1 Precipitação e irrigação

Durante o período de cultivo do milho, a precipitação pluvial acumulada coletada na estação meteorológica foi de 757 mm. Já a precipitação efetiva, que é a parte da chuva que realmente é absorvida no solo e assim disponível as plantas foi de 618 mm. Na figura 2 pode-se observar a precipitação efetiva e a perda por escoamento superficial.

De acordo com Fancelli (2001) a precipitação efetiva ocorrida seria suficiente para suprir adequadamente as necessidades hídricas da cultura, pois sua exigência hídrica é variável entre 400 e 600 mm durante seu ciclo. Entretanto, a distribuição das chuvas ocorreu de maneira irregular, ou seja, com variações espaço temporal o que ocasionou períodos de escassez hídrica, fato comum na distribuição e na escassez das chuvas para o estado do Rio Grande do Sul, como destacam Matzenauer (1995) e Berlato (1992). Estes autores ressaltam que em regiões de clima subtropical como o Rio Grande do Sul, há alta variabilidade do regime de chuvas, o que acaba afetando a produtividade das culturas. Deste modo, a necessidade de complementação hídrica através da irrigação suplementar fica evidente para cobrir os períodos de déficit.

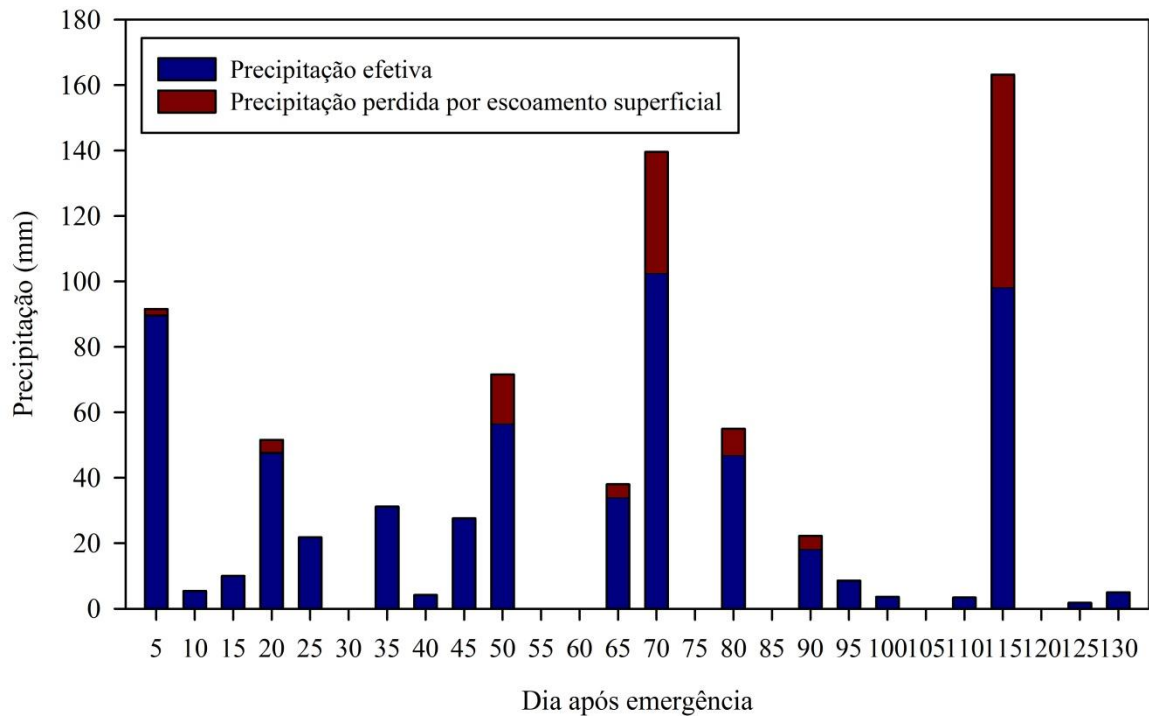


Figura 2 – Precipitação total efetiva acumulada a cada cinco dias, observadas durante o período de cultivo do milho.

Na tabela 6 observa-se as lâminas de irrigação aplicadas e a precipitação pluvial em cada tratamento. Durante a condução do experimento foram necessárias dez irrigações suplementares. No período vegetativo, compreendido neste trabalho entre a emergência até aos 54 DAE, foram realizadas duas irrigações, já após o início do período reprodutivo (com início constatado aos 55 DAE) foram necessárias oito irrigações. Na figura 3, nota-se a ocorrência e o volume das chuvas e das irrigações realizadas na lâmina de 100% da Etc.

As irrigações foram realizadas na maioria das vezes, intercaladas com as chuvas, havendo apenas uma ocorrência de duas irrigações consecutivas, ou seja, houve períodos de até quinze dias sem ocorrência de chuva. No entanto, mesmo com a realização intercaladas e poucas irrigações consecutivas, a influência da irrigação foi evidente, pois influenciou consideravelmente o desempenho da maioria das características avaliadas na cultura do milho, como serão apresentados e discutidos a seguir, nos próximos itens.

Tabela 6 – Lâminas de irrigação (individuais e acumulada) e precipitação acumulada de acordo com os diferentes tratamentos.

Lâmina de irrigação % da Etc	Lâmina média aplicada por irrigação (mm)	Lâmina de irrigação total aplicada (mm)	Precipitação efetiva (mm)	Irrigação + precipitação efetiva (mm)
0	0	0	618	618
50	8,4	84	618	701,7
75	12,6	126	618	743,7
100	16,8	168	618	785,7
125	21,0	210	618	827,6

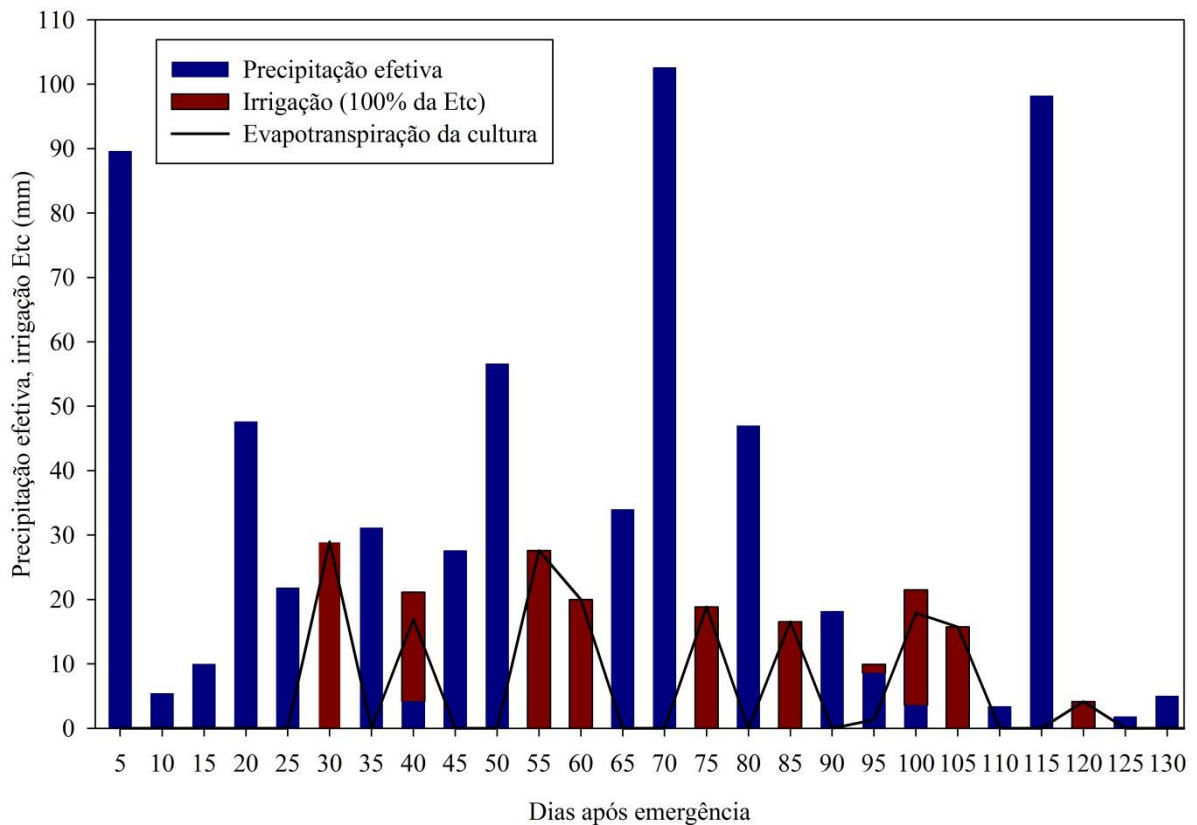


Figura 3 – Precipitação efetiva, irrigações na lâmina de 100% da Etc e evapotranspiração da cultura quinquidias.

4.2 Variáveis de crescimento e desenvolvimento

4.2.1 Altura de plantas

A altura de plantas não apresentou significância estatística para as lâminas de irrigação e densidades de plantas analisadas. A média máxima da altura observada foi de 238 cm aos 55 DAE. Na figura 4, pode ser observada a evolução temporal da variável altura de plantas em função das lâminas de irrigação e densidades de plantas, durante o período de cultivo do milho. A ANOVA para altura de plantas está apresentada nos Apêndice A, B, C e D.

Quando analisado as lâminas de irrigação utilizada, salienta-se que como foram realizadas somente duas irrigações durante a fase vegetativa do milho (Figura 3), evidencia-se que o déficit hídrico causado pode não ter sido expressivo suficiente para influenciar a altura das plantas.

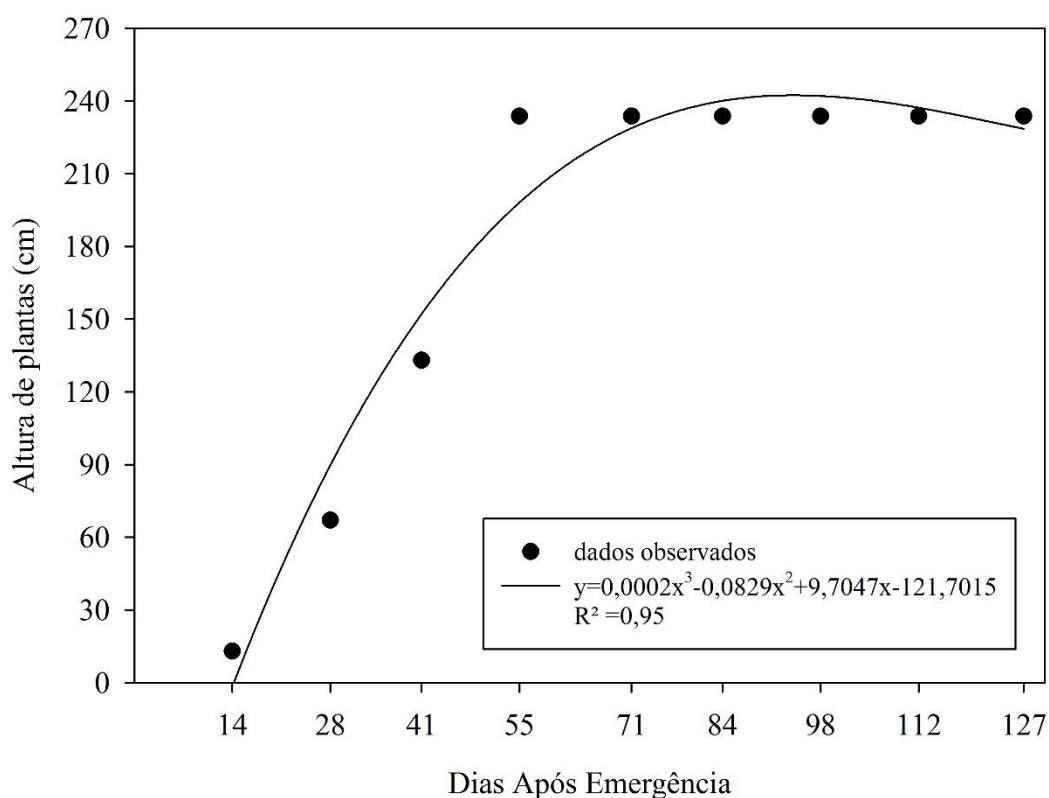


Figura 4 – Valores médios do comportamento da altura de plantas para as lâminas de irrigação e densidades de plantas, durante o período de cultivo do milho.

Levando em conta as diferentes populações de plantas esta constatação está em desacordo com Silva et al. (2008) que observaram aumento linear no porte das plantas, conforme aumentou-se a população de plantas de 40000 para 80000 plantas ha⁻¹ no híbrido P30K75 analisado no pendoamento. Outros autores como Sangoi et al. (2002) também constataram aumento linear na altura de planta com o incremento da densidade populacional e atribuíram esse aumento ao efeito combinado da competição intraespecífica por luz e estímulo da dominância apical das plantas.

A proximidade das plantas submetidas a altas populações favorece a menor oxidação de auxinas, como consequência, os colmos tendem a ficarem mais longos, ocasionando aumento na altura da planta (SANGOI et al., 2002). Entretanto, Sangoi e Silva (2006) destacam que híbridos com menos exigências calóricas são potencialmente menos afetados pelo adensamento. Assim, a não influência da população na altura das plantas pode ser justificada pelo híbrido utilizado neste trabalho ser de ciclo superprecoce, ou seja, necessita menor exigência calórica para completar seu ciclo.

4.2.2 Altura de inserção da primeira espiga

Quanto à altura de inserção de espiga, a altura média encontrada ficou em 1,15 m. Como pode ser observado no apêndice E, está variável não apresentou diferença estatisticamente significativa em função das densidades de plantas e das lâminas de irrigação utilizadas.

A não significância pode ser explicada pelo fato da diferenciação das lâminas, ou seja, o início do déficit hídrico ter ocorrido aos 33 DAE, tempo este suficiente para o início da formação das inflorescências femininas (espigas potenciais), que segundo Ritchie et al. (2003) ocorre no estágio V5 a V6 quando a planta se encontra com três semanas após a emergência. Esta evidência também pode ser considerada em relação às populações de plantas, pois, conforme Santos et al. (2002), há uma correlação positiva entre altura de plantas e altura de inserção de espigas, ou seja, ambas se comportam semelhante, concomitantemente. Portanto, conforme enfatizado anteriormente, para a altura de plantas o mesmo pode ser considerado para altura de espigas, onde híbridos de ciclo precoce podem ser menos afetados ou não afetados pelo efeito da densidade de semeadura, devido a menor exigência térmica.

4.2.3 Diâmetro de colmo

A influência dos tratamentos densidade de plantas e lâminas de irrigação apresentou significância estatística para o variável diâmetro do colmo. Porém não foi constatada interação entre os fatores através da análise de variância (Apêndice F). Na figura 5 está representada a influência das lâminas de irrigação sobre diâmetro de colmo do milho.

O diâmetro de colmo aumentou conforme o acréscimo da lâmina de água aplicada, apresentando um comportamento linear crescente. O maior valor encontrado foi no tratamento que recebeu a lâmina de irrigação de 100% da Etc, onde observou-se um diâmetro de colmo de 20,35 mm. Já o menor diâmetro de colmo observado na lâmina 0% da Etc apresentou valor de 17,4 mm.

Estes dados estão de acordo com Schlichting (2012) pois, também observou influência estatisticamente significativa para o diâmetro de colmo, apresentando variação em média de 16 mm para 19,7 mm em tensões entre - 15 e - 45 kPa, respectivamente, porém quando testado diferentes tensões de água no solo.

Estudando a cultura do sorgo, Nascimento (2008) observou que o diâmetro médio dos caules foi reduzido de 17,0 mm (maior disponibilidade de água no solo, ou seja, capacidade de campo) para 12,9 mm (menor disponibilidade de água no solo, 40% da capacidade de campo), o que correspondeu a um decréscimo de 24%.

O diâmetro de colmo é uma estrutura importante para o milho, pois está intimamente interligado com a produtividade, por se tratar de um órgão de reserva da planta (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; CRUZ ET AL., 2008).

O efeito da densidade de plantas sobre o diâmetro de colmo está representado na figura 06. Houve redução linear ao aumento da densidade de plantas, sendo que foi constado maior valor na população de 40 mil plantas.ha⁻¹ com 22,92 mm. Já o menor valor foi verificado na população de 130 mil plantas.ha⁻¹ com 15,38 mm.

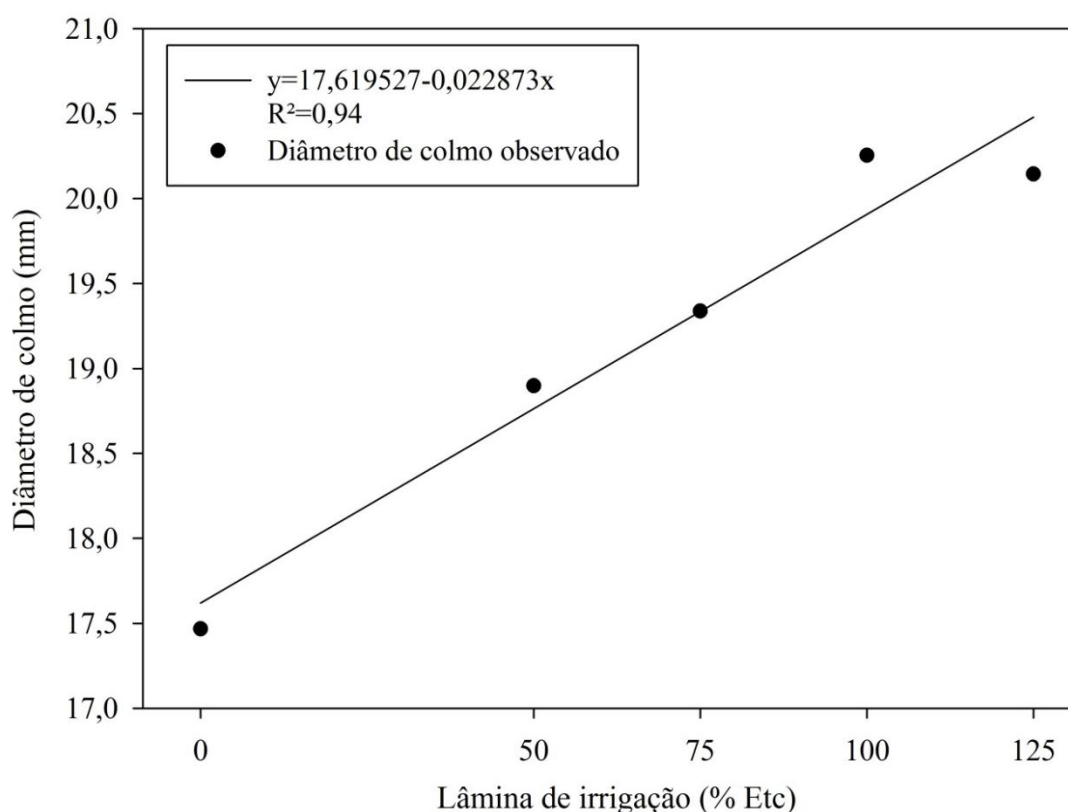


Figura 5 – Influência de diferentes lâminas de irrigação sobre o diâmetro de colmo do milho.

Estas observações estão de acordo com Demétrio et al. (2008), onde notou-se que aumento da densidade de plantas, de 30 mil para 90 mil plantas por hectare, provocou redução do diâmetro de colmo, estes autores observaram variação de 23,2 mm para 21,4 mm. Do mesmo modo, Porter et al. (1997) e Dourado Neto et al. (2003) ressaltam que o aumento da densidade de plantas ocasiona redução do diâmetro de colmo de milho.

Da mesma maneira, Kappes et al. (2011) observou que o aumento da densidade de 50 mil para 90 mil plantas.ha⁻¹ provocou redução linear do diâmetro de colmo, o autor salienta que este fato ocorre devido que o aumento na densidade populacional pode proporcionar redução na disponibilidade de água e nutrientes para as plantas. Além disso, a redução no diâmetro de colmo pode limitar a utilização de altas populações de plantas para híbridos de colmos menos resistentes devido aumentar a possibilidade de sofrer acamamento.

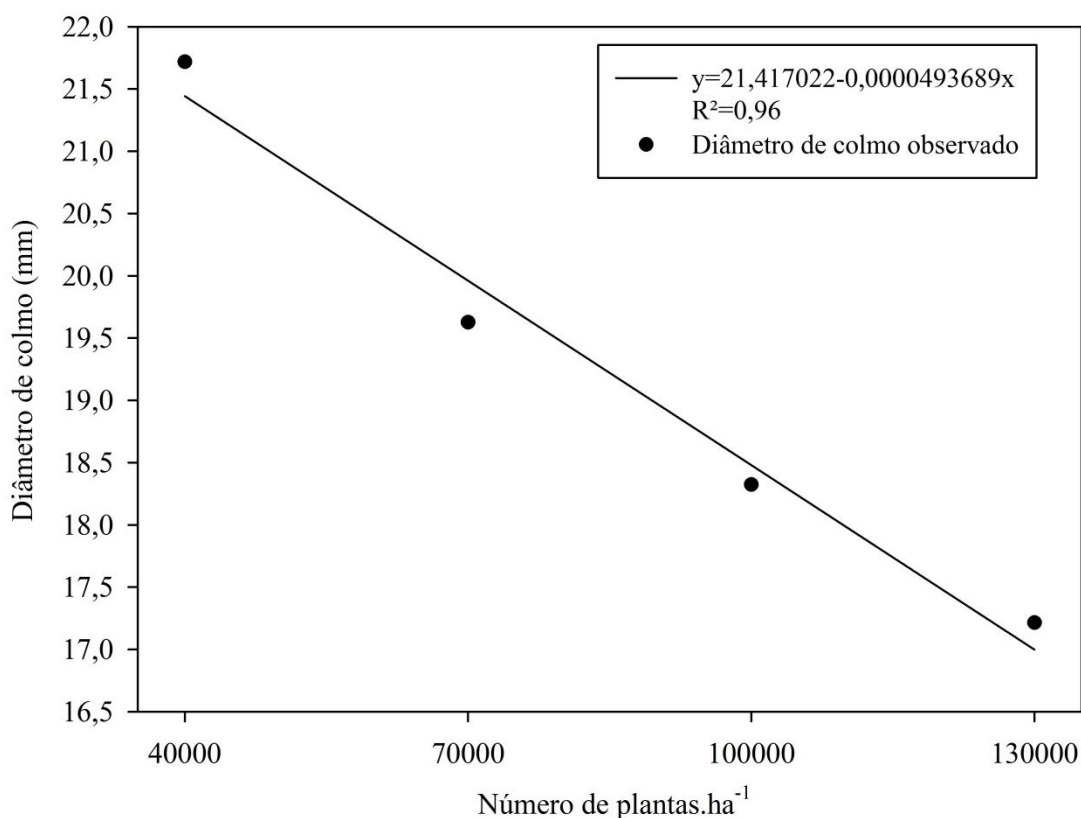


Figura 6 – Influência de diferentes densidades de plantas sobre o diâmetro de colmo do milho.

4.2.4 Produção de matéria seca

A influência das lâminas de irrigação e das densidades de plantas para a produção de matéria seca da parte aérea do milho está representada em um gráfico de superfície de resposta na figura 7. No apêndice G pode-se observar a ANOVA para a produção de matéria seca.

A lâmina de 75% da Etc e a densidade com 130 mil plantas.ha⁻¹ foi a combinação que apresentou maior produção de MS com 29,61 t.ha⁻¹. Na maioria das vezes, conforme se deu redução da densidade de plantas e da lâmina de irrigação, o mesmo ocorreu com a produção de MS. Contudo, quando observada a faixa de densidade de 40 mil plantas.ha⁻¹ a produção de MS foi crescente até a lâmina de irrigação de 75 % da Etc. Acima dessa houve redução na produção de MS. Observou-se na lâmina de 100% da Etc e na densidade de 40 mil plantas.ha⁻¹ a menor produção de MS com 11,84 t.ha⁻¹.

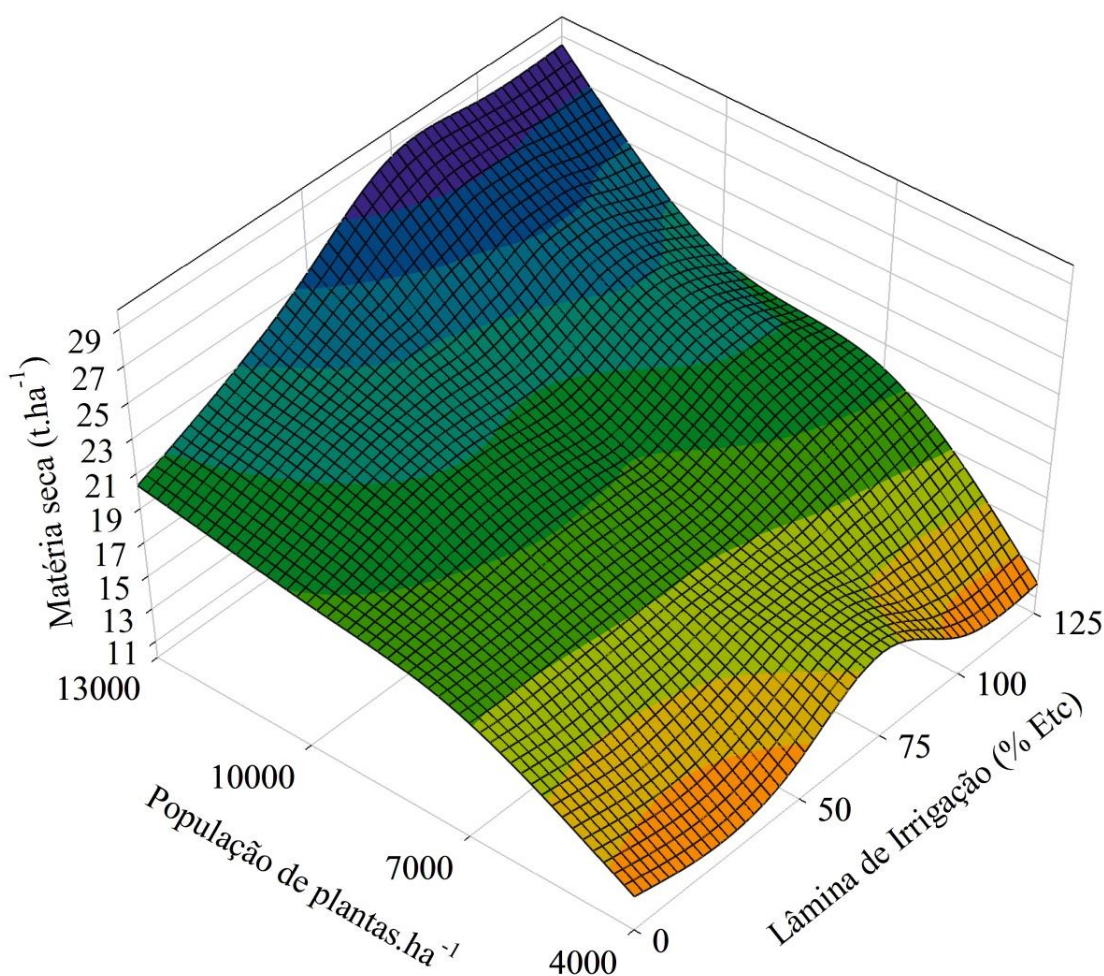


Figura 7 – Resposta da produção de matéria seca da parte aérea em função das densidades de plantas e lâminas de irrigação.

Estes dados estão de acordo com os encontrados por Farsiani et al. (2011). O autor impôs três níveis de déficit hídrico e encontrou diminuição de 50,20 para 33,50 t.ha⁻¹ conforme o aumento do déficit. Já Parizi et al. (2009), não averiguou diferença estatisticamente significativa na produção de matéria seca do milho cultivado em diferentes lâminas de irrigação, entre 0 e 120% da Et₀ no município de Santiago-RS.

Para a densidade de plantas, Brachtvogel et al. (2012), observaram aumento da produção de massa de matéria seca por área com aumento da população de plantas. Já Alvarez et al. (2006) na densidade de 75000 plantas ha⁻¹ obteve-se a maior produção de MS, cerca de 1,46 t.ha⁻¹ de MS a mais do que na densidade de 55000 plantas ha⁻¹, independentemente do híbrido, do espaçamento utilizado e do ano de plantio testados.

Segundo Gross et al. (2006), a densidade populacional interfere na massa individual das

plantas, obtendo-se um decréscimo de matéria seca individual, maiormente do colmo, como resultado da competição entre elas pelos recursos do meio. Entre estes recursos pode-se destacar a fertilidade do solo, e principalmente neste caso a disponibilidade hídrica, pois nos tratamentos que receberam as menores lâminas de irrigação observa-se, menor produção de MS.

4.2.5 Índice de área foliar

A evolução do índice de área foliar (IAF) em função das diferentes densidades de plantas utilizadas está apresentada na figura 8. Com o desenvolvimento das plantas, conforme começou o fechamento das entre linhas, pode se notar o efeito das diferentes densidades de plantas sob o IAF. A primeira diferença estatisticamente significativa, para o fator densidade foi notada logo a partir dos 28 DAE, estendendo-se até a última avaliação aos 127 DAE. As análises de variância para os diferentes dias após emergência e tratamentos testados, podem ser observados nos apêndices H, I, J, K, L, M, N, O e Q.

Observa-se que com o desenvolvimento das plantas o IAF foi aumentando até um valor máximo, diminuindo posteriormente até o final do ciclo da cultura. Este comportamento é natural para culturas anuais como o milho. Para todos os tratamentos analisados o IAF máximo foi medido aos 55 DAE, período este que foi constatado em campo, nesta pesquisa, como o final do pendoamento e início do florescimento feminino.

O maior IAF foi observado no tratamento com densidade de 130 mil planta.ha⁻¹ onde apresentou 5,8 m².m⁻². Para os demais tratamentos o máximo IAF foi de 4,5, 3,5 e 2,0 m².m⁻² para as densidades de 100, 70 e 40 mil plantas.ha⁻¹, respectivamente.

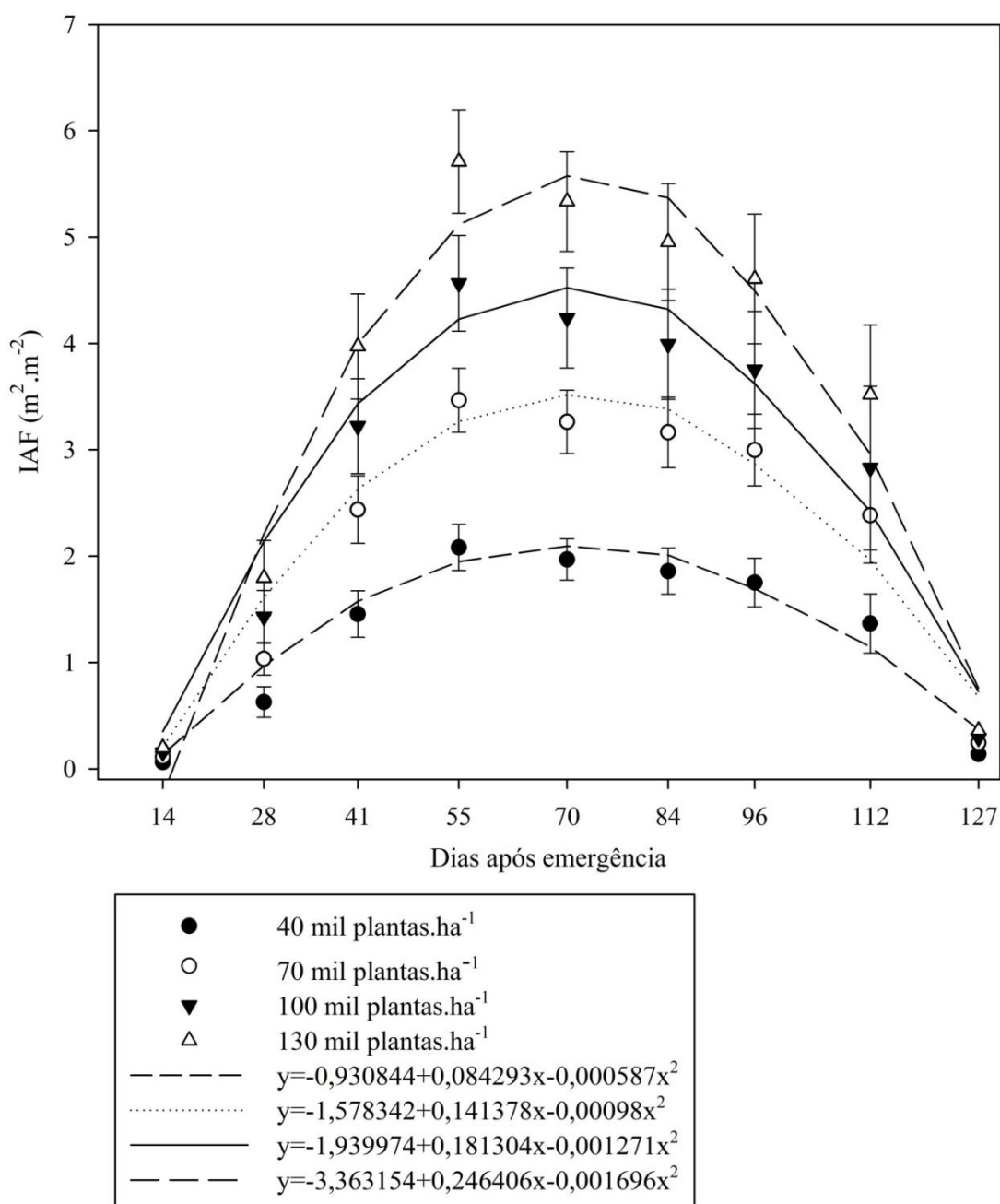


Figura 8 – Desenvolvimento do índice de área foliar do milho durante o ciclo da cultura, em resposta às diferentes populações de plantas.

A planta de milho apresenta baixa plasticidade de crescimento em relação a outras espécies da família Poacea, pois raramente perfilha, e também possuem baixa capacidade de expansão foliar (SANGOI, et al., 2009; ANDRADE et al., 1999). Assim, a capacidade de compensar eventuais falhas de emergência na lavoura fica comprometida. Desta maneira, a densidade de plantas passa a ser o fator decisivo no IAF de uma população, ficando

totalmente dependente do número de plantas por área.

Também pelo fato do híbrido utilizado ser de ciclo superprecoce, onde apresentam menor desenvolvimento de área foliar, que em híbridos tardios, salienta-se, o baixo índice de área foliar nas menores densidades utilizadas necessitando de um maior número de plantas para compensar o IAF. Esta observação está de acordo com Sangoi et al. (2001), que destacam que híbridos superprecoces necessitam de um maior número de plantas por hectare em relação aos de ciclo normal e enfatizam que um dos motivos é o baixo desenvolvimento foliar destes. Desta forma, o híbrido e a época de cultivo, apresentam-se como fatores determinantes no desenvolvimento foliar, e assim, no IAF da cultura.

Já a influência das lâminas de irrigação sobre o IAF foi constada somente aos 112 e 127 DAE, conforme pode ser averiguado nos apêndices O e Q. Na figura 9, está apresentado o IAF sob a influência das diferentes lâminas de irrigação, durante o ciclo da cultura do milho.

Durante o ciclo de cultivo do milho nota-se que o IAF se manteve semelhante. Porém, pode-se notar que o IAF da lâmina de irrigação 0% da Etc, imediatamente a partir da segunda irrigação (aos 41 DAE), começou a apresentar valores um pouco abaixo dos demais, mas sem haver diferença estatisticamente significativa pela ANOVA, até a avaliação dos 96 DAE.

Por ocasião do ápice do IAF, observada na coleta dos 55 DAE, o IAF médio dos tratamentos foram 3,86; 3,94; 3,96; 3,92 e 4,1 para os tratamentos 0%, 50%, 75%, 100% e 125% da Etc respectivamente. Contudo, somente a partir dos 112 DAE após emergência foi constatada significância entre os tratamentos, o que pode ser observado devido há necessidade de irrigação, estando então, os tratamentos que receberam menos água, com influência do déficit hídrico. Aos 112 DAE o IAF do tratamento com lâmina 0% foi de 2,13 enquanto os demais foram de 2,40; 2,59; 2,74 e 2,77 para as lâminas 50%, 75%, 100% e 125% da Etc, respectivamente.

Na última avaliação aos 127 DAE as plantas já se encontravam em estágio de maturação fisiológica. Neste momento, o maior IAF foi evidenciado na lâmina de irrigação de 125% da Etc com valor de $0,30 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, já o menor valor foi observado na lâmina 0% da Etc com $0,19 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$.

Deste modo, avaliando híbridos (AS 1565, D 2B707, NB7502 e P 30R50), densidades de plantas (entre 50 e 110 mil plantas.ha⁻¹) e dois níveis de manejo de irrigação (irrigação em todo o ciclo e em períodos críticos da cultura), em época de cultivo normal, Serpa et al. (2012), constatou que nos estádios V6 e V10 houve aumento linear do IAF dos híbridos em relação a densidade de plantas. Já no estágio R1 o autor observou efeito significativo entre os níveis de manejo de irrigação, densidades de plantas e híbridos, sendo que nos tratamentos

com irrigação em todo o ciclo o IAF apresentou-se 9% maior que o tratamento irrigado em períodos críticos da cultura. Em resposta a densidades de plantas o IAF comportou-se de forma linear ao aumento das plantas na população, sendo de 94% a mais na densidade de 110 mil plantas.ha⁻¹ em relação a 50 mil plantas.ha⁻¹. Os resultados encontrados pelo autor demonstram a influência da irrigação e da densidade de plantas no estabelecimento do IAF, estando também dependente do híbrido utilizado.

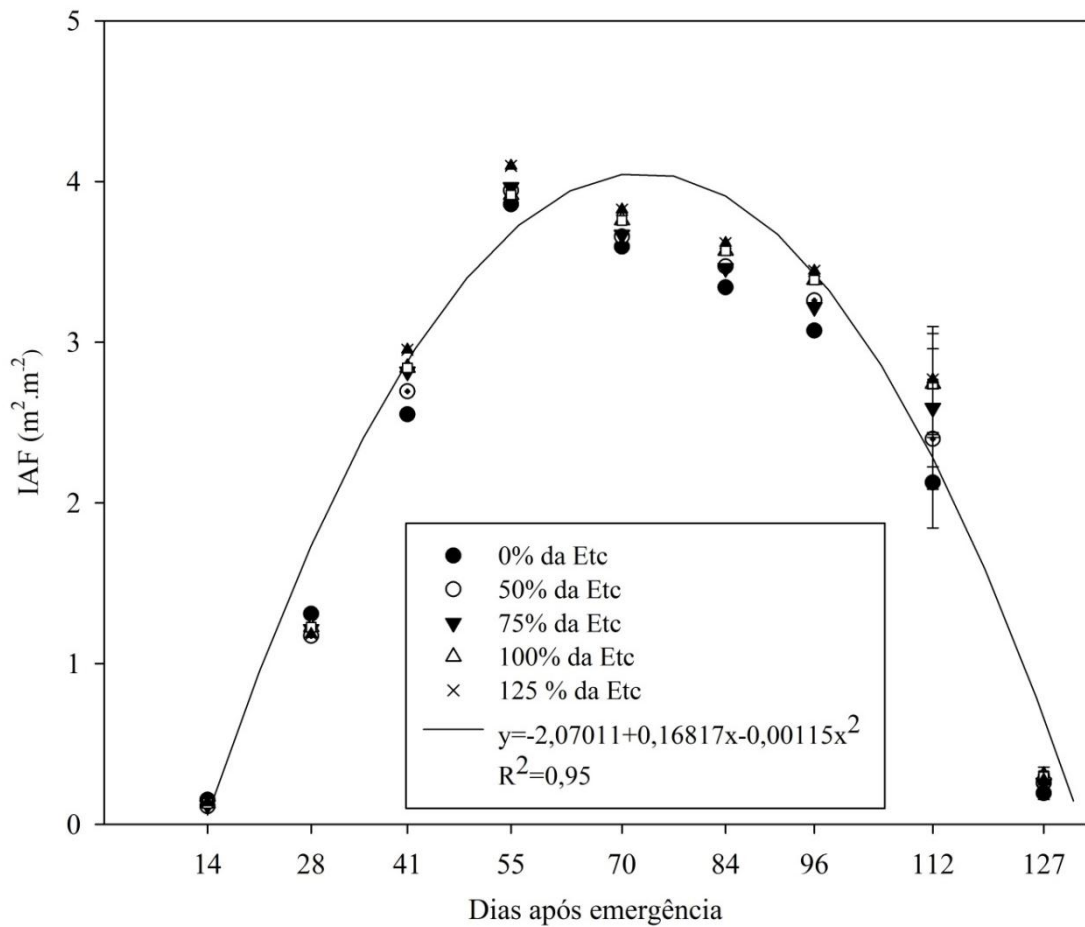


Figura 9 – Influência das lâminas de irrigação no índice de área foliar do milho durante o ciclo de cultivo.

4.3 Componentes de rendimento

4.3.1 Comprimento de espigas

A resposta do comprimento de espiga em relação às diferentes lâminas de irrigação está representada na figura 10. Já no apêndice Q pode se observar os resultados encontrados na ANOVA.

Observa-se um comportamento linear positivo ao incremento de água através da irrigação. O maior valor encontrado foi na lâmina de irrigação de 125% da Etc apresentando comprimento médio de 12,8 cm. O menor valor foi observado no tratamento sem irrigação (0% da Etc) com 11,2 cm de comprimento de espiga.

Esta observação está em desacordo com Blanco et al. (2011), que não encontrou diferença estatisticamente significativa entre diferentes lâminas de irrigação sobre o comprimento de espigas de milho, onde encontrou média de 24,8 cm de comprimento. Já Rivera-Hernandes et al. (2010), trabalhando com milho doce ressaltou decréscimo no comprimento de espiga em consequência da deficiência hídrica. De acordo com Kappes et al. (2009), o comprimento médio de espiga é um dos caracteres que pode interferir, diretamente, no número de grãos por fileira e, conseqüentemente, na produtividade do milho.

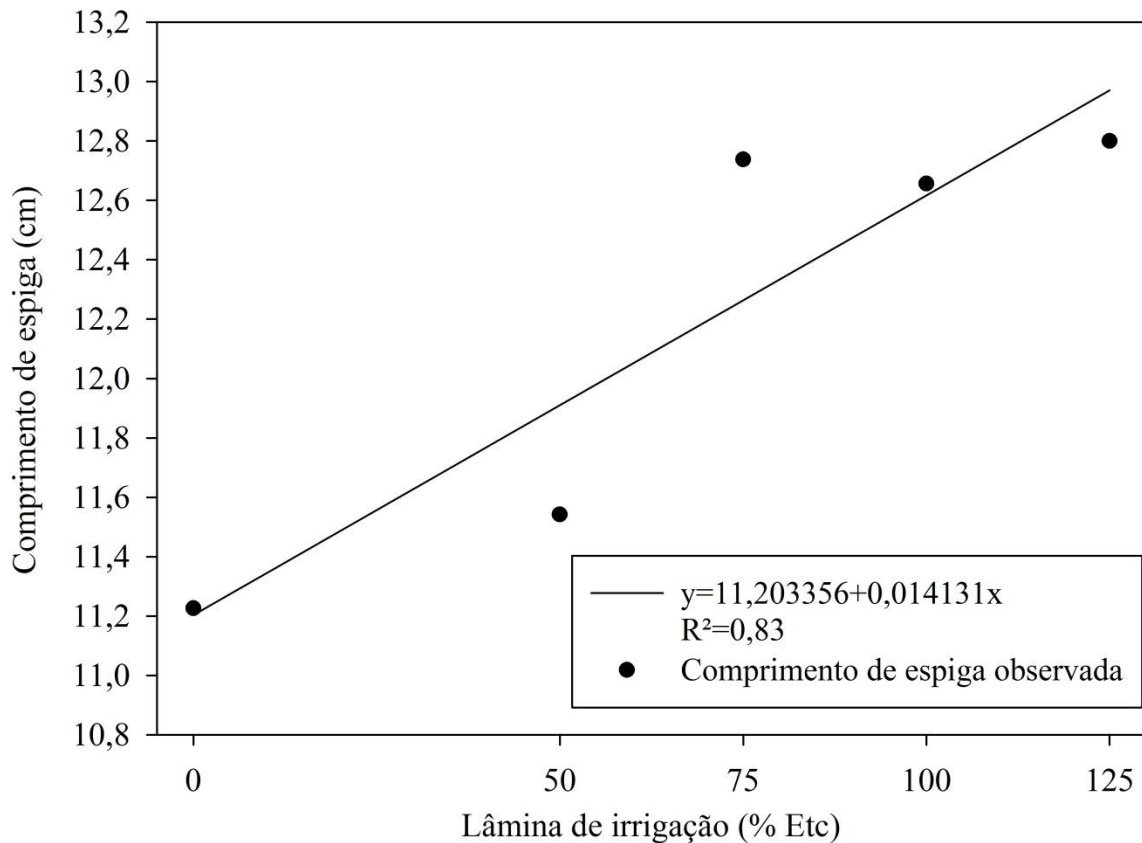


Figura 10 – Resposta do comprimento de espigas de milho às diferentes lâminas de irrigação.

Quando avaliado o comprimento de espigas, em função das densidades de plantas, nota-se que a densidade de 70 mil plantas.ha⁻¹ apresentou o maior valor, ficando com média de 13,38 cm. Já a densidade de 13 mil plantas.ha⁻¹, apresentou o menor comprimento de espiga, em torno de 11,65 cm, conforme pode ser visualizado na figura 11. O desempenho do milho para o comprimento de espigas, foi linearmente inverso ao incremento da densidade de plantas havendo diferença estatisticamente significativa entre as populações utilizadas.

Dados são coerentes com os obtidos por Brachtvogel et al. (2009), que verificaram redução no comprimento de espiga em função do aumento da população de plantas, quando estudaram populações entre 30 e 105 mil plantas.ha⁻¹. Do mesmo modo, Kappes et al. (2011), também encontraram redução linear no comprimento de espigas com o incremento da população de plantas, onde na população de 90 mil plantas.ha⁻¹ encontraram 14,4 cm e para 50 mil plantas.ha⁻¹ 16,3 cm. Ao mesmo tempo, constataram que esse comportamento se deve ao aumento da competição intraespecífica entre as plantas de milho, o que aumenta as exigências das plantas por água, luz e nutrientes.

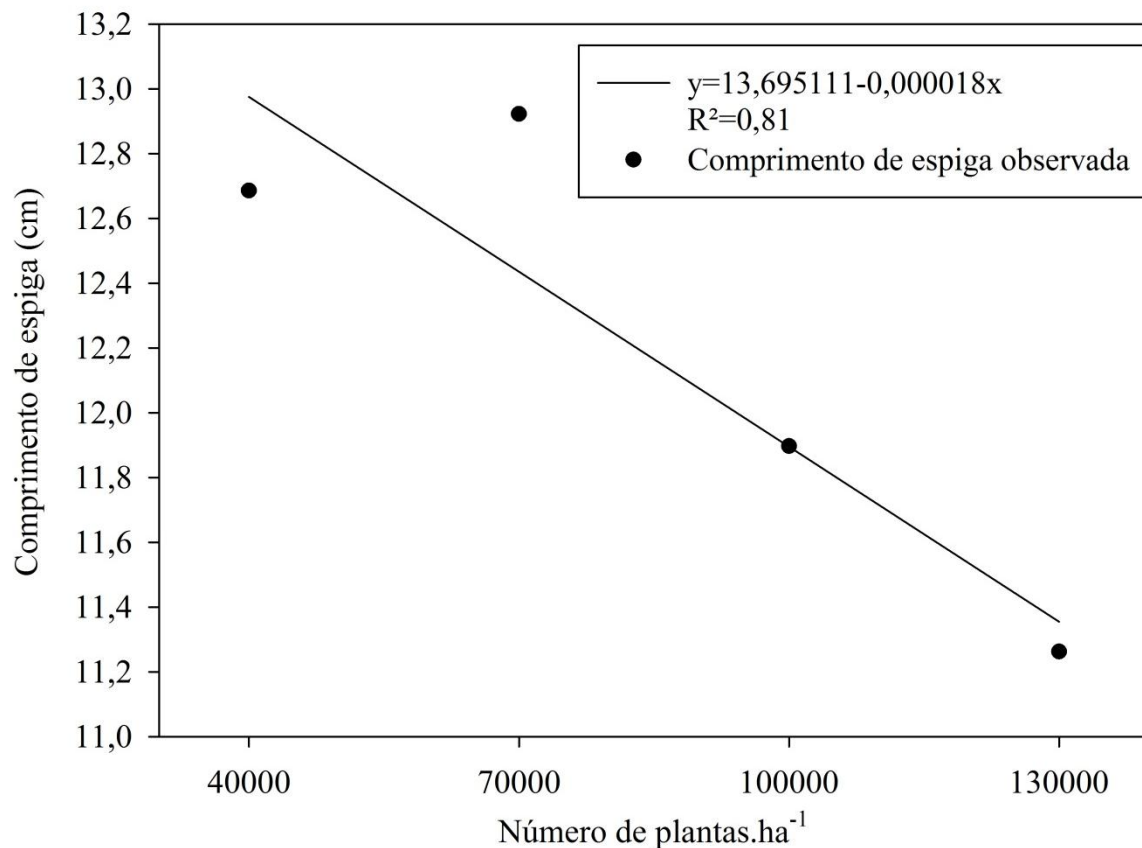


Figura 11 – Resposta do comprimento de espigas de milho às diferentes populações de plantas.

De modo geral, o comprimento de espigas é influenciado principalmente pela época de semeadura e pelo ciclo do híbrido utilizado. Devido este experimento ter sido implantado na safrinha e com um híbrido precoce, observa-se o comprimento de espigas encontrado ser reduzido aos outros autores mencionados acima. De acordo com Nascimento et al. (2011), em seu experimento observou que nas semeaduras tardias, o comprimento de espiga apresentou valores menores (10,41 cm) do que em semeaduras realizadas em épocas normais de cultivo (16,25 cm). Da mesma forma, em híbridos de ciclo precoce o comprimento de espiga também apresenta menores valores. O autor observou média de 14,43 cm em um híbrido hiperprecoce e 15,73 cm no híbrido precoce. Magalhães e Durães (2006), ressaltam que híbridos precoces geralmente, possuem um período mais curto disponível para a definição do tamanho de espigas, e devido isso, híbridos precoces usualmente têm espigas menores que os genótipos tardios. Do mesmo modo, uma maneira de compensar essa desvantagem dos híbridos precoces seria aumentar a densidade de plantio.

4.3.2 Diâmetro de espigas

Para o diâmetro de espigas, o híbrido teve o mesmo comportamento quando submetidos às diferentes densidades de plantas (40, 70, 100 e 130 mil plantas.ha⁻¹) e lâminas de irrigação (0, 50, 75, 100 e 125% da Etc). Constatou-se que o diâmetro médio de espigas ficou aproximadamente em 41,29 mm, não observou-se efeito estatisticamente significativo entre as densidades de plantas, as lâminas de irrigação e interação entre estes fatores, conforme pode ser observado no apêndice R.

Estas observações corroboram com Goes et al. (2013), que também não encontraram diferença estatisticamente significativa, entre o diâmetro de espigas quando submetido a diferentes populações de plantas. Segundo Ohland et al. (2005), o diâmetro de espiga está estreitamente relacionado com enchimento de grãos e número de fileiras de grãos por espiga, o que principalmente é influenciado pelo genótipo, assim justifica-se a pouca influência da irrigação e da densidade de plantas sobre esta variável. Estes resultados discordam dos encontrados por Farsiani et al. (2011), que observaram diferença estatisticamente significativa no diâmetro de espigas, com diferentes manejos de irrigação através de turno de rega variável.

4.3.3 Número de espigas por planta

O número de espigas por planta (NEP) reduziu conforme a adição de plantas na população, como pode ser observado na figura 12. A análise de variância do número de espigas por planta pode ser observado no apêndice S.

Na densidade de 40 mil plantas.ha⁻¹ foi encontrado 1,28 espiga por planta, sendo este o maior valor constatado. Enquanto o menor valor, foi na densidade de 130 mil plantas.ha⁻¹ 1,0 espiga por planta. Houve um comportamento linear inverso do NEP ao incremento de plantas na população.

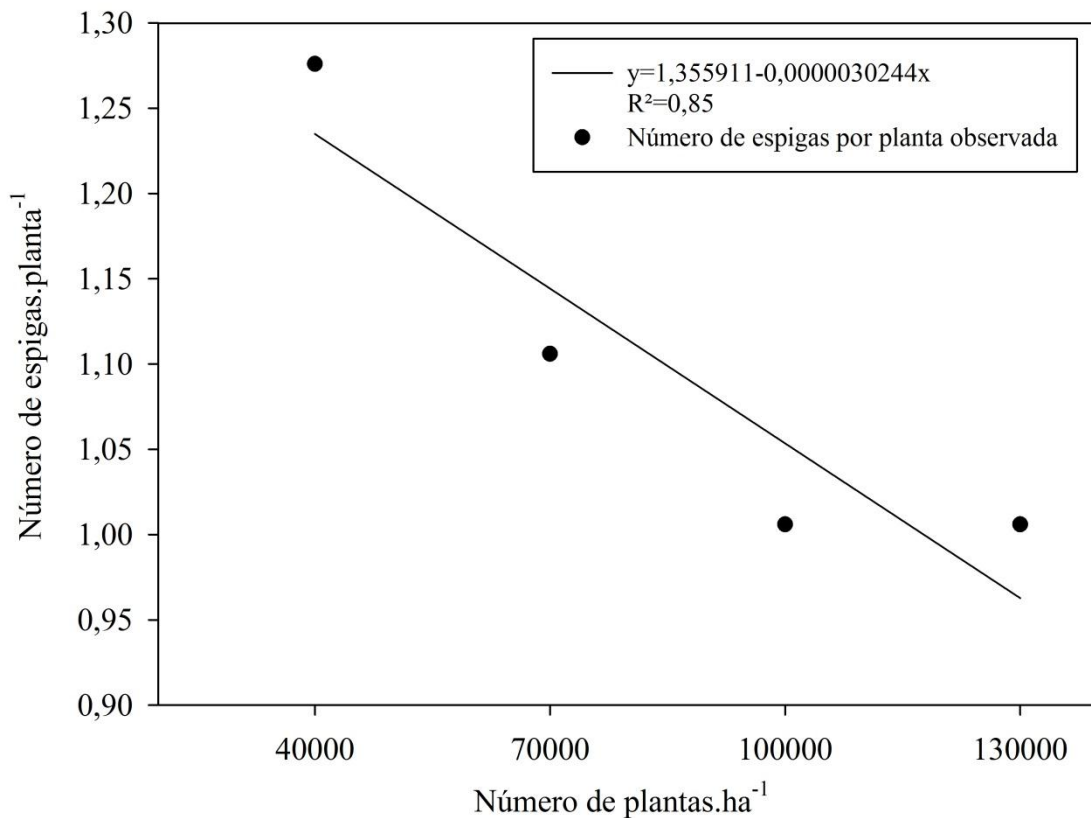


Figura 12 – Número de espigas por planta em resposta as densidades de plantas de milho

Silva et al. (2010), também notaram redução de forma linear com o incremento da população de plantas de 1,16 para 0,94 espigas por planta, utilizando densidade de plantas entre 55 e 110 mil plantas.ha⁻¹. O incremento da população de plantas também proporcionou decréscimo linear no NEP para Kappes et al. (2011), sendo que nas densidades testadas entre 50 e 90 mil plantas.ha⁻¹ o autor observou variação gradual de 1,0 para 0,92 espigas.plantas⁻¹, respectivamente. Pode-se observar também, que nesta pesquisa não foi constatada a ocorrência de plantas estéreis (sem espiga), como é o caso dos autores citados acima. Nota-se que os tratamentos com 100 e 130 mil plantas.ha⁻¹ apresentaram 1,0 espiga por planta, o que demonstra que em densidades maiores a redução no NEP também está ligada as características genotípicas do híbrido utilizado.

Não foi verificada diferença estatisticamente significativa sobre o número de espigas por plantas para as lâminas de irrigação, e nem interação entre os fatores lâminas de irrigação e densidade de plantas, conforme pode ser observado no apêndice S.

Foi observado um valor médio de 1,10 espigas por planta entre as lâminas de irrigação. Os resultados deste trabalho apresentam similaridades com Parizi et al. (2009), que

trabalhando com diferentes lâminas de irrigação também não observaram diferença estatisticamente significativa para o NEP e obtiveram valor médio de 1,0 espiga por planta. O número de espigas por planta é definido na fase vegetativa da cultura (entre os estágios V9 e VT Magalhães; Durães, 2006), como pode-se observar na figura 3 que foram realizadas apenas duas irrigações na fase vegetativa da cultura, o qual se deu até aos 54 DAE, assim indica-se que o déficit hídrico ocorrido nesta fase não o suficiente para afetar este componente de rendimento.

4.3.4 Número de grãos por espiga

O número de grãos por espiga em relação às lâminas de irrigação e populações de plantas pode ser observado no gráfico de superfície de resposta na figura 13. Já no apêndice T também observa-se a análise de variância, onde constatou-se interação estatisticamente significativa entre os fatores lâminas de irrigação e densidades de plantas.

Nota-se que, nas densidades de plantas de 130 mil plantas.ha⁻¹ (D3) e 100 mil plantas.ha⁻¹ (D4), conforme aumentou a lâmina de irrigação, aumentou também o NGE, até a dose de irrigação de 100% da Etc. Nesta situação o número de grãos observado para a D4 foi de 381,74 e para a D3 foi de 421 grãos. Este valor sofre reduções para os tratamentos relativos a 125% da Etc e valores de manejo de água com Etc inferior a 100% ou seja, 0, 50, 75% da Etc.

Na densidade de 70 mil plantas.ha⁻¹ (D2) houve aumento gradativo no NGE até a lâmina de irrigação de 125% da Etc, onde foi constatado 454 grãos por espiga, sendo este o maior valor encontrado neste trabalho. Para a densidade de 40 mil plantas.ha⁻¹ (D1) foi encontrado maior número de grãos por espigas na lâmina de irrigação de 75% da Etc.

El-Hendawy et al. (2008), também observou interação estatisticamente significativa entre densidade de plantas e lâminas de irrigação para o NGE em dois anos de estudo. O autor observou redução no NGE conforme diminuiu-se a taxa de irrigação, na média entre os dois anos de estudo o NGE ficou com valor de 350, 306 e 115 para as lâminas de 100 80 e 60 % da Etc, respectivamente. Quando analisado a densidade de plantas o autor observou 325, 281 e 173 grãos por espiga, nas densidades de 48, 71 e 95 mil plantas.ha⁻¹.

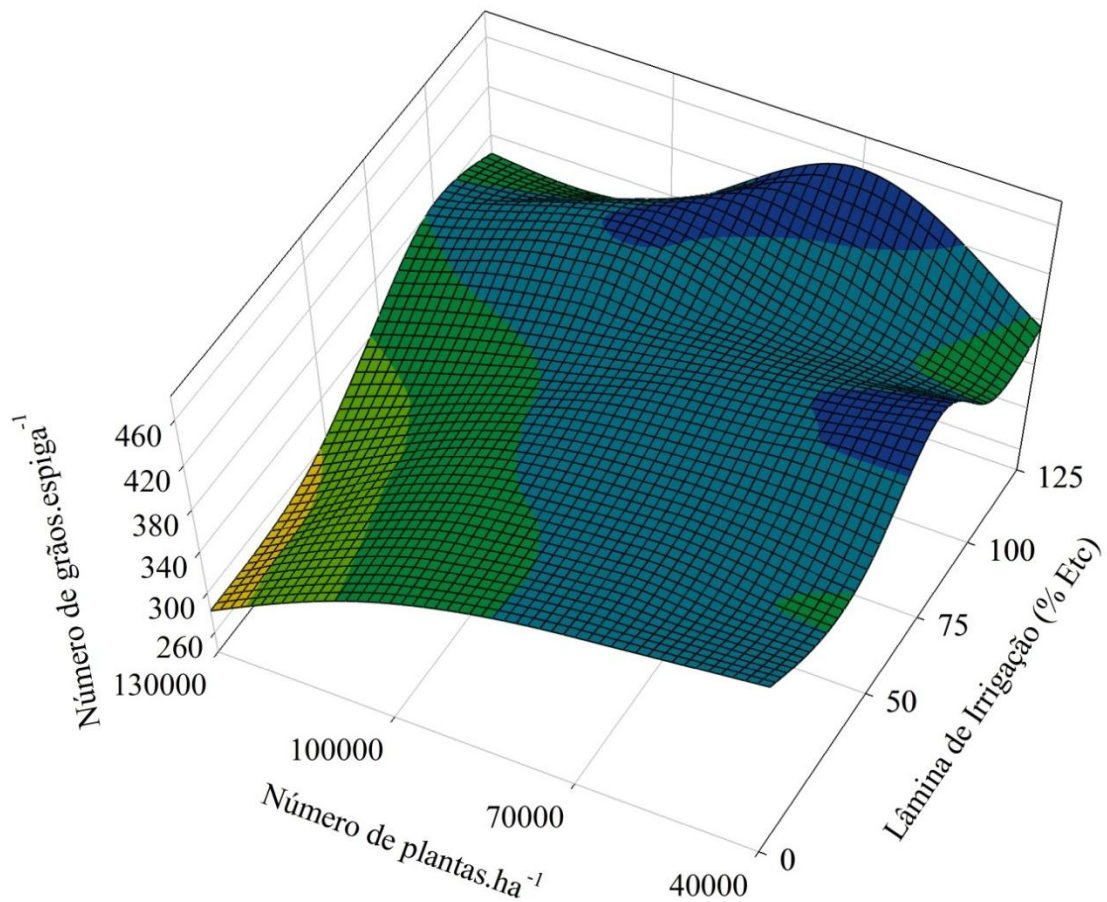


Figura 13 – Número de grãos por espiga de milho em resposta às densidades de plantas e lâminas de irrigação.

Os resultados encontrados neste trabalho também estão de acordo com Serpa et al. (2012), quando comparando densidade de plantas, híbridos, porém, com irrigação total e em períodos críticos da cultura, constatou que o número de grãos por espiga foi afetado pelo efeito simples de nível de disponibilidade hídrica e pela interação entre densidade de plantas e híbridos, sendo que encontrou 469 grãos por espiga, nos tratamentos com irrigação durante todo o ciclo, e obteve valor 15% maior em comparação aos tratamentos com irrigação apenas no período mais crítico da cultura, no qual encontrou 406 grãos por espiga. O mesmo autor ainda constatou que, o número de grãos por espiga diminuiu de forma linear com o incremento da densidade de plantas comportamento semelhante ao observado nesta pesquisa.

Comportamento similar foram encontrados por Farinelli et al. (2012), que com o aumento na densidade populacional de plantas observou redução no número de grãos por espiga, sendo que na população de 40 mil plantas.ha⁻¹ encontrou 578 grãos por espiga e na densidade de 80 mil plantas.ha⁻¹ 529 grãos.espiga⁻¹, sem uso de irrigação em Jaboticabal, SP e

período normal de cultivo. Este fato se deve ao aumento da competição intraespecífica por luz, nutriente e água, pelo incremento da densidade de plantas. Esta observação fica evidente pois nas menores lâminas de irrigação, houve redução do NGE e menor ainda quando sem irrigação. Confirmando, quando comparando a mesma densidade com a redução da lâmina de água.

De acordo com Bergonci et al. (2001), a ocorrência de déficit hídrico no período do pendoamento incide principalmente na redução do número de grãos por espiga. Se observarmos a figura 3, nota-se que houve necessidade de irrigação no período em que ocorreu este estágio (ao redor dos 55 DAE), assim ressalta-se a redução no NGE nas menores lâminas de irrigação devido ao menor recebimento de água. Concordando com Bergamaschi et al. (2004), o número de grãos por espiga é um dos componentes da produção de grãos mais afetados pelo déficit hídrico. Também observa-se que na lâmina de 125% da Etc e na densidade de 40, 100 e 130 plantas.ha⁻¹ diminuiu o NGE em relação a lâmina de 100% da t_c, provavelmente pelo excesso hídrico. Todavia, não foi o caso da população de 70 mil plantas.ha⁻¹, na lâmina de 125%.

4.3.5 Massa de cem grãos

A deficiência hídrica afetou a massa de cem grãos (MCG), sendo que nos tratamentos irrigados apresentou-se em média 8,5% maior que no tratamento que não recebeu irrigação (0% da Etc), na figura 14 pode se notar o efeito das lâminas de irrigação sobre a massa de cem grãos. Observa-se que houve um comportamento quadrático à adição de água. A lâmina de irrigação que proporcionou maior eficiência técnica da massa de cem grãos foi a de 98% da Etc, estimada em 30,38 g.

Dados semelhantes foram encontrados por Parizi et al. (2009), nas lâminas de 80% e 100% da Et₀ ressaltaram as maiores massa de grãos com aproximadamente 31,00 g e mínima no tratamento de 0% da Et₀ com 28,00 g. Também Pegorare et al. (2009), verificou redução linear da massa de cem grãos com a redução da lâmina de água aplicada, de 34,00 g para 31,50 g, utilizando as lâminas de irrigação de 100, 75, 50 e 0% da Etc.

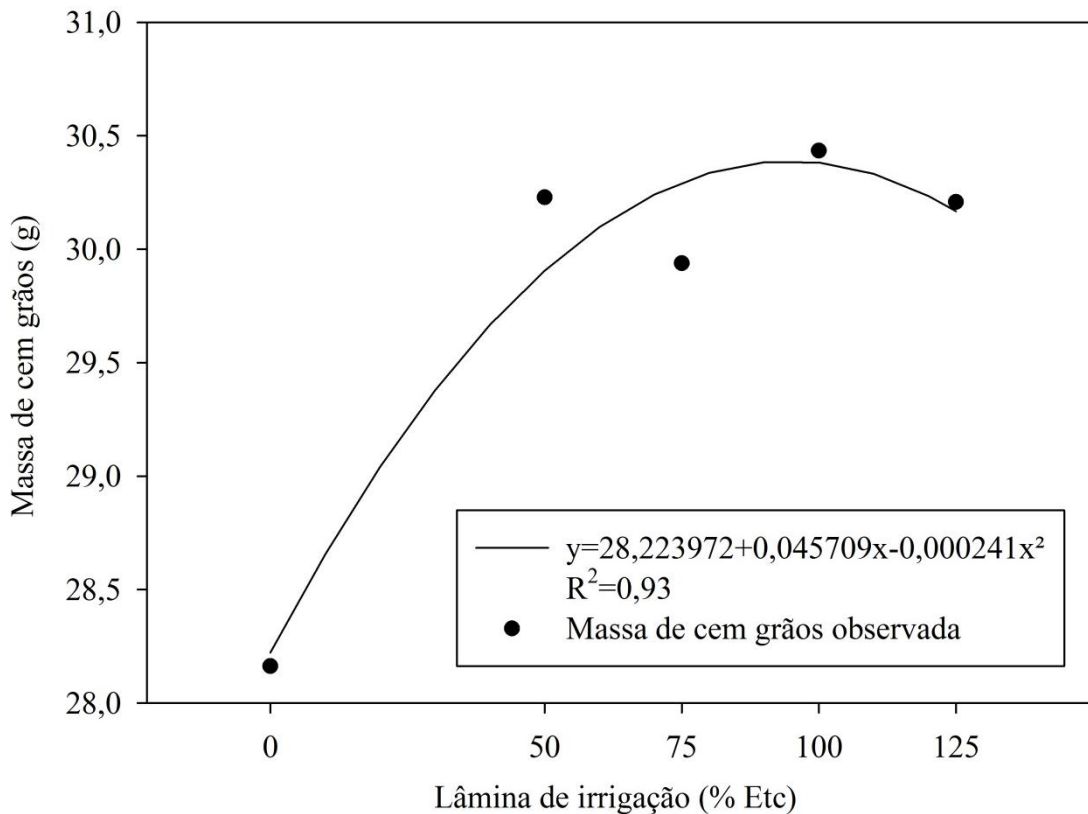


Figura 14 – Efeito das lâminas de irrigação sobre a massa de cem grãos de milho.

Na figura 15 pode-se notar o efeito das densidades de plantas sobre a Massa de cem grãos. Observa-se que, a massa de cem grãos que apresentou maior valor foi na densidade de 40 mil plantas.ha⁻¹ com 30,78 g. Já a menor MCG foi constatada na densidade de 100 mil plantas.ha⁻¹ com 25,30 g, desta forma salienta-se que houve decréscimo linear da MCG ao aumento da densidade de plantas.

Estes dados são divergentes com os encontrados por Takasu et al. (2014), que não verificaram efeito estatístico significativo para a MCG quando submetido a densidades entre 40 e 100 mil plantas.ha⁻¹, mostrando que a massa média de grãos é independente das densidades de plantas. Porém, Abuzar et al. (2011) apresentaram efeitos significativos da densidade de plantas sobre a massa de cem grãos, o autor constatou maior peso de grãos nas densidades de plantas de 40 e 60 mil plantas.ha⁻¹ com 33,30 e 35,00 g respectivamente. Já a menor massa de cem grãos que o autor encontrou, foi na densidade de 140 mil plantas.ha⁻¹ com 16,67 g, sendo que estudou densidades entre 40 mil e 140 mil plantas.ha⁻¹.

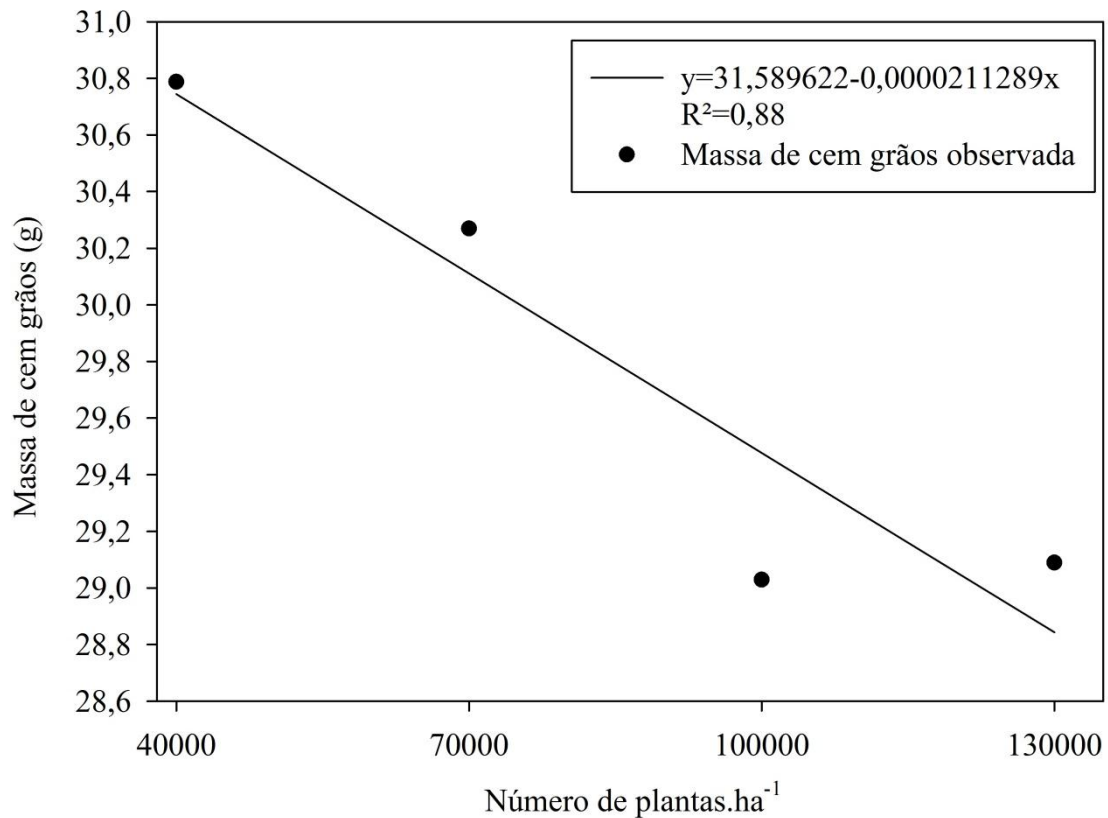


Figura 15 – Efeito das densidades de plantas sobre a massa de cem grãos de milho.

4.3.6 Produtividade de grãos

A influência das lâminas de irrigação e das populações de plantas sobre a produtividade de grãos pode ser observado na figura 16.

A produtividade de grãos foi influenciada pelo aumento da densidade de plantas e pelas lâminas de irrigação. Para as densidades de 70, 100 e 130 mil plantas.ha⁻¹ a produtividade de grãos aumentou com o incremento da lâmina de irrigação, atingindo um nível máximo de produtividade na lâmina de 100% da Etc (T3), diminuindo novamente para a lâmina de irrigação de 125% da Etc. Sendo que, a combinação da 103% e da densidade de 130 mil plantas.ha⁻¹ a que apresentou maior produtividade técnica de grãos, onde averiguou-se 15,25 t.ha⁻¹. Ainda no T3, a densidade de 100 mil plantas.ha⁻¹ observou-se produtividade de 12,39 t.ha⁻¹, a densidade de 70 mil plantas.ha⁻¹ 9,91 t.ha⁻¹ e a densidade de 40 mil plantas.ha⁻¹ 6,09 t.ha⁻¹.

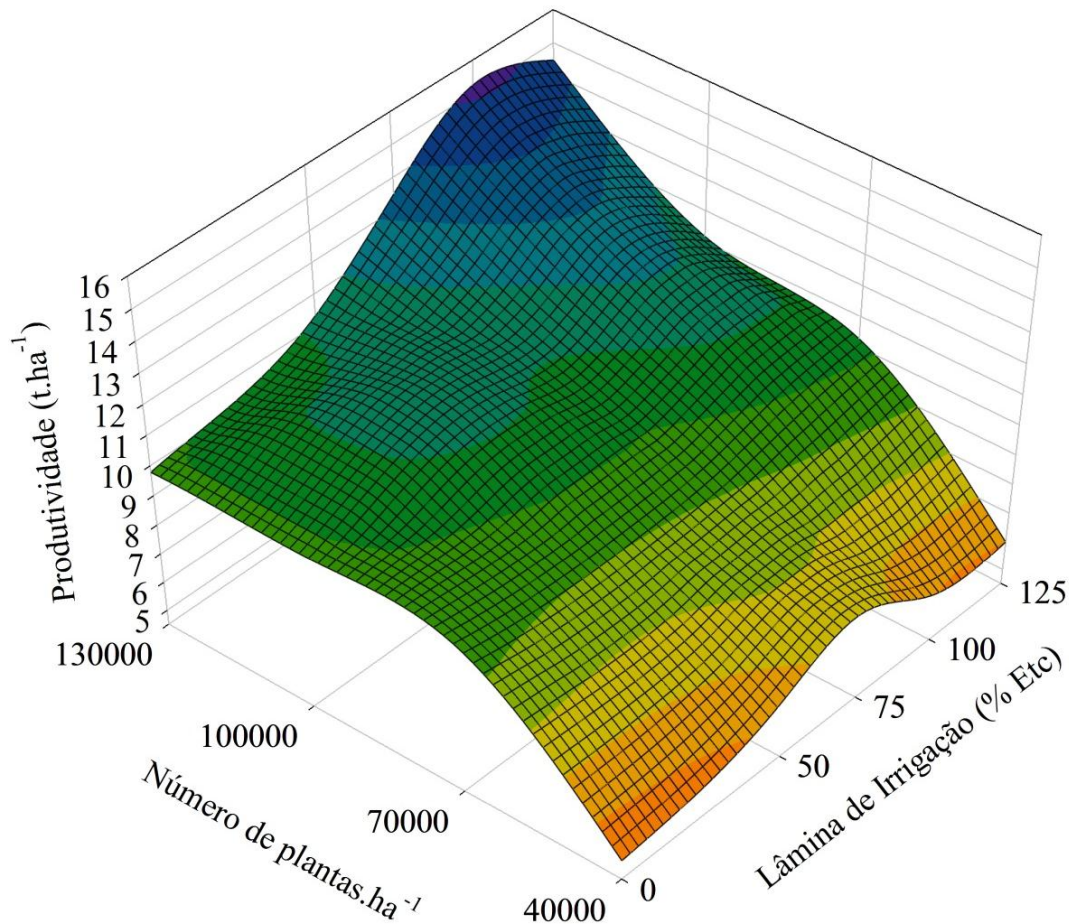


Figura 16 – Resposta da produtividade de grãos de milho às diferentes lâminas de irrigação e densidades de plantas.

Quando observado a densidade de plantas para faixa do T0 (sem irrigação) nota-se que a produtividade apresentou-se menor que as outras lâminas de irrigação. A densidade de 130 mil plantas.ha⁻¹ apresentou maior rendimento em relação as demais. Destaca-se que neste tratamento, a produtividade nas densidades de 130; 100 e 70 mil plantas.ha⁻¹ ficaram com valores de 9,79; 9,77 e 9,46 t.ha⁻¹ respectivamente. Ainda para o T0, contudo na densidade de 40 mil plantas.ha⁻¹ a produtividade encontrada foi de 5,17 t.ha⁻¹, sendo esta a menor constatada neste estudo. Deste modo, em cultivo de milho sem o uso de irrigação suplementar observou-se maiores produtividades com a utilização de densidades entre 70 e 130 mil plantas por hectare. Sendo interessante considerar o preço da semente de milho no momento da semeadura, uma vez que houve pouca diferença de produtividade entre essas densidades.

Quando observado a densidade de 70 mil plantas.ha⁻¹, a lâmina de irrigação de 125% da Etc foi a que apresentou maior produtividade de grãos (10,26 t.ha⁻¹). Já as lâminas de

irrigação abaixo dessa, apresentaram redução gradual da produtividade.

Em qualquer uma das lâminas de irrigação utilizada, a densidade de 40 mil plantas.ha⁻¹ apresentou a menor produtividade de grãos, em relação as demais densidades de plantas. Desta forma, o uso dessa densidade apresenta-se inviável tecnicamente para o cultivo de milho, independente do uso ou não de irrigação suplementar.

O comportamento do milho sobre as condições impostas neste trabalho corrobora em partes com El-Hendawy et al. (2008), pois também observou interação significativa entre lâminas de irrigação e densidades de plantas, sendo que, uma taxa de irrigação de 100% da Etc com uma densidade de 71 mil plantas.ha⁻¹ a combinação que obteve maior rendimento de grãos de milho, onde encontrou uma produtividade de 8,99 t.ha⁻¹ em dois anos de estudo no Egito.

Estas observações estão de acordo com Parizi et al. (2009), que estudando somente lâminas de irrigação, encontrou maior produtividade no tratamento de 100% da Et0 com 12,84 t.ha⁻¹, no município de Santiago-RS. Já Serpa et al. (2012), estudando híbridos de milho submetido a densidades entre 50 e 110 mil plantas.ha⁻¹, com uso de irrigação plena e nos períodos críticos para a cultura, constatou na média dos híbridos efeito linear ao acréscimo de plantas, no manejo de irrigação plena, onde constatou produtividade máxima de 16,30 t.ha⁻¹, na densidade de 110 mil plantas.ha⁻¹, representando um rendimento 31% maior que na densidade de 50 mil plantas.ha⁻¹. Já o manejo com irrigação nos períodos críticos da cultura, os autores verificaram um efeito quadrático, com a maior produtividade de grãos estimada na densidade de 104 mil plantas.ha⁻¹, em 13,20 t.ha⁻¹.

Observa-se que as densidades de plantas que apresentaram maior produtividade são mais altas do que as populações recomendadas para este híbrido, as quais variam entre 70 e 80 mil plantas.ha⁻¹. A utilização de irrigação favoreceu a resposta do rendimento de grãos do híbrido utilizado ao incremento da população de plantas. Isso fica evidente quando observa-se que no tratamento sem irrigação, o aumento da densidade de plantas de 70 mil para 100 e 130 mil plantas.ha⁻¹, apresentaram pouca variação de produtividade, quando comparado as mesmas densidades com os tratamentos irrigados.

Além disso, o período de cultivo na época de safrinha e o híbrido utilizado ser de ciclo superprecoce, são dois fatores a serem considerados como cruciais para utilização de densidades de plantas mais elevadas, para esses aspectos (NASCIMENTO et al. 2011 e SILVA et al., 2010).

Desta forma, a utilização de densidades mais altas em relação às indicadas pelas empresas e as utilizadas pelos produtores deve ser considerada, principalmente pela época de semeadura, ciclo do híbrido e da utilização de irrigação suplementar.

4.3.7 Índice de colheita

O índice de colheita (IC) não foi alterado estatisticamente em razão das lâminas de irrigação testadas, onde apresentou em média 0,51. No apêndice V pode ser observado o quadro da ANOVA. Esta observação está de acordo com Parizi et al. (2009), que também não verificou diferença estatisticamente significativa para o IC em diferentes lâminas de irrigação utilizada no milho, onde constatou um valor médio de 0,54.

Entretanto, quando analisadas as diferentes densidades de plantas utilizadas, o IC foi influenciado estatisticamente. Na figura 17 apresenta-se o índice de colheita sob o efeito das densidades de plantas. O maior IC técnico foi estimado em 0,538 na densidade de 85 mil plantas.ha⁻¹.

Em desacordo com Brachtvonel et al. (2012), o índice de colheita não foi alterado com as diferentes densidades de plantas utilizada. Segundo Maddonni e Otegui (2006 apud Brachtvogel et al., 2012) o estabelecimento de hierarquias sob as diferentes densidades com as chamadas “plantas dominadas” diminui a capacidade de produzir fotoassimilados e conseqüentemente de aloca-los aos grãos, o que contribui para a diminuição do IC por produzirem menores quantidades de grãos. Os autores também constataram alterações no índice de colheita avaliando populações entre 30 a 150 mil plantas ha⁻¹.

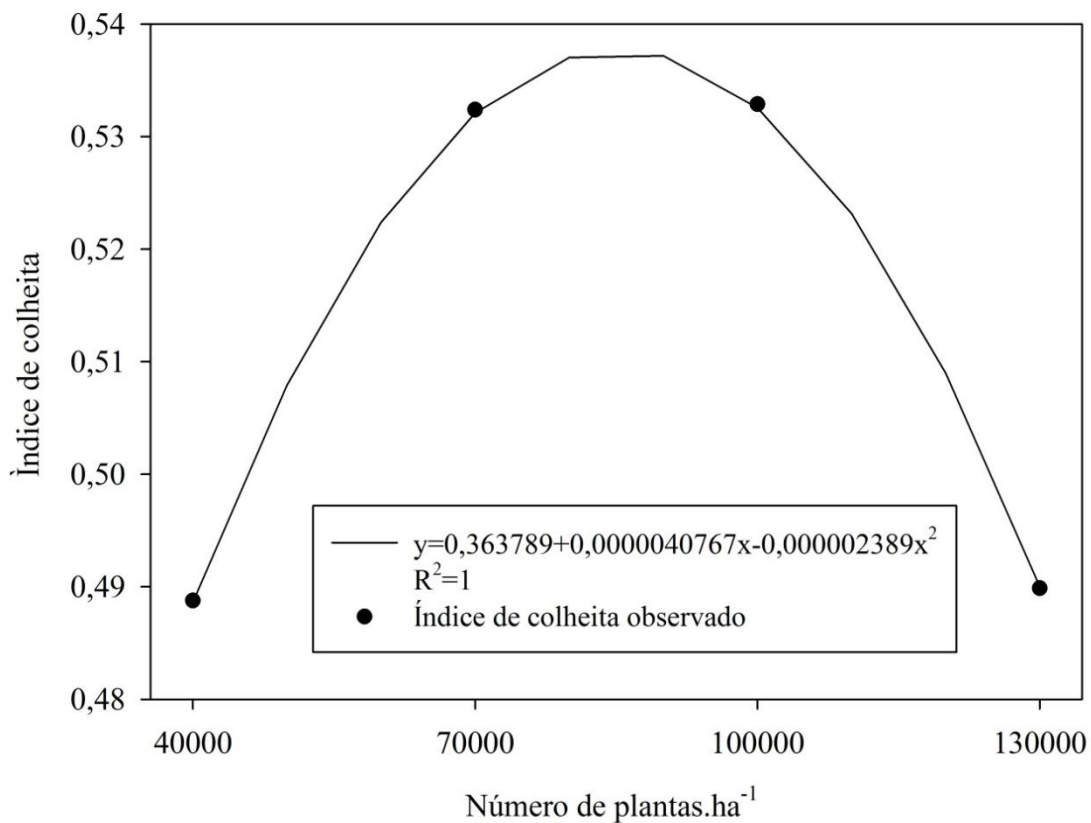


Figura 17 – Índice de colheita em resposta às diferentes populações de plantas.

4.4 Eficiência do uso da água

A resposta da eficiência no uso da água do milho sobre as lâminas de irrigação está representada na figura 18. Já no apêndice X pode-se observar a análise de variância e a análise suplementar.

A EUA é uma relação entre a quantidade de matéria seca (MS) produzida por área, com o total de água aplicado por área. Desta forma, na lâmina de 75% da Etc foi observado a maior EUA, com 2,77 kg.m⁻³.ha⁻¹. O aumento na lâmina de água acima, desta lâmina, diminuiu a EUA, principalmente nas lâminas de 100 e 125% da Etc que apresentaram 2,63 e 2,45 kg.m⁻³.ha⁻¹, respectivamente. Houve um comportamento quadrático do EUA em função do aumento da lâmina de irrigação. A maior eficiência técnica para o EUA foi estimada com a aplicação de uma lâmina de 43% da Etc, onde constatata-se uma EUA de 2,79 kg.m⁻³.ha⁻¹.

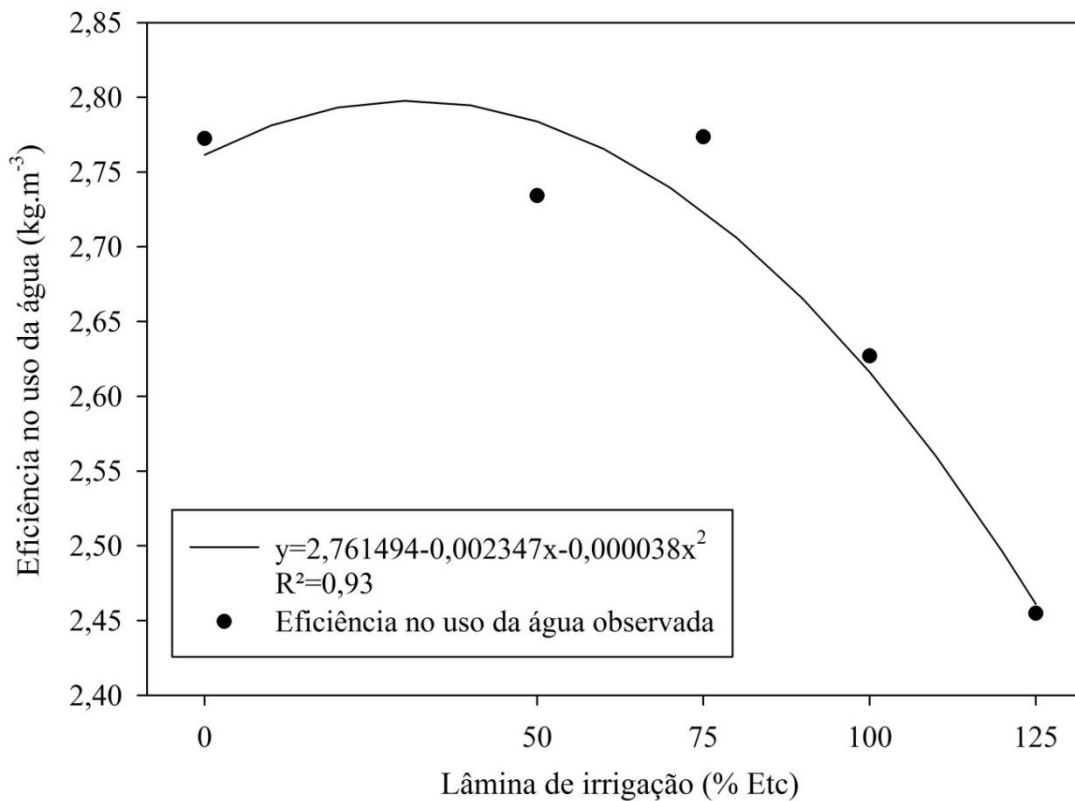


Figura 18 – Eficiência no uso da água pelo milho em relação às diferentes lâminas de irrigação impostas.

Observações de Blanco et al. (2011), obtiveram valor máximo de $2,22 \text{ kg.m}^{-3}.\text{ha}^{-1}$ para uma lâmina total aplicada de 165 mm e o mínimo de $0,97 \text{ kg.m}^{-3}.\text{ha}^{-1}$ para a lâmina de 494 mm, trabalhando com cinco lâminas de irrigação e doses de P_2O_5 em consórcio de milho verde e feijão-caupi no município de Teresina-PI.

Já Parizi (2009), trabalhando com cinco estratégias de irrigação 0%, 60%, 80%, 100% e 120% da ET_0 , em Santiago-RS, observou que a eficiência do uso da água apresentou os maiores valores $3,41 \text{ kg m}^{-3}.\text{ha}^{-1}$ e $3,46 \text{ kg m}^{-3}.\text{ha}^{-1}$ nos tratamentos 80% e 100% da ET_0 e o menor valor $3,0 \text{ kg.m}^{-3}.\text{ha}^{-1}$ foi obtido com 120% da ET_0 .

Por conseguinte, Souza et al. (2011), utilizaram cinco diferentes lâminas de água: 0%, 50%, 75%, 100% e 125% da ET_0 , nos cultivos de milho e de feijão-caupi consorciado na região de Petrolina – PE, e observaram que a eficiência do uso de água do milho plantio exclusivo, foram $0,46 \text{ kg.m}^{-3}$, $0,58 \text{ kg.m}^{-3}$, $0,67 \text{ kg m}^{-3}$, $0,72 \text{ kg.m}^{-3}$, $0,77 \text{ kg.m}^{-3}$ em função dos tratamentos citados, demonstrando que o incremento da lâmina da água proporcionou o aumento da EUA, sendo o maior valor obtido com a lâmina de 125 % da ET_0 .

A constatação de um alto volume de chuvas durante o período experimental pode ter diminuído a eficiência do uso da água principalmente nas lâminas maiores, pois, para sua obtenção leva-se em consideração o total de água aplicado (chuva mais irrigação), sendo a EUA inversamente proporcional a quantidade de água aplicada.

Quando observado a EUA para a densidade de plantas, nota-se através da figura 19 que conforme aumentou-se a densidade de plantas, o mesmo aconteceu com EUA. Havendo um comportamento linear. O maior valor foi encontrado na densidade de 130 mil plantas.ha⁻¹ (3,58 kg.m⁻³.ha⁻¹) e o menor valor na densidade de 40 mil plantas.ha⁻¹ (1,75 kg.m⁻³.ha⁻¹).

Essas observações ficam evidentes, pois, a EUA é uma relação entre a produção de MS com o total de água aplicado e como em todas as lâminas de irrigação a produção de MS apresentou o mesmo comportamento para cada densidade, a EUA segue proporcional à produção de MS.

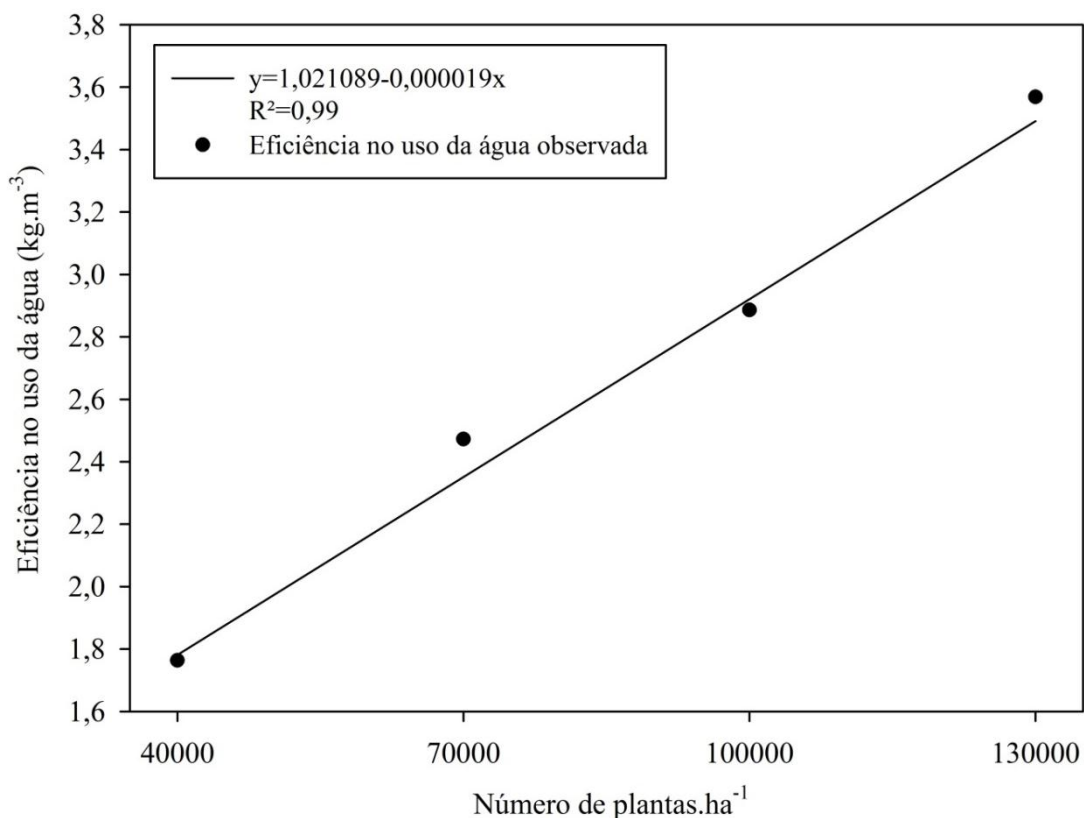


Figura 19 – Resposta do milho para a eficiência no uso da água em relação às densidades de plantas.

5 CONCLUSÕES

Tendo em vista a época de cultivo, o ciclo do híbrido utilizado, o local da realização do experimento e a metodologia empregada, pode se concluir que:

A maior produtividade de grãos é obtida na combinação da lâmina de irrigação de 100% da Etc, com a densidade de 130 mil plantas.ha⁻¹, onde observou-se uma produtividade de 15,25 t.ha⁻¹. Já a menor produtividade foi averiguada na combinação da lâmina de 0% da Etc com a densidade de 40 mil plantas.ha⁻¹, onde obteve-se 5,17 t.ha⁻¹.

O IAF sofreu influência das lâminas de irrigação somente a partir dos 112 DAE. Porém, para as densidades de plantas o IAF sofreu influência logo aos 28 DAE, estendendo-se até o final do ciclo do milho.

A maior massa de cem grãos foi obtida na lâmina de 100% da Etc. Já a densidade de 40 mil plantas.ha⁻¹ proporcionou maior massa de cem grãos.

A densidade de 70 mil plantas.ha⁻¹ e a lâmina de irrigação de 125% da Etc foi a combinação que apresentou maior número de grãos por espiga.

A utilização de irrigação suplementar é recomendada para maximizar a produtividade do milho safrinha para a região Fronteira Oeste do RS, pois sua utilização influenciou os componentes de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura com aumento expressivo da produtividade de grãos.

A adequação da densidade de plantas para cada lâmina de irrigação é um manejo a ser considerado, pois houve diferentes respostas das características avaliadas no milho, para as diferentes densidades de plantas em cada lâmina de irrigação.

A densidade de plantas é um fator decisivo no cultivo de milho safrinha, visto que, as alterações impostas afetaram consideravelmente as variáveis analisadas, principalmente a produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUZAR, R. et al. Effect Of Plant Population Densities On Yield Of Maize. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 21, n.4, p. 692-695, 2011.

AFFÉRI, F. S. et al. Espaçamento e densidade de semeadura para a cultura do milho, em plantio tardio, no estado do Tocantins; **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 128-133, jun. 2008.

ALMEIDA, B. M. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condições de salinidade residual**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012. 80f.

ALVES, A. S. **Necessidades hídricas da cultura do milho sob irrigação suplementar nas condições edafoclimáticas da Chapada do Apodi**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem. Área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Mossoró 2013. 66f.

ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida ‘Tahiti’ a diferentes níveis de irrigação**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ANDRADE, C. L. T. et al. **Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho**, EMBRAPA, circular técnica, Sete Lagoas, MG, Dezembro, 2006.

ANDRADE, F. H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. **Field Crops Research**, 41:1-12, 1995.

ANDRADE, F. H. et al. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 2, p. 453-459, 1999.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. Rio Grande do Sul, SEPLAG - Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã, 2011. Disponível em <http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho=819&cod_menu=817&tipo_menu=ECONOMIA&cod_conteudo=1492> Acesso em 05 mar. 2015.

BARBIERI, P. et al. Maize evapotranspiration and water-use efficiency in response to row spacing. **Agronomy Journal**, v. 104, p.4, p. 939-944, 2012.

BASSO, C. J. et al. Vinhaça como fonte de potássio: resposta da sucessão aveia-preta/milho silagem/milho safrinha e alterações químicas do solo na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.4, p.596-602, 2013.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H. et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

BERGONCI, J. I. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 7, p. 949-56, 2001.

BERLATO, M.A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Editora da Universidade. Porto Alegre, p.11-24. 1992.

BLANCO, F. F.; et al. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo

BRACHTVOGEL E. L. et al. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, V. 6, N.1, pág. 75, 2012.

BRACHTVOGEL, E. L. et al. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p.2334-2339, 2009.

BRACHTVOGEL, E. L. **Densidades e arranjos populacionais de milho e componentes agrônomicos**. (Dissertação de mestrado) Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, 2008.

BRUNS, H. A.; ABBAS, H. K. Ultra-High plant populations and nitrogenfertility effects on corn in the Mississippi Valley. **Agronomy Journal**, Vol. 97. N.4, p. 1136, 2005.

BUCHELE, F.A.; SILVA, J.A. da. **Manual prático de irrigação por aspersão em sistemas convencionais**. Florianópolis : EPAGRI, 1992. 81p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 58).

CALDARELLI, C. E.; BACCHI, M. R. P. Fatores de influência no preço do milho no Brasil. **Nova economia**, Belo Horizonte, v. 22, n. 1, p. 141-164, jan./abr. 2012.

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre, PRONI-IPH-UFRGS, 1986. 216p.

CONAB, Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, 2. 1 - Safra 2014/15, n. 6 - Sexto Levantamento, Brasília, p. 1-106, mar. 2015, Disponível em <<http://WWW.conab.gov.br>>acesso em 22 mar. 2015.

COSTA, J. R. da; PINHO, J. L. N. de; PARRY, M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.443-450, 2008.

COSTA, S. V. **Desenvolvimento e calibração de um mini-Tanque evaporimétrico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

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

CRUZ, J. C.; VERSIANI, R. P.; FERREIRA, M. T. R. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção,1). Disponível em http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/index.htm Acesso em 17 maio 2013.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. P. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 517 p.

CUNHA, G. R.; BERGAMASCHI, H. **Efeito da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. p.85-97.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yields response to water**. Rome: FAO, 1979. 306p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

EARL, H. J.; DAVIS, R. F. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. **Agronomy Journal**, v.95, p.688-696, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**/Centro Nacional de Pesquisas de Solos. - 2. ed. rev. atual. - Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

FANCELLI, A. L. Milho e feijão: **Elementos de manejo em agricultura irrigada**. Fertilirrigação: Algumas considerações. Piracicaba: ESALQ, p.156-167. 1991.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D. Características agronômicas e produtividade de cultivares de milho em diferentes espaçamentos entrelinhas e densidades populacionais. **Científica**, Jaboticabal, v.40, n.1, p.21-27, 2012.

FARSIANI, A.; GHOBADI, M. E.; HONARMAND, S. J. The effect of water deficit and sowing date on yield components and seed sugar contents of sweet corn (*Zea mays* L.). **African Journal of Agricultural Research**. Vol. 6(26), pp. 5769-5774, 2011.

FERREIRA, D. F. **Sisvar - sistema de análise de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.

FORSTHOFER, E. L. et al. Desempenho fenológico e agronômico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1341-1348, 2004.

FORSTHOFER, E. L. et al. Desempenho agronômico e econômico do milho em diferentes sistemas de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.399-407, 2006.

GOMES, H. P. Engenharia de Irrigação. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1997.

GOES, R. J. et al. Fertilizantes nitrogenados e densidades de semeadura para a cultura do milho irrigado no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.2, p. 128-137, 2013.

GROSS, M. R.; PINHO, R. G.; BRITO, A. H. Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.387-393, 2006.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo - exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 664-668, mar./abr. 2006.

IBGE – **Agricultura**. Disponível em < www.sidra.ibge.gov.br >. Acesso em 03 de novembro de 2013.

INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA O CULTIVO DE MILHO E DE SORGO NO RIO GRANDE DO SUL – SAFRAS 2013/2014 E 2014/2015. Pelotas: **Embrapa Clima temperado**, 2013. 179p.

KAPPES, C. et al. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p.334-343, 2011.

KAPPES, et al. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 251-259, 2009.

KUNZ, J. H. et al. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa agropecuária brasileira**, vol. 42, n. 11, Brasília, 2007.

LEAL, B. G.; **Caracterização da radiação, análise decrescimento e do desenvolvimento de milho (*Zea mays* L.) em três densidades de plantio**. 1993. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

LOOMIS, R. S.; CONNOR, D. J. **Crop ecology**: productivity and management in agricultural systems. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1992. p. 32-59.

LONG, Z. C. **Hybrid maize in China**. A success story. RAPA Eds by N. Chomchalow and H.V. Henke publications, Bangkok, Thailand. p. 16, 1995.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção do milho**. sete lagoas, MG: Ministério da agricultura pecuária e abastecimento, 2006. 10 p. (circular técnica 76).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 27 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 20).

MALAVIARACHCHI, M. A. P. W. K.; KARUNARATHNE, K. M.; JAYAWARDANE, S. N. Influence Of Plant Density On Yield Of Hybrid Maize (*Zea mays* L.) under supplementary irrigation. **The Journal of Agricultural Sciences**, vol.3, n.2, 2007.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (Boletim Fepagro, 10).

MATZENAUER, R. et al. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no estado do rio grande do sul. **Pesquisa agropecuária brasileira gaúcha**, Porto Alegre, v.1, n.2, p. 225-241, 1995.

MEDICI, L. O; REINERT, F.; CARVALHO, D. F.; KOZAKD M.; AZEVEDO, R. A. What about keeping plants well watered?. **Environmental and Experimental Botany**, v. 99 p.38–42, 2014.

MINUZZI, R. B.; RIBEIRO, A. J. Requerimento de água para irrigação do milho em Santa Catarina durante eventos La Niña. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.12, p.1330–1337, 2012.

MONNEVEUX, P.; ZAIDI, P. H.; SANCHEZ, C. Population density and low nitrogen affects yield. Associated Traits in Tropical Maize. **Crop Science**. V. 45(2), (2005).

MORAES, A. R. A. Instituto Agronômico de Campinas-Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras. **A cultura do milho verde**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/MilhoVerde/index.htm>. Acesso em: 9/5/2015.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Secretária da Agricultura, Porto Alegre, Brasil, 1961. 42p.

MUNDSTOCK, C.M.; SILVA, P.R.F. da. **Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2005. 51p.

MUNDSTOCK, C.M. **Densidade de semeadura de milho para o Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS; ASCAR, 1977. 35p. (Boletim Técnico, 1).

NASCIMENTO, F. M. Produtividade de genótipos de milho em resposta à época de semeadura. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.2, p. 193-201, 2011.

NASCIMENTO, R. Crescimento de plantas de sorgo sob diferentes disponibilidades de água no solo. **Revista Educação Agrícola Superior**. v.23, n.1,p.53-54, 2008.

NIED, A. H. et al. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.5, p.995-1002, 2005.

OHLAND, R. A. A.; et al. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.3, p.538-544, 2005.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**, Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2010.

PARIZI, A. R. C. et al. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 254-267, 2009.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONCA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande: v.4, n.3, p. 465-473, 2000.

PEAKE, A. S.; ROBERTSON M.J.; BIDSTRUP, R. **Optimising maize plant population and irrigation strategy on the darling downs: a simulation analysis**, 6th triennial conference, maize association of Australia, 2006.

PEGORARE A. B. et al. Irrigação suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto; **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.262–271, 2009.

PIANA, A. T. et al. Densidade de plantas de milho em semeadura precoce no Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, p.2608-2612, 2008.

PORTER, P. M.; et al. Corn response to row width and plant population in the northern corn belt. **Journal of Production Agriculture**, v.10, p.293-300, 1997.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Arquivo do Agrônomo**. nº 15. p. 01-20, 2003.

RIVERA-HERNANDEZ B, et al. Morphological quality of sweet corn (*Zea mays* L.) ears as response to soil moisture tension and phosphate fertilization. **Agric. Water Manage.** Campeche, Mexico, v. 97(9): 1365-1374, 2010.

SANGOI, L. et al. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.1, p.60-66, 2002.

SANGOI, L.; SCHIMITT, A.; ZANIN, C. G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, n.3, p. 263-271, 2007.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. da. **Densidade e arranjo populacional em milho**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/Densidade/Index.htm>.

SANGOI, L.; et al. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 271-276, 2001.

SANGAKKARA, U. R. P. et al. Plant populations and yield of rainfed maize grown in wet and dry seasons of the tropics. **Maydica**, v.49, p 83-88.2004.

SANTANA, M. O.; RIBEIRO, A.; SEDIYAMA, G.C. Sistema de geoespacialização da demanda de irrigação suplementar para o Estado de Minas Gerais II avaliação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.64-71, 2003.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p. 287-294, 1998.

SANTOS, P. G. et al. Avaliação do desempenho agrônomico de híbridos de milho em Uberlândia, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 597-602, maio 2002.

SCHLICHTING, A. F. **Cultura do milho submetida a tensões de água no solo e doses de nitrogênio**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós Graduação em Engenharia agrícola, Rondonópolis - MT, 2012

SERPA, M. S. et al. Densidade de plantas em híbridos de milho semeados no final do inverno em ambientes irrigados e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.4, p.541-549, 2012.

SILVA, A. G.; et al. Influência da população de plantas e do espaçamento entre linhas nos caracteres agronômicos do híbrido de milho P30K75 em Rio Verde, Goiás. **Bioscience Journal**, v.24, p.89-96, 2008.

SILVA, G. J. et al. **Produção de haploides androgenéticos em milho**. EMBRAPA Milho e Sorgo, 2009. 17p. (Documentos 81).

SILVA, P. R. F. et al. Adequação da densidade de plantas à época de semeadura em milho irrigado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v.9, n.1, p. 48-57, 2010.

SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F.; Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p.142-149, 2012.

SOUZA, P. M. de; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização de milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANADA, G. V. (Eds) **Tecnologia de produção do milho**. 20. Ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004, v. 1, p. 13-53, 2004.

SOUZA, L. S. B.; et al. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p.715-721, 2011.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222p.

STRECKER, L.R.; MAZA, A.; WINNIE, G.F. **Corn Oil – Composition, Processing and Utilization**. World Conference Proceedings Edible Fats and Oils Processing: Basic principles and modern practices, Edited by David R. Erickson. American Oil Chemists' Society, Champaign, 1990.

TKASU, A. T. et al. Desempenho agronômico do milho sob diferentes arranjos populacionais e espaçamento entrelinhas. **Revista Agrarian**, Dourados, v.7, n.23, p.34-41, 2014.

WAGNER, M. V. et al. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, V. 17, n. 2, p 170-179, 2013.

APÊNDICES

Apêndice A - Análise de variância da variável altura de plantas aos 14 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	75,6896	18,9224	1,040	0,399	32,81
Densidade	3	34,5167	11,5056	0,632	0,599	
Irri X Den	12	167,5268	13,9606	0,767	0,679	
erro	40	728,0456	18,2011			
Total corrigido	59	1005,7786				
Média geral	13,00					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice B - Análise de variância da variável altura de plantas aos 28 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	179,6693	44,9173	2,351	0,071	6,52
Densidade	3	46,1053	15,3684	0,804	0,499	
Irri X Den	12	83,4201	6,9517	0,364	0,969	
erro	40	764,2725	19,1068			
Total corrigido	59	1.073,4672				
Média geral	67,04					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice C - Análise de variância da variável altura de plantas aos 41 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,075777	0,018944	1,444	0,237	8,47
Densidade	3	0,040725	0,013575	1,035	0,387	
Irri X Den	12	0,087050	0,007254	0,553	0,865	
erro	40	0,524667	0,013117			
Total corrigido	59	0,728218				
Média geral	1,35					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice D – Análise de variância da variável altura de plantas aos 55 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,0397	0,0099	1,775	0,153	3,14
Densidade	3	0,0043	0,0014	0,258	0,855	
Irri X Den	12	0,0679	0,0057	1,011	0,457	
erro	40	0,2238	0,0056			
Total corrigido	59	0,3358				
Média geral	2,38					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice E - Análise de variância da altura de inserção da primeira espiga

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,0134	0,0034	1,182	0,333	4,64
Densidade	3	0,0117	0,0039	1,377	0,264	
Irri X Den	12	0,0255	0,0021	0,748	0,697	
erro	40	0,1137	0,0028			
Total corrigido	59	0,1644				
Média geral	1,15					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice F - Análise de variância do diâmetro de colmo

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	61,3684	15,3421	7,322	0,000*	7,53
Densidade	3	168,4131	56,1377	26,791	0,000*	
Irri X Den	12	15,8433	1,3203	0,630	0,804	
erro	40	83,8158	2,0954			
Total corrigido	59	329,4406				
Média geral	19,22					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Análise suplementar do diâmetro de colmo para o fator lâminas de irrigação

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc
b1	1	58,0745	58,0745	27,715	0,000*
b2	1	1,6159	1,6159	0,771	0,385
b3	1	0,6437	0,6437	0,307	0,583
Desvio	1	1,0344	1,0344	0,494	0,486
Erro	40	83,8158	2,0954		

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Análise suplementar do diâmetro de colmo para o fator densidades de plantas

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc
b1	1	164,517	164,517	78,514	0,000*
b2	1	3,631	3,631	1,733	0,196
b3	1	0,265	0,265	0,127	0,724
Desvio	0	0,000	0,000	0,000	0,000
Erro	40	83,816	2,095		

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice G - Análise de variância da massa da matéria seca da parte aérea

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	106,7747	26,6937	6,411	0,000*	10,42
Densidade	3	1425,4964	475,1655	114,124	0,000*	
Irri X Den	12	110,0779	9,1732	2,203	0,031*	
erro	40	166,5433	4,1636			
Total corrigido	59	1808,8923				
Média geral	19,58					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice H - Análise de variância do índice de área foliar aos 14 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,0112	0,0280	3,569	0,054	21,39
Densidade	3	1,1512	0,2878	1,894	0,130	
Irri X Den	12	0,0107	0,0009	1,137	0,359	
erro	40	6,0786	0,1520			
Total corrigido	59	60,5772				
Média geral	0,131					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice I - Análise de variância do índice de área foliar aos 28 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,13847	0,03462	0,564	0,690	20,27
Densidade	3	11,41363	3,80454	62,021	0,000*	
Irri X Den	12	0,62000	0,05167	0,842	0,608	
erro	40	2,45373	0,06134			
Total corrigido	59	14,62583				
Média geral	1,22					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice J - Análise de variância do índice de área foliar aos 41 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	1,1512	0,2878	1,894	0,130	14,07
Densidade	3	52,2640	17,4213	114,641	0,000*	
Irri X Den	12	1,0834	0,0903	0,594	0,834	
erro	40	6,0786	0,1520			
Total corrigido	59	60,5772				
Média geral	2,77					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice K - Análise de variância do índice de área foliar aos 55 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,3767	0,0942	0,565	0,690	10,35
Densidade	3	108,0342	36,0114	216,006	0,000*	
Irri X Den	12	1,0437	0,0870	0,522	0,888	
erro	40	6,6686	0,1667			
Total corrigido	59	116,1230				
Média geral	3,95					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice L - Análise de variância do índice de área foliar aos 71 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,3918	0,0980	0,619	0,651	10,74
Densidade	3	92,2226	30,7409	194,368	0,000*	
Irri X Den	12	1,1922	0,0994	0,628	0,806	
erro	40	6,3263	0,1582			
Total corrigido	59	100,1330				
Média geral	3,70					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice M - Análise de variância do índice de área foliar aos 84 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,5462	0,1366	0,640	0,637	13,23
Densidade	3	77,3771	25,7924	120,906	0,000*	
Irri X Den	12	1,0698	0,0892	0,418	0,947	
erro	40	8,5330	0,2133			
Total corrigido	59	87,5262				
Média geral	3,49					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice N - Análise de variância do índice de área foliar aos 96 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	1,0348	0,2587	1,088	0,375	14,88
Densidade	3	65,9395	21,9798	92,458	0,000*	
Irri X Den	12	1,2544	0,1045	0,440	0,937	
erro	40	9,5091	0,2377			
Total corrigido	59	77,5021				
Média geral	3,27					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice O - Análise de variância do índice de área foliar aos 112 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	3,4089	0,8522	2,636	0,048*	22,52
Densidade	3	36,6038	12,2013	37,736	0,000*	
Irri X Den	12	1,8847	0,1571	0,486	0,911	
erro	40	12,9333	0,3233			
Total corrigido	59	54,8307				
Média geral	2,52					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice P - Análise de variância do índice de área foliar aos 127 DAE

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,0804	0,0201	6,377	0,000*	21,76
Densidade	3	0,3916	0,1305	41,413	0,000*	
Irri X Den	12	0,0243	0,0020	0,644	0,792	
erro	40	0,1261	0,0032			
Total corrigido	59	0,6224				
Média geral	0,26					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice Q - Análise de variância do comprimento de espiga

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	26,8634	6,7158	7,645	0,000*	7,69
Densidade	3	25,9995	8,6665	9,866	0,000*	
Irri X Den	12	14,7323	1,2277	1,398	0,207	
erro	40	35,1373	0,8784			
Total corrigido	59	102,7325				
Média geral	12,19					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Análise suplementar do comprimento de espiga para o fator lâminas de irrigação

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc
b1	1	22,1639	22,1639	25,231	0,000*
b2	1	0,2116	0,2116	0,241	0,626
b3	1	2,1861	2,1861	2,489	0,123
Desvio	0	2,3018	2,3018	2,620	0,113
Erro	40	35,1373	0,8784		

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Análise suplementar do comprimento de espiga para o fator densidades de plantas

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc
b1	1	21,0940	21,0940	24,013	0,000*
b2	1	2,8471	2,8471	3,241	0,079
b3	1	2,0584	2,0584	2,343	0,134
Desvio	0	0,0000	0,0000	0,000	0,000
Erro	40	35,1373	0,8784		

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice R - Análise de variância do diâmetro de espiga

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	5,3810	1,3453	0,620	0,651	3,57
Densidade	3	7,4666	2,4889	1,148	0,342	
Irri X Den	12	18,9173	1,5764	0,727	0,717	
erro	40	86,7293	2,1682			
Total corrigido	59	118,4942				
Média geral	41,29					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice S - Análise de variância do número de espigas por planta

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,0223	0,0056	0,721	0,582	7,99
Densidade	3	0,7264	0,2421	31,393	0,000*	
Irri X Den	12	0,1688	0,0141	1,824	0,077	
erro	40	0,3085	0,0077			
Total corrigido	59	1,2260				
Média geral	1,09					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Análise suplementar do número de espigas por planta para o fator densidades de plantas

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc
b1	1	0,6174	0,6174	80,048	0,000*
b2	1	0,1084	0,1084	14,050	0,001*
b3	1	0,0006	0,0006	0,080	0,779
Desvio	0	0,0000	0,0000	0,000	0,000
Erro	40	0,3085	0,0077		

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice T - Análise de variância do número de grãos por espiga

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	13034,6571	3258,6643	3,750	0,011*	7,71
Densidade	3	48401,9457	16133,9819	18,565	0,000*	
Irri X Den	12	31320,4097	2610,0341	3,003	0,004*	
erro	40	34762,5716	869,0643			
Total corrigido	59	127519,584				
Média geral	382,11					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice U - Análise de variância da massa de cem grãos

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	41,3591	10,3398	5,443	0,0014*	4,63
Densidade	3	34,4726	11,4909	6,049	0,0017*	
Irri X Den	12	18,0321	1,5027	1,900	0,6567	
erro	40	75,9899	1,8997			
Total corrigido	59	169,8538				
Média geral	297,94					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Análise suplementar da massa de cem grãos para o fator lâminas de irrigação

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc
b1	1	28,4672	28,4672	14,985	0,000*
b2	1	10,0319	10,0319	5,281	0,027*
b3	1	0,8948	0,8948	0,471	0,496
Desvio	0	0,0000	0,0000	0,000	0,000
Erro	40	75,9899	1,8997		

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Análise suplementar da massa de cem grãos para o fator densidade de plantas

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc
b1	1	30,1340	30,1340	15,862	0,000*
b2	1	1,2499	1,2499	0,658	0,422
b3	1	3,0886	3,0886	1,626	0,210
Desvio	0	0,0000	0,0000	0,000	0,000
Erro	40	75,9899	1,8997		

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice V - Análise de variância da produtividade de grãos

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	41,6620	10,4155	18,514	0,000*	7,52
Densidade	3	358,9776	119,6592	212,701	0,000*	
Irri X Den	12	41,8496	3,4875	6,199	0,000*	
erro	40	22,5028	0,5626			
Total corrigido	59	464,9920				
Média geral	9,97					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice W - Análise de variância do índice de colheita

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,0065	0,0016	0,661	0,623	9,67
Densidade	3	0,0278	0,0093	3,791	0,018*	
Irri X Den	12	0,0271	0,0023	0,924	0,533	
erro	40	0,0976	0,0024			
Total corrigido	59	0,1589				
Média geral	0,51					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Análise suplementar do índice de colheita para o fator densidade de plantas

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc
b1	1	0,0000	0,0000	0,007	0,935
b2	1	0,0277	0,0277	11,367	0,002*
b3	1	0,0000	0,0000	0,000	0,991
Desvio	-1	0,0000	0,0000	0,000	0,000
Erro	40	0,0976	0,0024		

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Apêndice X - Análise de variância da eficiência no uso da água

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc	Coefficiente de variação (CV %)
Irrigação	4	0,87	0,22	2,84	0,04*	10,39
Densidade	3	25,71	8,57	111,27	0,00*	
Irri X Den	12	1,33	0,11	1,44	0,19	
erro	40	3,08	0,08			
Total corrigido	59	31,00				
Média geral	26,72					

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Análise suplementar da eficiência no uso da água para o fator lâminas de irrigação

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc
b1	1	0,5737	0,5737	7,449	0,009*
b2	1	0,2429	0,2429	3,153	0,083
b3	1	0,0304	0,0304	0,395	0,533
Desvio	1	0,0266	0,0266	0,345	0,560
Erro	40	3,0808	0,0770		

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro

Análise suplementar da eficiência no uso da água para o fator densidade de plantas

Causas da variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F Calculado (Fc)	Probabilidade Pr > Fc
b1	1	25,4684	25,4684	330,672	0,000*
b2	1	0,0031	0,0031	0,040	0,842
b3	1	0,2391	0,2391	3105,000	0,086
Desvio	0	0,0000	0,0000	0,000	0,000
Erro	40	3,0808	0,0770		

*significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro