



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



PAULO FERREIRA DA SILVA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO E DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO
CULTIVADO NO OUTONO/INVERNO EM BOTUCATU-SP**

BOTUCATU, SP

2018

PAULO FERREIRA DA SILVA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO E DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO
CULTIVADO NO OUTONO/INVERNO EM BOTUCATU-SP**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do Título de Doutor
em Agronomia – Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Cury Saad

BOTUCATU, SP
2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Silva, Paulo Ferreira da, 1980-
S586m Manejo da irrigação e da adubação nitrogenada no milho cultivado no outono/inverno em Botucatu-SP/ Paulo Ferreira da Silva. - Botucatu: [s.n.], 2018
89 p.: fots. color., grafs. color., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018
Orientador: João Carlos Cury Saad
Inclui bibliografia

1. Milho - Irrigação. 2. Milho - Adubação. 3. Milho - Produtividade. 4. Eficiência no uso da água. 5. Nitrogênio na agricultura. I. Saad, João Carlos Cury. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

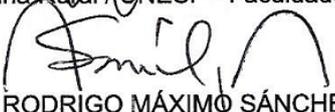
Título: **“MANEJO DA IRRIGAÇÃO E DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO CULTIVADO NO OUTONO/INVERNO EM BOTUCATU-SP”**

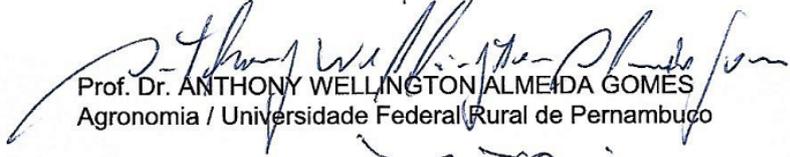
AUTOR: PAULO FERREIRA DA SILVA

ORIENTADOR: JOÃO CARLOS CURY SAAD

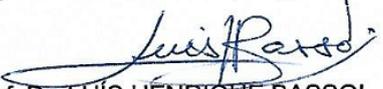
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD
Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN
Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. ANTHONY WELLINGTON ALMEIDA GOMES
Agronomia / Universidade Federal Rural de Pernambuco


Prof. Dr. FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ
Depto de Fitossanidade, Engenharia Rural / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - SP


Prof. Dr. LUÍS HENRIQUE BASSOI
Embrapa Instrumentação / EMBRAPA

Botucatu, 25 de outubro de 2018.

Dedico este trabalho aos meus pais Maria Augusta da Silva e Adolfo Ferreira da Silva (*in memoriam*), por todos os ensinamentos que foram fundamentais para minha educação e formação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter concebido a graça de ingressar no doutorado em uma universidade pública, e por ter sido minha fortaleza durante toda a vida acadêmica, não me deixando cair, nem desanimar nos momentos difíceis, me ajudando a vencer cada obstáculo e abençoando minhas conquistas.

A minha mãe Maria Augusta da Silva, que com sua simplicidade, foi educadora, me ensinado com amor e sabedoria, os valores éticos e morais necessários para ser um bom cidadão.

Aos meus irmãos e irmãs, cunhado, cunhadas, sobrinhos, demais parentes que sempre apoiaram em todas as fases da minha vida.

A minha noiva Ana Lúcia Teodoro, pelo companheirismo, apoio e incentivos.

Ao professor e orientador Dr. João Carlos Cury Saad pela credibilidade, ensinamentos, atenção, apoio e incentivos, contribuindo e tornando possível a conclusão deste trabalho.

A coordenação da Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem na pessoa do professor Dr. Rodrigo Máximo Sánchez Román, pelo apoio prestado aos docentes.

A todos os professores da Faculdade de Ciências Agrônômicas do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, que contribuíram para o aprendizado e qualificação profissional.

Aos Técnicos Agropecuários Gilberto Winckler e José Israel Ramos, e aos Assistentes de Suporte Acadêmico II Maury Torres da Silva e Ronaldo Alberto Pollo, pelo apoio e suporte técnico.

A todos os profissionais da FEPE (Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão) da FCA (Faculdade de Ciências Agrônômicas) pela atenção e disponibilidade de máquinas, implementos e insumos agrícolas que foram essenciais para a condução dos experimentos.

A equipe da biblioteca da UNESP *Campus* de Botucatu pelo acolhimento e manutenção do acervo e ambiente de pesquisa e estudo.

Aos funcionários da UNESP que mantiveram o ambiente sempre limpo, seguro e organizado proporcionando condições favoráveis ao bem estar do

ambiente de aprendizado.

A Petroisa pela doação de materiais de irrigação, fundamental para a realização do experimento ciclo 2016.

A Dow AgroCiencias pela credibilidade e incentivo à pesquisa, bem como pela doação de sementes de milho.

A NaaDanJain pelo apoio e incentivo à pesquisa e pela bonificação de materiais de irrigação do qual foi indispensável para realização do experimento ciclo 2017.

Aos amigos João Victor, Marcos Liodoro, Roberto Luvisutto, Henrique Oldone, Jannaylton Santos, Jéssica Mayara, Francielly Guieiro, Mara Rúbia, Renata Cuba, Cristiana Araújo, Maryjane Gomes, David Vitor, Jackson Silva, Josi Turatto, Golbery Rodrigues, Douglas Pinheiro, Jania Claudia e Dayane Ribeiro pelas inúmeras colaborações durante o período de execução do experimento e coletas de dados em campo.

A todos os colegas da pós-graduação em Irrigação e Drenagem pelo respeito, e vivência, paciência, incentivo e compartilhamento de experiências e conhecimentos.

Aos amigos Bruno Novaes, Rafael Bibiano, Fabrício Custódio e Rodrigo Faria pela boa convivência na república de estudantes.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos aqueles que acreditaram e torceram pela conclusão e sucesso desse trabalho.

A todos os brasileiros que contribuem com a educação pública de qualidade e que por meio destas, muitos sonhos de ser um profissional qualificado tornam-se realidade.

Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

Objetivou-se com esta pesquisa estudar o efeito dos fatores lâminas de irrigação e doses de adubação nitrogenada e sua interação sobre a produtividade da cultura do milho segunda safra. O experimento foi conduzido na Fazenda Lageado na área Experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, Campus de Botucatu, no ano agrícola de 2016. O delineamento usado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 5 com parcela subdividida, sendo cinco lâminas de irrigação, cinco doses de adubação nitrogenada e quatro repetições. A cultura em estudo foi o milho, cultivar híbrido 2A401, semeado manualmente nos espaçamentos de 0,2 x 0,85 m resultando em 58.823 plantas por hectare. Foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento com vazão de 1,2 L h⁻¹ e emissores espaçados a cada 0,2 m. As lâminas de irrigação foram representadas por W₁, W₂, W₃, W₄ e W₅, correspondendo a 50; 75; 100, 125 e 150% respectivamente, da reposição de água com base na ET_c diária. A adubação nitrogenada representadas por N₀, N₁, N₂, N₃, N₄, correspondentes a 0; 22,5; 45; 67,5 e 90 kg ha⁻¹ de N respectivamente, utilizando como fonte a uréia. A irrigação foi muito importante principalmente na fase reprodutiva devido à ocorrência de um veranico que durou 38 dias. A produtividade de grãos de milho foi de 11.726 Kg ha⁻¹ no nível W₃ para o tratamento lâmina de irrigação, e de 11.663 Kg ha⁻¹ no nível N₄ para o tratamento doses de adubação nitrogenada. Em ambos os tratamentos, a menor produtividade foi obtida utilizando os menores níveis. A lâmina de irrigação que proporcionou o maior rendimento foi com 100% de reposição de água com base na ET_c. Com base nos resultados obtidos do tratamento adubação nitrogenada, a dose de 90 Kg ha⁻¹ de N foi a que proporcionou o maior rendimento de grão de milho.

Palavras-chave: economia de água, irrigação suplementar, produtividade de grãos

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of the factors irrigation depths and nitrogen fertilization rates and their interaction on crop yield of second crop corn. The experiment was conducted at the Lageado Farm in the Experimental area of the Department of Rural Engineering of the Faculty of Agronomic Sciences - UNESP, Botucatu Campus, in the agricultural year of 2016. The design was in randomized blocks in a 5 x 5 factorial scheme with subdivided plot being five irrigation depths and five doses of nitrogen fertilization, with four replications. The crop under study was maize, hybrid cultivar 2A401, seeded manually at spacings of 0.2 x 0.85 m resulting in 58,823 plants per hectare. A drip irrigation system with a flow of 1.2 L h⁻¹ was installed with emitters spaced every 0.2 m. The irrigation depths were represented by W1, W2, W3, W4 and W5, corresponding to 50; 75; 100, 125 and 150%, respectively, of daily crop evapotranspiration (ET_c). Nitrogen fertilization represented by N0, N1, N2, N3, N4, corresponding to 0; 22.5; 45; 67.5 and 90 kg ha⁻¹ of N respectively, using as urea source. The irrigation was very important mainly in the reproductive phase due to the occurrence of a deficit period that lasted 38 days. The corn grain yield was 11,726 kg ha⁻¹ at the W3 level for the irrigation depth treatment, and 11,663 kg ha⁻¹ at the N4 level for the treatment of nitrogen fertilization rates. In both treatments, the lower productivity was obtained using the lower levels. The irrigation depth that provided the highest yield was with 100% of ET_c. Based on the results obtained from the nitrogen fertilization treatment, the dose of 90 kg ha⁻¹ of N provided the highest yield of corn grain.

Keywords: water saving, supplementary irrigation, grain yield

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
CAPÍTULO 1- MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CULTIVO DO MILHO (<i>Zea mays</i> L.) SEGUNDA SAFRA	19
1.1 INTRODUÇÃO	19
1.1.2 Manejo da irrigação.....	20
1.1.3 Adubação Nitrogenada.....	21
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	23
1.2.1 Caracterização da Área Experimental.....	23
1.2.2 Clima e Classificação do solo	23
1.2.3 Delineamento Experimental	24
1.2.4 Descrição do material e forma de semeadura.....	25
1.2.5 Descrição dos Tratamentos.....	26
1.2.6 Coeficiente de cultivo	27
1.2.7 Adubação nitrogenada	28
1.2.8 Colheita do milho	29
1.2.9 Determinação da Produtividade (kg ha ⁻¹)	30
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
1.4 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46
CAPÍTULO 2 – DETERMINAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DO MILHO (<i>Zea mays</i> L.) SEGUNDA SAFRA	49
2.1 INTRODUÇÃO	51
2.1.1 Fertilidade do solo.....	52
2.1.2 Irrigação	53
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	54
2.2.1 Caracterização da Área Experimental.....	54
2.2.2 Clima e Classificação do solo	54
2.2.3 Delineamento Experimental	56
2.2.4 Descrição do material e forma de semeadura.....	56
2.2.5 Descrição dos Tratamentos.....	57
2.2.6 Coeficiente de cultura	58
2.2.7 Adubação nitrogenada	58
2.2.8 Colheita do milho	59
2.2.9 Determinação da Produtividade (kg ha ⁻¹).....	60
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
2.4 CONCLUSÕES	78
REFERÊNCIAS (do capítulo 2)	79
CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
REFERÊNCIAS (da introdução geral)	85
ANEXO	87

INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays L.*) é um cereal historicamente conhecido, pesquisado, cultivado e consumido no mundo, seja na forma in natura como milho verde cozido ou assado, seja industrializado na forma de enlatados, farinha de milho ou flocão. Além de ser uma importante matéria prima para a alimentação humana, é fundamental na produção animal, na forma de farelos e ensilados.

O milho é o cereal com maior volume de produção no mundo, aproximadamente 1,05 bilhão de toneladas, sendo que os principais países produtores são, em ordem decrescente, Estados Unidos, China, Brasil e Argentina, que são responsáveis por 65% da produção mundial (FIESP, 2018). Neste cenário, o Brasil é o terceiro maior produtor e o segundo maior exportador de grãos de milho.

A demanda global por alimentos deve aumentar em mais de 70% até 2050 (TILMAN et al., 2011). A fim de minimizar a necessidade de expansão adicional das terras cultivadas, este aumento de produção precisa ser parcialmente obtido pela intensificação da produtividade da cultura, ou seja, maior produção por unidade de terra cultivada (MUELLER et al., 2012).

O crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas são influenciados por vários fatores e/ou pelas interações existentes entre eles. Para a minimização dos efeitos adversos da natureza no cultivo do milho, o preparo do solo, a adubação e irrigação são os fatores mais importantes que causam um aumento de acúmulo de biomassa seca e produtividade da cultura (MIKOVA; ALEXANDROVA e DIMITROV, 2013).

De acordo com Souza et al. (2011a), para aumentar a produtividade econômica do milho, é necessário manejar a adubação nitrogenada de modo que a quantidade de nitrogênio (N) fornecida pelo solo seja capaz de reduzir gastos desnecessários com o fertilizante.

Dentre os nutrientes mais requeridos pela cultura do milho, o N é o elemento de maior consumo e quando este é adicionado em quantidades ideais juntamente com a irrigação promove o aumento de produção (O'NEILL et al., 2004).

A falta de água para a cultura do milho pode promover uma redução no rendimento, mesmo em anos climaticamente favoráveis, se ocorrer um déficit hídrico no período crítico, ou seja, da pré-floração ao início de enchimento de grãos

(BERGAMASCHI et al., 2004). A minimização dessas perdas e a falta de água em períodos determinantes para produção podem ser supridas pelo uso da irrigação, mesmo em localidades em que a precipitação pluvial é bem distribuída ao longo do ano, na ocorrência de veranicos, a irrigação pode ser a alternativa ideal para evitar a redução da produtividade.

O cultivo do milho irrigado tem sido crescente, em rotação com outros cultivos, resultando no uso mais intensivo da área e de fertilizantes (PAVINATO et al., 2008). Ainda segundo estes autores, o aumento de áreas irrigadas permite incrementos na produção sem aumentar a área cultivada, pois o principal fator limitante da produtividade de grãos das culturas é a falta de água.

As culturas irrigadas devem ser planejadas para garantir maior retorno econômico e menor impacto ambiental, principalmente com o uso controlado de fertilizantes nitrogenados (LINK et al., 2006).

Com tantos fatores envolvidos como a disponibilidade de água, condições climáticas, disponibilidade de nutrientes presentes no solo e para alcançar alta produtividade para suprir demandas atuais e futuras, faz-se necessário o conhecimento da interação destes fatores bem como um manejo adequado que permita aumentar tanto a qualidade como a produtividade no cultivo do milho.

Objetivou-se com esta pesquisa estudar o efeito dos fatores lâminas de água, doses de adubação nitrogenada e sua interação sobre a produtividade do milho (*Zea mays L.*) segunda safra, cultivado nas estações outono/inverno.

CAPÍTULO 1- MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CULTIVO DO MILHO (*Zea mays L.*) SEGUNDA SAFRA

1.1 INTRODUÇÃO

O milho é uma das culturas mais estudadas e cultivadas no mundo, sendo produzido nas mais diversas regiões do Brasil. O milho pode ser cultivado em regiões onde as precipitações variam de 400 a 800 mm (Bernardo; Soares e Mantovani 2006). Ainda segundo estes autores, a variação de demanda hídrica está parcialmente associada à arquitetura foliar (ângulo da folha, altura e densidade), às características das folhas (números de estômatos e de horas de sua abertura), à duração do ciclo e à época de cultivo.

O Brasil tem se destacado como um dos maiores produtores de grãos do mundo com duas safras por ano em algumas regiões do país. A produção de milho tem contribuído significativamente para o aumento da produção de grãos seja cultivado no período denominado como primeira safra, seja no período conhecido como segunda safra que devido às tecnologias genéticas e de manejo, tem gerado altas produtividades.

O milho primeira safra é aquele cultivado em regiões cujo verão é chuvoso, enquanto o milho denominado segunda safra é cultivado entre as estações outono/inverno, normalmente em sucessão à cultura da soja, sendo um período caracterizado por menor ocorrência de chuva que no verão.

O milho tem grande papel na base alimentar de humanos na forma in natura e óleos, na suplementação de rações para animais e como fonte bioenergética. Greaves e Wang (2017) afirmam que a produção de milho desempenha um papel importante no desenvolvimento econômico e socioeconômico de muitos países devido à diversificação de suas utilizações: produtos alimentares e uma importante fonte de bioetanol.

Por assumir um papel tão importante na economia brasileira, inúmeros híbridos são cultivados em todas as regiões do país e em cada uma delas busca-se explorar o potencial genético inserido para poder alcançar o maior rendimento.

O rendimento das culturas de um modo geral depende de diversos fatores ambientais tais como temperatura, precipitação, fertilidade do solo, e fatores provenientes da própria cultura, tais como: o porte da planta, o potencial genético

dos híbridos, a densidade de plantas, nutrição mineral e manejo. Para Yi et al. (2010), dentre outros fatores, a produtividade das culturas está relacionada à captura de recursos, como água e luz, e a eficiência com a qual elas convertem esses recursos em materiais biológicos.

O conhecimento desses fatores que são limitantes à produção agrícola é de fundamental importância para utilização de novas práticas e tecnologias que visem o aumento da produtividade. Bergamaschi et al. (2004) destacam que o milho tende a expressar sua elevada produtividade quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja déficit hídrico.

Oliveira et al. (2016) enfatizam que após o déficit hídrico, a produção de grãos é afetada diretamente, pois a menor massa vegetativa possui menor capacidade fotossintética, e Bergamaschi et al. (2006) destacam a importância de estudos no impacto do déficit hídrico no período crítico da cultura de milho.

1.1.2 Manejo da irrigação

Para suprir a falta de chuva nos períodos críticos ou mesmo nos mais secos, utiliza-se a irrigação que associada às práticas de manejo adequadas e considerando as reais necessidades hídricas das plantas, é capaz de proporcionar um aumento na produtividade das culturas.

Para Bernardo; Soares e Mantovani (2006), a irrigação não deve ser considerada uma prática isolada, e sim uma parte de um conjunto de técnicas utilizadas para garantir a produção econômica de determinada cultura com adequado manejo. Para Souza et al. (2011b), adotar medidas que favoreçam o aumento da eficiência do uso da água sem que a produtividade das culturas sejam reduzida, é de fundamental importância.

Bilibio et al. (2010), descrevem a irrigação como sendo uma técnica disponível que tem o objetivo de fornecer água, principalmente na falta de chuva, permitindo o desenvolvimento das culturas, a qualidade do produto e a produtividade do cultivo. De modo geral, a irrigação traz evidentes vantagens para as culturas, favorecendo, ao máximo, a expressão dos seus potenciais produtivos (AZEVEDO e BEZERRA, 2008). Estes autores ainda afirmam que as chuvas raramente são suficientes para atender as necessidades hídricas das culturas durante o ano todo, sendo necessária uma complementação de água por meio da irrigação.

Quando se fala em irrigação, um dos maiores problemas ainda é o uso indevido da água, ou seja, a falta de um manejo adequado que considere o sistema utilizado e a necessidade específica de reposição de água às culturas. Segundo Carvalho e Oliveira (2012), a técnica da irrigação não pode ser confundida com molhação ou encharcamento do solo.

Chaudhry (2017) aborda essa problemática relatando que em muitas partes do mundo, o volume preciso de água aplicado em área agrícola não é medido, e que os agricultores, embora tenham um forte incentivo para aumentar os rendimentos ou os lucros por meio do uso de irrigação, podem não ter um forte incentivo para maximizar a eficiência do uso da água, especialmente quando não há preço marginal para a água.

Sobre as perdas e manutenção de água no sistema agrícola, Montenegro, Bezerra e Lima (2004) descrevem que a água que a planta necessita é contabilizada pela perda para a atmosfera por meio da evapotranspiração, e que o seu suprimento pode ser por meio de chuva ou irrigação, de forma que não comprometa o desenvolvimento e o rendimento das culturas.

Sobre economia de água, Marouelli e Silva (2012) destacam que a irrigação por gotejamento molha somente a parte do solo próximo do sistema radicular. Vilas Boas et al. (2011) destacam que além de reduzir a quantidade de água aplicada, permitem que os fertilizantes possam ser aplicados na água de irrigação, com precisão e utilizando automação.

Uma maneira de estimar a necessidade de água pelas espécies é pelo estudo de diferentes lâminas de irrigação (AZEVEDO; BEZERRA, 2008). Tão importante quanto saber a necessidade hídrica da cultura, é saber o quanto ela está sendo eficiente no uso da água. De acordo com Chaudhry (2017), o uso e eficiência da água (UEA) fornecem informações a lâmina de água a aplicar sem alterar a produção, mantendo as quantidades de outros insumos utilizados.

1.1.3 Adubação Nitrogenada

O estado nutricional da planta é um dos elementos de fundamental importância em todo processo produtivo. O nitrogênio (N) tem sido o nutriente mais utilizado e estudado na cultura do milho, promovendo aumento de produtividade, em virtude das altas respostas encontradas (COSTA et al., 2012). Este elemento desempenha

no milho papel fundamental como constituinte essencial dos aminoácidos principais integrantes de proteínas (GONÇALVES; SILVA e BRANDÃO, 2016).

Em relação à nutrição das plantas, o N é de grande importância no manejo da cultura do milho, que é altamente responsivo na produção, sendo aplicado em quantidades consideráveis na adubação de cobertura (DHITAL e RAUN, 2016). Corroborando com os autores supracitados, Mota et al. (2015) afirmam que a ureia tem sido o fertilizante nitrogenado mais utilizado nas plantações de milho, devido ao seu custo benefício por unidade de nutriente, associada à eficiência agrônômica e a uma grande amplitude de aplicação, de 50 a 200 kg ha⁻¹.

O manejo da fertilidade do solo é um dos fatores que pode aumentar o rendimento do milho, principalmente com o uso da adubação nitrogenada (VIEIRA FONTOURA e BAYER, 2009). Para Dhital e Raun (2016), o N é necessário para maximizar os rendimentos de grãos e com o aumento de área destinada à produção de milho, aumentou o uso do fertilizante nitrogenado. O uso de ureia como fonte de N aplicada na adubação de cobertura sem incorporação pode ocasionar em perdas do nutriente por volatilização (MOTA et al., 2015).

As perdas do N por volatilização são consideradas um dos maiores problemas na eficiência de aplicação deste fertilizante, de forma que Dhital e Raun (2016) enfatizam a importância de determinar o tempo ideal, a taxa e o método de aplicação de fertilizantes nitrogenados para a cultura do milho, visando minimizar as suas perdas.

Considerando a disponibilidade hídrica para a cultura, bem como a grande demanda por fertilizante nitrogenado, objetivou-se com este trabalho determinar um manejo adequado para a cultura do milho irrigado, estabelecendo uma combinação de lâmina de irrigação e dose de adubação nitrogenada capaz de promover o melhor rendimento de grãos para a cultura do milho segunda safra.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Lageado na área Experimental (Figura 1) do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Campus de Botucatu, situado na Região Centro Oeste no Estado de São Paulo, coordenadas geodésicas 22°51'07" Sul, 48°25'45,07" Oeste, altitude de 764 m, no período de 09 de abril a 16 de outubro de 2016.

Figura 1. Caracterização e localização da área experimental.



1.2.2 Clima e Classificação do solo

O clima segundo os critérios de (Köppen e Geiger, 1936), é classificado como Cfa, caracterizado pelo clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com chuva no verão e seca no inverno, com médias anuais de 22°C de temperatura, 73,9% de umidade relativa do ar e precipitação pluvial média anual de 1.501,4 mm. O solo é classificado como Nitossolos Vermelhos Distroféricos (EMBRAPA, 2013).

Foram coletadas amostras de solo da área experimental nas camadas de 0-20 e 20-40 cm e encaminhadas ao laboratório para realizar a análise química do solo Tabela 1. Para obtenção da curva de retenção de água no solo, as amostras foram

coletas com anel volumétrico (anel de Kopeck) de bordas cortantes e capacidade volumétrica conhecida. As amostras foram saturadas em laboratório, colocadas em câmaras especiais chamadas de extratores de Richards e aplicou-se pressão de ar, induzindo a saída de água da amostra para a placa porosa e desta para atmosfera livre.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental

Prof.	pH CaCl ₂	M.O g/dm ³	P _{resina} mg/dm ³	Al ³⁺ -----	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S mg/dm ³
						-----mmol _c /dm ³ -----						
0-20	4,5	25	13	1	60	1,6	9	12	23	83	28	56
20-40	4,6	32	11	2	56	0,5	14	14	29	85	34	27

Fonte: Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA, UNESP.

De acordo com os dados da Tabela 1, foi aplicado o equivalente a 5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico com poder de redução de neutralização total (PRNT) de 70%, 25 dias antes da semeadura para corrigir a acidez do solo, e mais uma gradagem para incorporar o calcário ao solo. A calagem foi realizada com a finalidade de neutralizar o Al³⁺ trocável, assegurar os teores adequados da relação Ca e Mg, saturação por base, e aumentar o pH, possibilitando melhor disponibilidades de nutrientes para as plantas.

1.2.3 Delineamento Experimental

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 5 com parcela subdividida, sendo constituídos das combinações de cinco lâminas de irrigação nas parcelas e cinco doses de adubação nitrogenada nas subparcelas, com quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais e 100 subparcelas. Cada parcela media 4,25 m de largura por 15 m de comprimento correspondendo a 63,75 m² de área. As subparcelas mediam 4,25 m de largura por 3 m de comprimento. O espaçamento entre as linhas de plantas foi de 0,85 m, sendo que cada parcela e subparcela continham seis linhas de plantas.

A área útil da subparcela foi de 1 m², definido entre as duas linhas centrais de plantas. As demais plantas das linhas centrais mais as outras duas linhas de plantas de cada lado da subparcela não foram avaliadas por constituírem a bordadura.

1.2.4 Descrição do material e forma de semeadura

O experimento foi conduzido com milho (*Zea mays L.*), cultivar 2A401 da Dow AgroSciences[®], em função da adaptação deste híbrido ao cultivo de segunda safra. Durante a semeadura foi realizada a adubação no sulco de semeadura utilizando 300 kg ha⁻¹ do fertilizante NPK 04-30-10. A semeadura ocorreu no dia 09/04/2016 e foi realizada manualmente com o auxílio de um gabarito de madeira perfurada a cada 0,2 m, utilizado como referência para possibilitar a uniformidade de espaçamento de sementes, com o espaçamento de 0,85 m entre linhas, resultando ao equivalente a 58.824 plantas por hectare.

Foi instalado um sistema de irrigação localizada por gotejamento, utilizando a fita gotejadora não autocompensante modelo Tiquira do fabricante Petroisa, com diâmetro interno de 16 mm, vazão do emissor de 1,2 L h⁻¹ na carga de pressão nominal 7 mca de acordo com o fabricante, e emissores espaçados a cada 0,2 m.

Foi instalado um filtro de tela de 1.1/2", de 130 micron (120 mesh), precedido de uma válvula de linha com curva de derivação engate rápido para controlar a pressão de serviço do sistema, uma vez que a cada desligamento da distribuição de água de um conjunto de parcelas referentes ao mesmo tratamento, ocasionava um aumento de pressão no sistema, detectado por um manômetro instalado após o filtro.

Para controlar as diferentes lâminas de irrigação adaptou-se registros na entrada de cada parcela, possibilitando irrigar simultaneamente todas as unidades experimentais pertencentes ao mesmo tratamento.

O controle da pressão foi, portanto, realizado manualmente abrindo a válvula de linha com curva de derivação toda vez que era desligado o fornecimento de água de um conjunto de parcelas. Assim, a pressão de água no sistema com as 4 últimas parcelas, foi mantida semelhante àquela quando se tinha 20 parcelas do início de cada irrigação.

Como o espaçamento dos emissores foi de 0,20 m, cada planta foi irrigada por um emissor localizado próximo ao colmo, para minimizar possíveis competições por água entre as plantas (Figura 2).

Figura 2. Fita gotejadora instalada na área contendo um emissor para cada planta.



1.2.5 Descrição dos Tratamentos

Foram utilizadas cinco diferentes lâminas de irrigação representadas por W_1 , W_2 , W_3 , W_4 e W_5 , referentes aos tratamentos primários correspondendo à reposição de 50, 75, 100, 125 e 150%, respectivamente, da evapotranspiração da cultura (ET_c) diária.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi obtida diariamente pelo método de Penman-Monteith, utilizando dados fornecidos pela estação meteorológica da FCA-UNESP, localizada a 550 m da área experimental.

A metodologia de Penman-Monteith utilizada para calcular a ET_o foi parametrizada no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

em que:

ET_o = evapotranspiração de referência, $mm \ d^{-1}$;

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$;

R_n = saldo de radiação à superfície, $\text{MJ m}^2 \text{ s}^{-1}$;

G = fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^2 \text{ s}^{-1}$;

γ = constante psicrométrica, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$;

T = temperatura média do ar, $^\circ\text{C}$;

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, m s^{-1} ;

e_s = pressão média de vapor de saturação, kPa ;

e_a = pressão real de vapor, kPa ;

$(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor, kPa .

1.2.6 Coeficiente de cultivo

O coeficiente de cultivo (K_c) é um fator de proporcionalidade entre a evapotranspiração de uma cultura (E_{Tc}) e a evapotranspiração da cultura de referência (E_{To}). A demanda hídrica da cultura é diferenciada de acordo com a sua fase fenológica, necessitando de um K_c específico para cada uma das fases.

Allen et al. (1998) adotaram quatro fases distintas para definir diferentes valores de K_c : Fase I, que é o estágio inicial que vai do plantio até aproximadamente 10% da cobertura vegetal, sendo sua duração altamente dependente da cultura, variedade, data de plantio e do clima; Fase II, que ocorre de 10% da cobertura do solo até a cobertura completa efetiva que para muitas culturas acontece na iniciação do florescimento; Fase III, que ocorre da cobertura completa efetiva ao começo da maturação; Fase IV, que é o estágio final, ocorrendo desde o começo da maturação até a senescência.

O K_c varia de acordo as condições ambientais e fase de desenvolvimento das culturas, motivo pelo qual, cada cultura deve ter um K_c específico para cada localidade. Quando não há um K_c específico obtido, pode-se utilizar o de referência proposto por Allen et al. (1998), Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente de cultivo (Kc) de referência para a cultura do milho e os respectivos tempos de duração por fase.

Fases	Inicial	Desenvolvimento	Intermediária	Final
Kc	0,3	1,2	1,2	0,35
Dias	20	35	40	30

Fonte: Food and Agriculture of the United Nations – FAO 56, (ALLEN et al., 1998)

Com os dados de ETo obtidos por meio da estação meteorológica e com o Kc proposto pela Allen et al. (1998), foi possível determinar a evapotranspiração da cultura ETc por meio da equação 2.

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (2)$$

em que:

ETc = evapotranspiração da cultura, mm;

ETo = evapotranspiração de referência, mm;

Kc = coeficiente de cultivo, adimensional.

A eficiência do sistema de irrigação por gotejamento foi de 90%, e foi considerada a precipitação efetiva pelo fato da ocorrência de chuva durante o período de execução do experimento. O turno de irrigação foi diário e a lâmina de irrigação era variável conforme a ETc e o nível de tratamento.

1.2.7 Adubação nitrogenada

Para a adubação de cobertura, foi utilizada a ureia convencional com 45% de N. A adubação nitrogenada foi aplicada de forma fracionada sendo 50% da quantidade de adubo aplicada na fase de desenvolvimento vegetativo V4 e os outros 50% na fase V8, correspondendo aos 18 e 38 dias após semeadura (DAS), respectivamente. As doses de adubação nitrogenada adotadas foram representadas por (N₀, N₁, N₂, N₃, N₄), correspondentes a 0; 22,5; 45; 67,5 e 90 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. A distribuição do fertilizante foi realizada manualmente, a lanço, e depositado próximo à área de maior concentração de raízes das plantas (Figura 3).

Figura 3. Adubação nitrogenada do milho realizada a lanço na fase de desenvolvimento vegetativo V8.



1.2.8 Colheita do milho

A colheita do milho foi realizada manualmente no dia 16 de outubro de 2016, aos 190 dias após a semeadura (DAS), quando sob condições naturais de secagem do milho na planta, os grãos atingiram 15% de umidade. Em cultivo comercial, normalmente o milho é colhido entre 140 e 160 (DAS) com 22 a 20% respectivamente, de umidade nos grãos.

Simultaneamente à colheita, foi realizada a biometria das plantas analisando as variáveis alturas de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo. A altura de planta foi aferida com auxílio de uma fita métrica graduada considerando a distância entre a superfície do solo e o pendão da planta.

Da mesma forma, a altura de inserção da espiga foi determinada medindo-se a distância entre o solo e a inserção da espiga no colmo. O diâmetro do colmo foi medido com o auxílio de um paquímetro digital no primeiro internódio da planta rente ao solo.

Durante a colheita, as espigas de milho foram descascadas e armazenadas em sacos identificados. Logo após a colheita, foi realizada a biometria da espiga, sendo

medido o comprimento da espiga por meio de uma fita métrica graduada, o diâmetro da espiga por meio de um paquímetro digital e a contagem do número de fileiras de grãos e o número de grãos por fileira de cada espiga.

Após a biometria da espiga, foi realizada a debulha do milho, fazendo-se uso de um debulhador de milho manual, para manter o controle e aproveitar ao máximo os grãos de cada tratamento, para a determinação da produtividade de milho.

1.2.9 Determinação da Produtividade (kg ha^{-1})

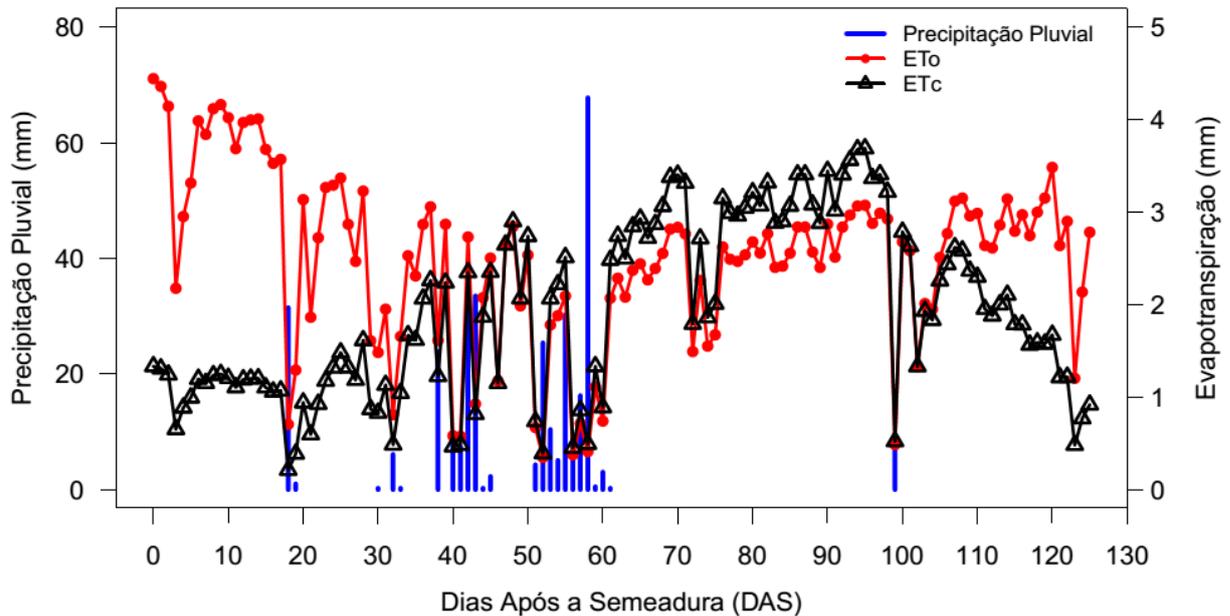
A produtividade de grãos foi determinada mediante a pesagem dos grãos de todas as espigas existentes em cada subparcela. Este resultado em kg foi dividido pelo respectivo número de plantas contidos em cada subparcela, obtendo-se o peso médio de grãos por planta e posteriormente extrapolado para área de um hectare (10.000 m^2), considerando a densidade de 50.000 plantas restantes, uma vez que houve uma falha de 15% em relação à quantidade inicial. A determinação de rendimento foi obtida quando os grãos atingiram 13% de umidade.

Para a análise estatística e a análise de variância, foi utilizado o software R Core Team (2016), em que na análise de variância foi usado o teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro. As médias foram submetidas ao teste de Tukey com probabilidade de erro de 5%.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período de irrigação diária do experimento foi do dia 09/04 a 12/08/2016, totalizando 125 dias. Durante este período, a ETo acumulada foi de 315 mm, a ETc de 242 mm e houve 328 mm de precipitação pluvial (Figura 4).

Figura 4. Precipitação pluvial, evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração da cultura (ET_c) durante o período de irrigação do milho, de 09/04 a 12/08/2016.



Na Figura 4, nota-se a ocorrência de eventos de precipitação pluvial durante o ciclo de cultivo. No final da fase de desenvolvimento da cultura e início da fase reprodutiva, por volta dos 40 a 60 dias, observa-se a ocorrência de diversas chuvas, o que ocasionou um período de interrupção da irrigação.

Observa-se que de 61 a 98 DAS, não houve ocorrência de chuva, ou seja, período crítico para a cultura pois demanda de maior quantidade de água para o florescimento, formação de espigas e enchimento de grãos. É neste período que a complementação de água por meio da irrigação torna-se essencial para promover um desenvolvimento ininterrupto dos componentes de rendimento do milho.

Nota-se ainda na Figura 4 que a ET_o durante o período de maior demanda hídrica da cultura foi menor que a ET_c, justamente pelo fato do valor do K_c ser maior que 1 neste período.

Quando o K_c é determinado, permite calcular a lâmina de água ideal para cada fase fenológica da cultura, sem causar danos por estresse hídrico provenientes de excesso ou falta de água, que pode ser determinante no processo produtivo das culturas.

Na Tabela 3 são exibidos os valores das lâminas médias diárias aplicadas, lâminas aplicadas por meio da irrigação em todo o ciclo, precipitação pluvial,

precipitação efetiva e lâminas totais aplicadas ao longo do ciclo da cultura correspondentes a cada nível de irrigação.

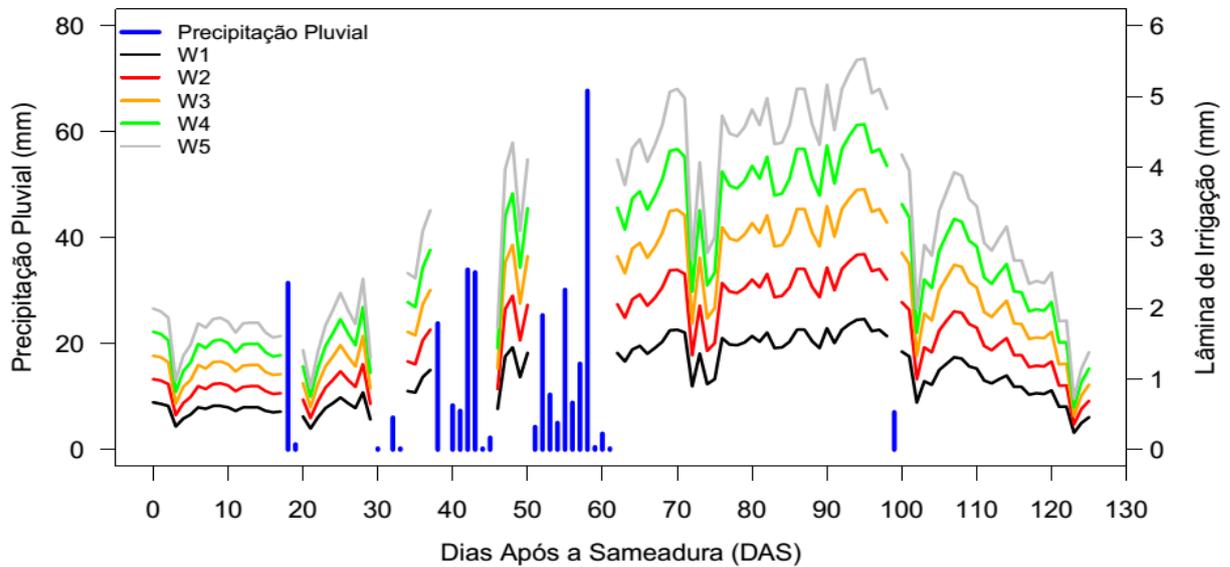
Tabela 3 Valores das lâminas de irrigação aplicadas e precipitação pluvial ocorridas de 09/04 a 12/08/2016

Níveis de Tratamento (% da ETc)	Lâmina média aplicada (mm/d)	Lâmina aplicada via irrigação (mm)	Precipitação pluvial (mm)	Precipitação efetiva (mm)	Lâmina total aplicada (mm)
50	1,3	108		57	165
75	1,6	161		45	206
100	2,2	215	328	27	242
125	2,3	268		22	290
150	2,8	322		22	344

Fonte: Dados da pesquisa.

A precipitação pluvial acumulada durante o período de execução do experimento foi de 328 mm, e a precipitação efetiva variou em função do déficit acumulado de cada tratamento. A lâmina total aplicada foi composta pela soma da lâmina aplicada via irrigação e precipitação efetiva de cada tratamento. A lâmina média aplicada é a razão entre a lâmina total aplicada e o número de dias correspondentes ao período de observação.

A irrigação foi interrompida a cada ocorrência de chuva, e retomada após se realizar o balanço entre a ETc e a precipitação efetiva, para cada tratamento (Figura 5).

Figura 5. Precipitação pluvial e os níveis de irrigação utilizadas de 09/04 à 12/08/2016.

Os componentes de rendimento tais como a altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, diâmetro da espiga, comprimento da espiga, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e número de grãos por espiga, foram submetidos a análise de variância, do qual resultou nos dados médios referentes aos fatores lâmina de irrigação e doses de adubação nitrogenada conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), diâmetro da espiga (DE), comprimento da espiga (CE), número de fileiras da espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF) e número de grãos por espiga (NGE)

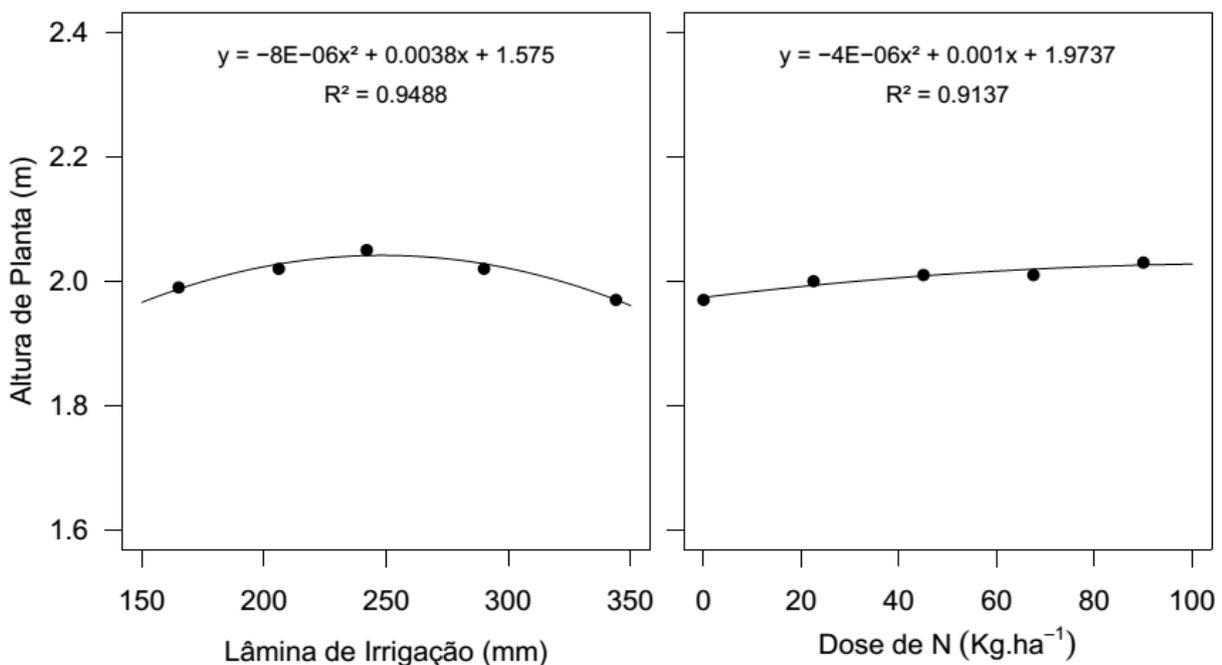
Lâminas de Irrigação (mm)	AP (m)	AIE (cm)	DC (mm)	DE (mm)	CE (cm)	NFE	NGF	NGE
165	1,99 ab	86,7	24,26	51,70	16,9	16,0	31,3	500
206	2,02 ab	87,0	24,52	52,03	17,1	16,3	31,6	511
242	2,05 a	87,2	24,54	52,11	17,2	16,4	31,7	514
290	2,02 ab	86,8	24,43	51,96	17,1	16,2	31,6	511
344	1,97 b	86,0	23,97	51,64	17,0	16,2	31,4	499
P-valor	0,03	0,97	0,87	0,89	0,55	0,15	0,66	0,25
Doses de N (Kg ha ⁻¹)	AP (m)	AIE (cm)	DC (mm)	DE (mm)	CE (cm)	NFE	NGF	NGE
0	1,97	83,9 b	23,82 b	51,55	16,79	16,13	30,9	499
22,5	2,00	85,8 ab	23,97 ab	51,58	16,97	16,19	31,4	504
45	2,01	87,4 ab	24,39 ab	51,78	17,07	16,22	31,7	509
67,5	2,01	87,9 ab	24,46 ab	51,99	17,20	16,24	31,8	511
90	2,03	88,3 a	25,06 a	52,53	17,20	16,24	31,9	512
P-valor	0,12	0,01	0,03	0,24	0,15	0,96	0,18	0,64

P-valor = probabilidade de significância;

Médias seguidas de letras iguais, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No campo, as variáveis analisadas foram altura de planta, altura de inserção da espiga e o diâmetro do colmo, mensurados no momento da colheita. O tratamento lâmina de irrigação foi estatisticamente significativo ao teste de Tukey a 5%, com a maior média de altura de planta obtida no nível W3, correspondente a reposição de água de 100% da ETc, com valor de 2,05 m e o valor mínimo de 1,97 m no nível W5, correspondente a 150% da ETc. O tratamento adubação nitrogenada, não foi estatisticamente significativo ao teste de Tukey a 5%, e a melhor resposta foi obtida no nível N4 correspondente a 90 Kg ha⁻¹ de N com altura máxima de planta de 2,03 m e mínima de 1,97 m no nível N1, com 22,5 Kg ha⁻¹ de N (Figura 6).

Figura 6. Médias da altura de plantas de milho em função dos tratamentos lâminas de irrigação e adubação nitrogenada.

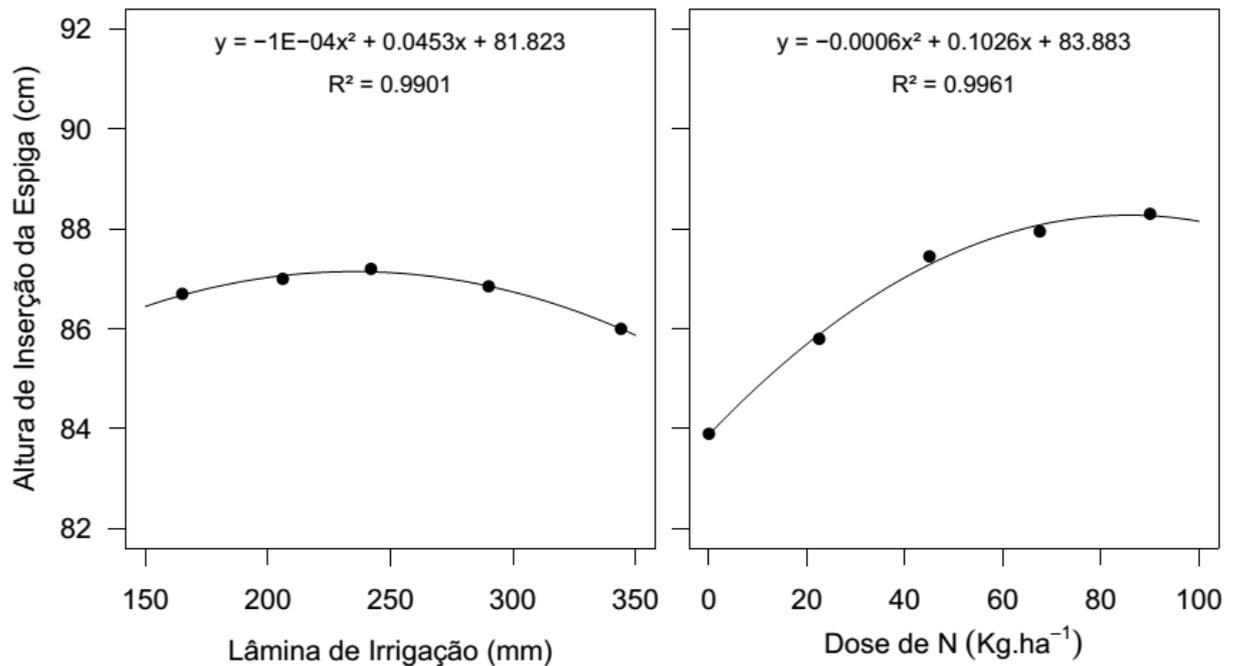


Almeida et al. (2017) trabalhando com quatro diferentes lâminas de irrigação na cultura do milho constataram que as alturas das plantas apresentaram relação diretamente proporcional com o volume de água consumido no ciclo da cultura.

A variável altura de inserção da espiga não foi estatisticamente significativa ao teste de Tukey a 5%, com valor máximo foi de 87,2 cm e o mínimo foi de 86,7 cm para os níveis W3 e W5, correspondendo a reposição de água equivalentes a 100 e 150% da ETc, respectivamente. O tratamento adubação nitrogenada foi

estatisticamente significativo ao teste de Tukey a 5%, com valores de 83,9 e 88,3 cm de altura de inserção da espiga, encontrados nos níveis N0 e N4 correspondentes a 0 e 90 Kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 7).

Figura 7. Médias da altura de inserção da espiga em função dos tratamentos lâminas de irrigação e adubação nitrogenada.

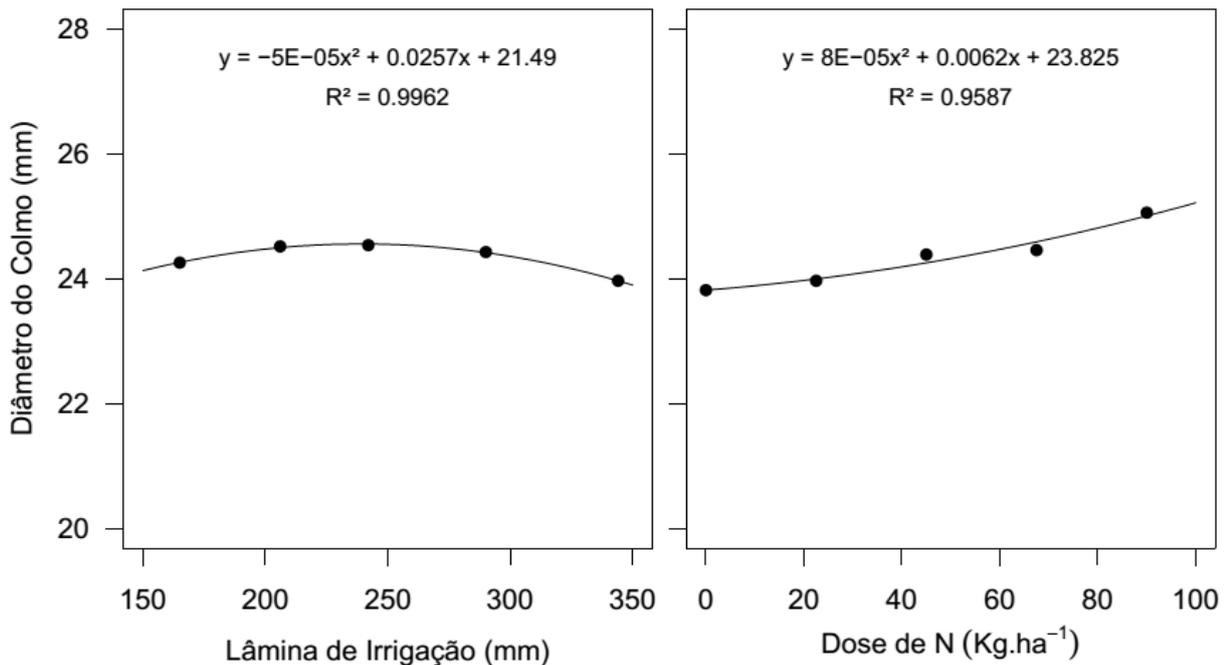


Observa-se que na Figura 7, que a partir de 100% da reposição de água da ETc, a altura de inserção da espiga diminui na medida que aumenta a lâmina de água. Para a adubação nitrogenada, os níveis correspondentes a 67,5 e 90 Kg ha⁻¹ possuem valores próximos, com uma tendência de estabilizar na a altura de inserção da espiga na dose máxima utilizada nesta pesquisa. Gonçalves, Silva e Brandão (2016) encontraram alturas de inserção da espiga a 106, 118, 131 cm para os níveis 0, 40 e 80 Kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Embora as doses de adubação nitrogenada adotadas tenham sido semelhantes àquelas utilizadas nesta pesquisa, as alturas de inserção da espiga foram diferentes decorrentes de cultivares distintas quanto às características agrônômicas e as condições edafoclimáticas.

Quanto ao diâmetro do colmo das plantas de milho, o tratamento lâmina de irrigação não foi estatisticamente significativo ao teste de Tukey a 5%, e os valores de médios obtidos foram semelhantes em relação aos diferentes níveis utilizando,

com variação de 23,97 a 24,54 mm para W5 e W3, respectivamente. A adubação nitrogenada foi estatisticamente significativa ao teste de Tukey a 5%, com um valor mínimo e máximo de 23,82 e 25,06 mm nos níveis N0 e N4 correspondentes a 0 e 90 Kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 8).

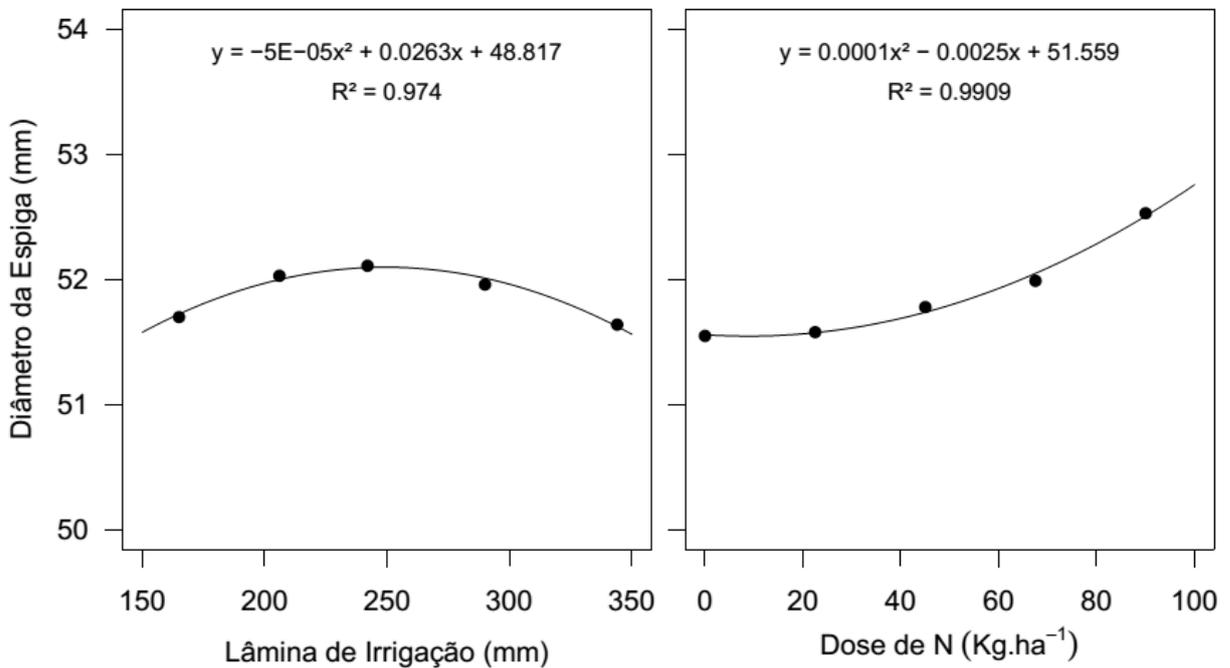
Figura 8. Médias do diâmetro do colmo da planta de milho em função dos tratamentos lâminas de irrigação e adubação nitrogenada.



Para o diâmetro do colmo, os valores foram semelhantes aos encontrados por Gonçalves, Silva e Brandão (2016), que obtiveram para as doses 0, 40 e 80 Kg ha⁻¹ de N, diâmetros de 21,1; 24,1 e 28,1 mm, respectivamente.

A variável diâmetro da espiga não foi estatisticamente significativa ao teste de Tukey a 5%, tanto para o tratamento lâmina de irrigação quanto para adubação nitrogenada. Os valores obtidos variaram de 51,64 a 52,11 mm correspondentes aos níveis W5 e W3, respectivamente. Quanto aos níveis de dose de N, a variação foi de 51,55 a 52,52 mm entre os níveis N0 e N4, respectivamente, (Figura 9).

Figura 9. Médias do diâmetro da espiga de milho em função dos tratamentos lâminas de irrigação e adubação nitrogenada.

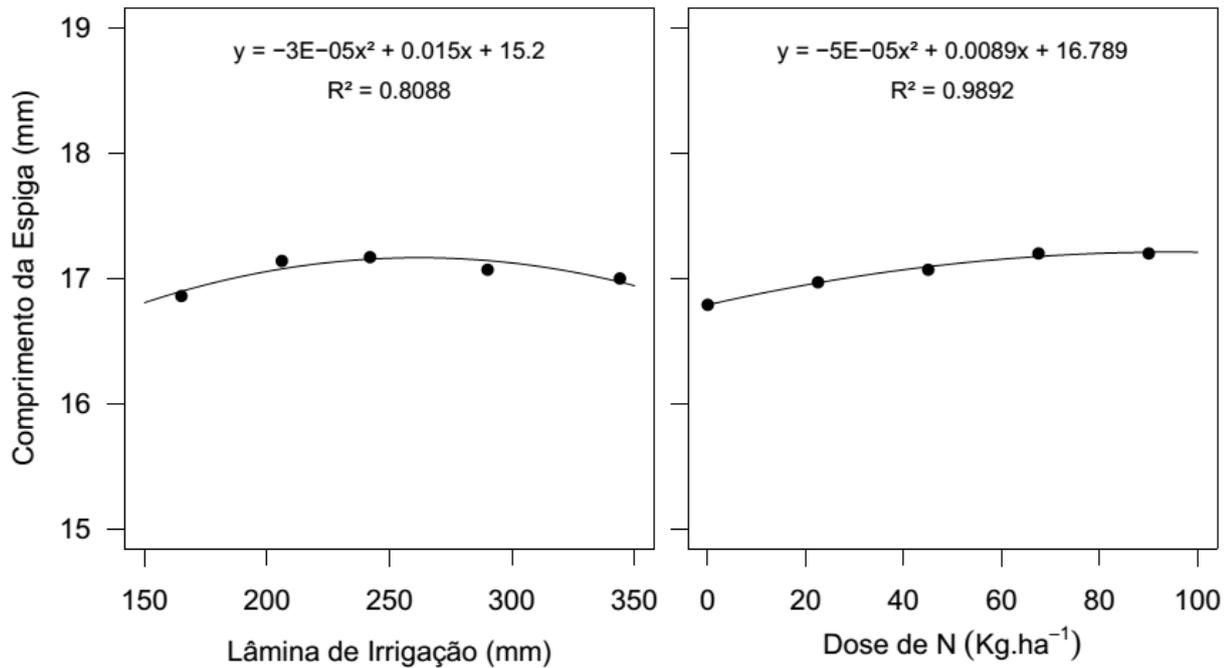


Observa-se na Figura 9 que os valores de W2 e W3 são próximos, sendo o 100% de reposição de água em relação à ETc o nível que mais influenciou no diâmetro da espiga de milho. Para o tratamento doses de adubação nitrogenada, o maior diâmetro de espiga foi influenciado pela dose 90 Kg ha⁻¹, sendo esta dose, insuficiente para representar o nível ótimo de N para esta variável.

Em um trabalho de avaliação de componentes de rendimento de milho em função de plantas de cobertura e doses de nitrogênio realizado por Ziech et al. (2016), no Paraná, foi encontrado médias de diâmetro de espiga de 45,9 mm utilizando dose de 180 Kg ha⁻¹ de N, que foi o dobro da maior dose aplicada nesta pesquisa. No entanto, os valores de diâmetro da espiga foram em média menores, considerando que a região, época de cultivo e cultivares utilizadas foram distintas.

O comprimento da espiga não apresentou diferença estatisticamente significativa ao teste de Tukey a 5% para nenhuma dos tratamentos. No entanto, a variação de valores foi entre 16,86 e 17,17 cm para os níveis W1 e W3, respectivamente. Para as doses de adubação nitrogenada, a variação de média foi de 16,79 para o nível N0 a 17,20 para os níveis N3 e N4 (Figura10).

Figura 10. Médias do comprimento da espiga de milho em função dos tratamentos lâminas de irrigação e adubação nitrogenada.

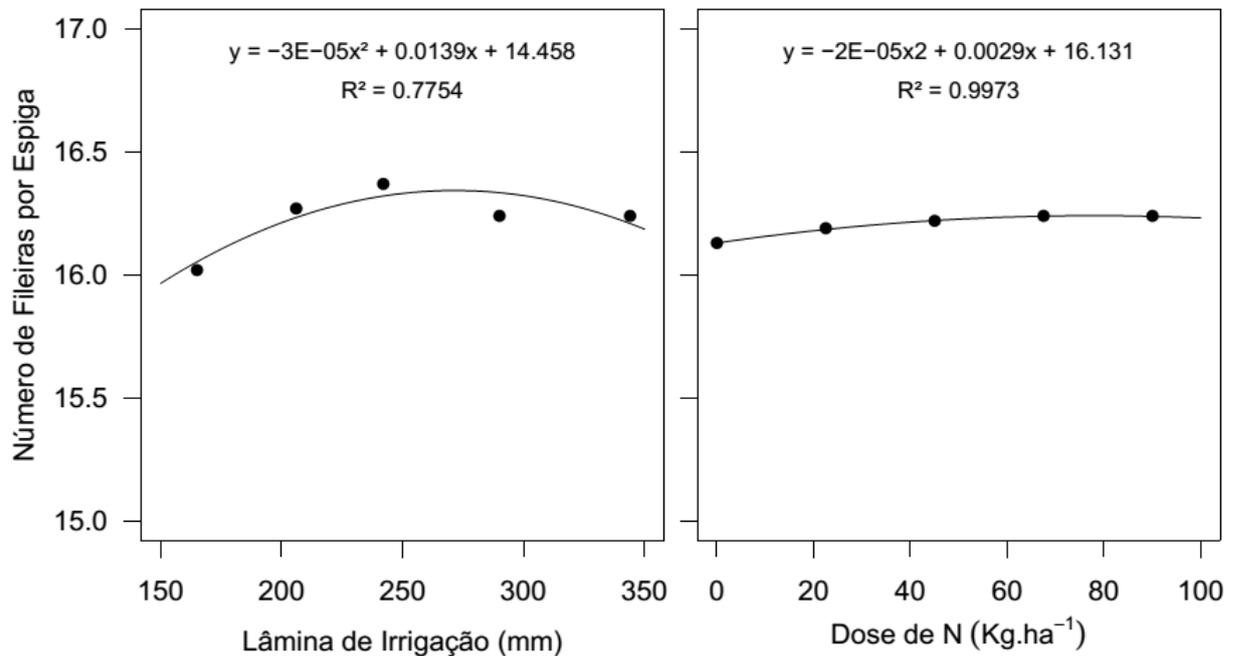


Observa-se na Figura 10 que as lâminas com 75 e 100% de reposição de água em relação a ET_c apresentaram valores semelhantes de comprimento de espiga, não diferindo estatisticamente. Para a adubação nitrogenada, o comprimento da espiga de milho foi crescente até a dose 67,5 Kg ha⁻¹, com valor obtido correspondente à dose de 90 Kg ha⁻¹.

A variação nos valores médios de comprimento de espiga deste trabalho foi superior aos mencionados por Ziech et al. (2016), que encontraram médias de comprimento de espiga entre 12,9 e 15 cm, trabalhando com doses de nitrogênio mineral sobre os componentes de rendimento e produtividade de milho cultivado sucessivamente, e inferiores aos de Mo; Li e Wang (2017) que trabalharam com diferentes quantidades de fertilizantes nitrogenado na cultura do milho irrigado por gotejamento subsuperficial, obtiveram valor médio de 19,7 cm de comprimento de espiga de milho.

A quantidade de fileiras por espiga de milho variou de 12 a 18, no entanto, as médias estatísticas foram de 16,02 a 16,37 nos níveis W1 e W3, respectivamente, e de 16,13 e 16,24 nos níveis N0 e N4 (Figura 11). Não houve diferença estatística significativa ao teste de Tukey a 5% para nenhum dos tratamentos.

Figura 11. Médias do número de fileiras de grãos por espiga de milho em função dos tratamentos lâminas de irrigação e adubação nitrogenada.

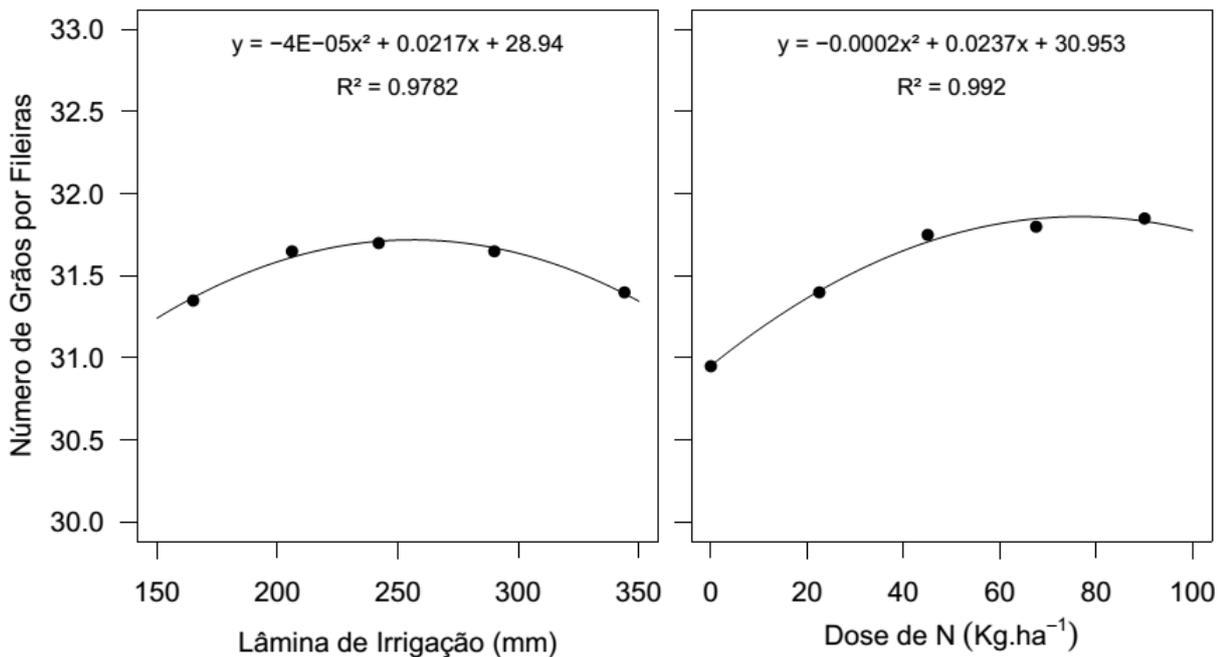


A lâmina de irrigação influenciou no número de fileiras de grãos até o nível de 100% da reposição de água com base na ETc, sendo o nível 75% o que mais se aproximou. Para o tratamento doses de adubação nitrogenada, os valores obtidos foram próximos em todos os níveis, não diferindo nos níveis com 67,5 e 90 Kg ha⁻¹, ou seja, o nível N3 de adubação nitrogenada foi suficiente para obtenção do maior número de fileiras de grãos por espiga.

Ziech et al. (2016), encontraram valor máximo de 14 e mínimo de 9,6 fileiras de grãos por espiga, uma diferença segundo eles de 30% em relação ao tratamento sem doses de N. Gonçalves, Silva e Brandão (2016), encontraram valores correspondentes a 16,3; 16,5 e 16,7 fileiras para as doses de 0, 40 e 80 Kg ha⁻¹ de N, respectivamente, sendo que na dose 0 de N a média do número de fileiras de grãos de milho foi igual a encontrada neste trabalho.

Os valores obtidos para o número de grãos por fileira variaram de 31,3 a 31,7 para os níveis W1 e W3, respectivamente, para o tratamento lâmina de irrigação. No tratamento doses de adubação nitrogenada, foi de 30,9 no nível N0 a 31,8 nos níveis N3 e N4 (Figura 12). Ambos os tratamentos não foram significativos estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 12. Médias do número de grãos por fileira de espiga de milho em função dos tratamentos lâminas de irrigação e adubação nitrogenada.

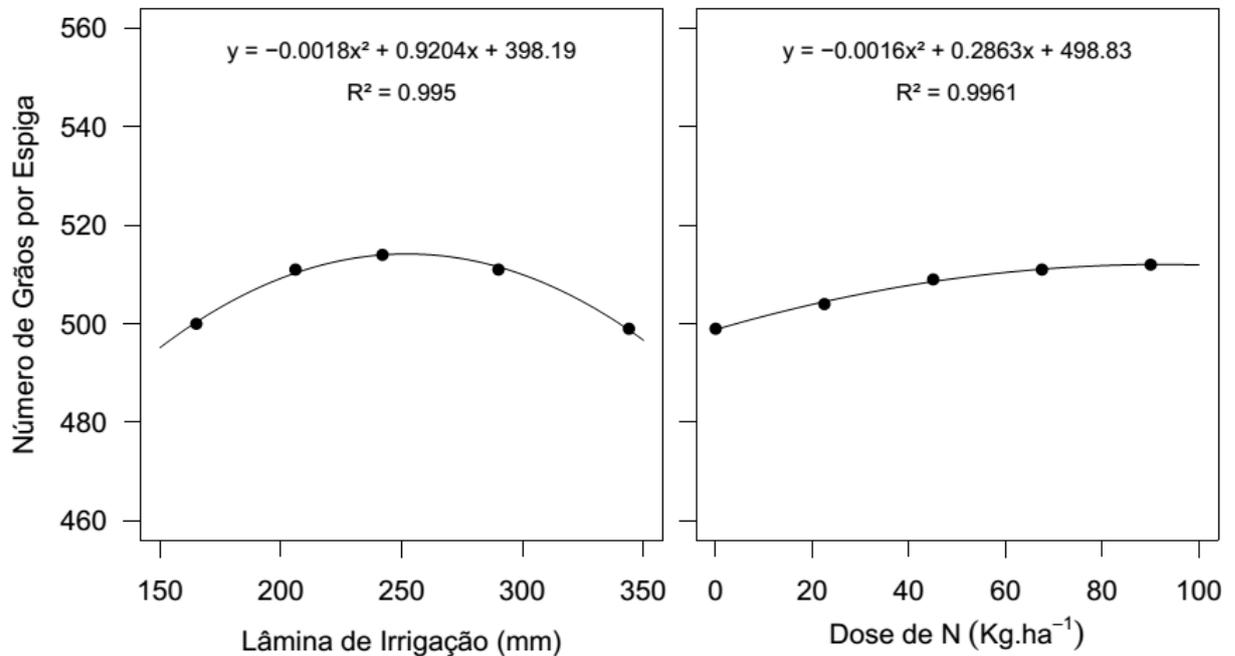


O número de grãos por fileira no tratamento lâmina de irrigação, variou de 31,35 a 31,7 para os níveis W1 e W3, respectivamente. A adição de 90 Kg ha⁻¹ de N proporcionou o maior número de grãos por fileira para o tratamento doses de adubação nitrogenada, porém, as doses de 45 e 67,5 Kg ha⁻¹ de N apresentaram resultados semelhantes entre si e próximos ao máximo encontrado.

Os resultados obtidos nesta pesquisa são superiores aos relatados por Ziech et al. (2016), que foi de 26 grãos por fileira de milho. Por se tratar de cultivares, regiões e períodos de cultivo diferenciados, os resultados também são distintos.

O número de grãos por espiga obtidos para o tratamento lâmina de irrigação variou de 499 a 514 nos níveis W5 e W3, respectivamente. Para o tratamento doses de adubação nitrogenada, a variação foi de 499 a 512, correspondendo a 0 e 90 Kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Tanto para o tratamento lâmina de irrigação quanto para doses de adubação nitrogenada, não foram significativos estatisticamente ao teste de Tukey a 5% (Figura 13).

Figura 13. Médias do número de grãos por espiga de milho em função dos tratamentos lâminas de irrigação e adubação nitrogenada.



Observa-se na Figura 13 que a lâmina de irrigação com 100% de reposição de água com base na ETc resultou em um número maior de grãos por espiga, e que as lâminas de irrigação com 75 e 125% obtiveram resultados iguais entre si, e bem próximos ao máximo encontrado. As médias obtidas nas doses de adubação nitrogenadas tiveram pouca diferença entre si, sendo a dose com 90 Kg ha⁻¹ aquela que resultou no maior número de grãos por espiga.

O valor máximo de 509 grãos por espiga do nível W3 com 100% de reposição de água com base na ETc foi bem diferente dos valores encontrados por Soares et al. (2011), que trabalhando com a resposta da produtividade de híbridos de milho em diferentes estratégias de irrigação, obtiveram um valor médio de 488 grãos por espiga da cultivar BM 1201 da Biomatrix no tratamento de 80% do valor da evapotranspiração do Tanque Classe "A".

Valores maiores de grãos por espiga foram reportados por Silva et al. (2017), que trabalhando com a cultivar 30B39HR da Pioneer com irrigação suplementar em Alegrete – RS, obtiveram 528 grãos por espiga. Quanto às médias do fator doses de adubação nitrogenada, foram maiores quando comparadas as encontradas por Ziech et al. (2016), que mesmo utilizando doses de 180 Kg ha⁻¹ de N, obtiveram

valor médio de 405 grãos por espiga.

A associação das variáveis componentes do rendimento resulta na produtividade de grãos por unidade de área. A produtividade de grãos não foi estatisticamente significativa pelo teste de Tukey a 5%, nem nos fatores isolados e nem na interação entre os fatores (Tabela 5).

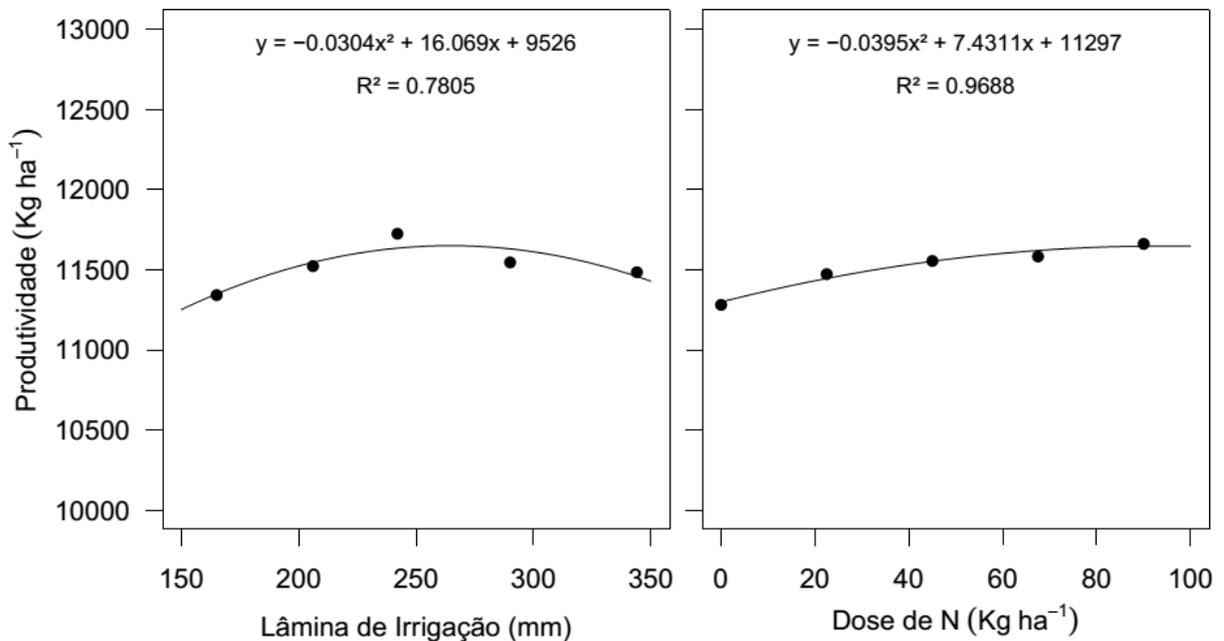
Tabela 5. Médias de produção de milho em função dos tratamentos lâminas de irrigação e adubação nitrogenada

Tratamento Lâmina de irrigação			Tratamento Adubação Nitrogenada		
Níveis	Lâmina (mm)	Produtividade (Kg ha ⁻¹)	Níveis	Doses de N (Kg ha ⁻¹)	Produtividade (Kg ha ⁻¹)
W1	165	11.343	N0	0	11.348
W2	206	11.524	N1	22,5	11.474
W3	269	11.726	N2	45	11.559
W4	290	11.548	N3	67,5	11.584
W5	344	11.486	N4	90	11.663
P-valor		0,79			0,62

P-valor = probabilidade de significância;

Os valores exibidos na Tabela 4 são resultantes da análise de variância em que as médias não foram estatisticamente significativas, no entanto, a relevância das médias de rendimento de grãos de milho nos fatores lâminas de irrigação e doses de adubação nitrogenada pode ser observada na Figura 14.

Figura 14. Médias da produtividade de grãos de milho em função dos tratamentos lâminas de irrigação e adubação nitrogenada.



Observa-se na Figura 14 que assim como ocorreu nos componentes de rendimento, a produtividade de grãos de milho foi maior na lâmina com 100% de reposição de água em relação à ET_c , com uma diferença de 383 Kg ha^{-1} em relação ao menor rendimento. A diferença de rendimento entre a maior dose de adubação nitrogenada obtida no nível com 90 Kg ha^{-1} e a menor obtida no nível com 0 Kg ha^{-1} foi de 315 Kg ha^{-1} .

Resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa foram descritos por Kisekka et al. (2017) que trabalhando com várias lâminas de irrigação de pré-plantio e com uma lâmina de 5 mm dia^{-1} , encontraram para estas condições, produções que variaram de 11.083 a $11.450 \text{ Kg ha}^{-1}$ de grão de milho.

Yi et al. (2010), trabalhando com diferentes práticas de manejos, encontraram 15.200 e $15.600 \text{ Kg ha}^{-1}$ de milho nos anos de 2007 e 2008 respectivamente, sob manejo de irrigação suplementar. Soares et al. (2011), também trabalhando com três estratégias de irrigação, encontraram 8.370 Kg ha^{-1} para o tratamento que utilizou 100% da evapotranspiração do Tanque Classe "A". Estes autores supracitados constataram um aumento de produção de milho atribuída à utilização de irrigação.

Quanto à adubação, Serpa et al. (2017), avaliando diferentes densidades de plantas e utilizando diferentes doses de adubação nitrogenada de cobertura de um grupos de híbridos moderno de milho, obtiveram médias de produção de 11.953, 13.182 e 13.407 Kg ha⁻¹ para as doses 0, 90 e 180 Kg ha⁻¹ de N, respectivamente, com valores de rendimentos próximos em relação aos níveis testados e sem diferença estatística na comparação de médias.

Kaneko et al. (2016), obtiveram para as doses 0, 45 e 90 Kg ha⁻¹ de N, 4.920, 5.220 e 4.920 Kg ha⁻¹, respectivamente, na segunda safra do milho em Chapadão Sul, MS, na safra 2011/2012. Gonçalves; Silva e Brandão (2016), utilizando doses de 0, 40 e 80 Kg ha⁻¹ de N, obtiveram produtividade de 6.056, 7.102 e 7.909 Kg ha⁻¹ de grãos, respectivamente.

Aos 17 DAS foi realizada a primeira adubação de cobertura e neste mesmo dia ocorreu uma precipitação pluvial de 31,5 mm. A segunda adubação foi realizada aos 38 DAS, quando houve uma ocorrência de 23,8 mm de precipitação pluvial, com recorrência até os 44 DAS, conforme a Figura 4. Essas ocorrências de chuva podem tanto ter influenciado diretamente nos resultados de produtividade das lâminas de irrigação, quanto nos diferentes níveis de N, causando a lixiviação do fertilizante e mascarando o efeito de diferenciação estatística entre os níveis.

É bem conhecido que a precipitação pluvial de maiores magnitudes podem causar perda significativa de N, mesmo quando se usa a aplicação parcelada de N, que geralmente é recomendada como uma prática de melhor gerenciamento para reduzir a perda de N (MAHARJAN et al. (2016).

Em decorrência do efeito da chuva nos tratamentos desta pesquisa, as produtividades foram semelhantes em decorrência da adubação realizada no sulco durante a semeadura e pela frequência de irrigação realizada diariamente.

1.4 CONCLUSÕES

Conclui-se que os resultados das médias dos componentes determinantes para o rendimento da cultura do milho influenciaram na produtividade de grãos.

Devido a ocorrência de um veranico entre 61 e 97 DAS, a complementação de água por meio da irrigação para a fase reprodutiva contribuiu para a produtividade do milho segunda safra.

A lâmina de irrigação que proporcionou o maior rendimento foi com 100% de reposição de água com base na ETc.

Os valores de produtividade de grãos de ambos os tratamentos, lâmina de irrigação e dose de adubação nitrogenada, foram semelhantes entre seus respectivos níveis, em decorrência da influência das chuvas

Com base nos resultados obtidos do tratamento adubação nitrogenada, a dose de 90 Kg ha⁻¹ de N foi a que proporcionou o maior rendimento de grão de milho.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R., G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Rome, FAO Irrigation and Drainage Paper, 56**, 1998. 326 p.
- ALMEIDA, A. C. DOS S. et al. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 3, p. 1448–1457, 14 jun. 2017.
- AZEVEDO, J. H. O. DE; BEZERRA, F. M. L. Resposta de dois cultivares de bananeira a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 1, 2008.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 9, p. 831–839, 2004.
- BERGAMASCHI, H. et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa agropecuária brasileira: 1977. Brasília. Vol. 41, n. 2 (fev. 2006), p. 243-249**, 2006.
- BERNARDO, S., SOARES, A. A., MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 635 p.
- BILIBIO, C. et al. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 7, 2010.
- CHAUDHRY, A. M. Improving on-farm water use efficiency: Role of collective action in irrigation management. **Water Resources and Economics**, jun. 2017.
- COSTA, N. R. et al. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 8, p. 1038–1047, 2012.
- DHITAL, S.; RAUN, W. R. Variability in optimum nitrogen rates for maize. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 6, p. 2165–2173, 2016.
- EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. rev. e ampl. Brasília: 353 p. (2013).
- GONÇALVES, A. K. A.; SILVA, T. R. B.; BRANDÃO, A. G. Manejo de adubação nitrogenada em milho solteiro e em consorciado com brachiaria ruziziensis. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 318–327, 30 ago. 2016.
- GREAVES, G. E.; WANG, Y.-M. Effect of regulated deficit irrigation scheduling on water use of corn in southern Taiwan tropical environment. **Agricultural Water Management**, v. 188, p. 115–125, jul. 2017.
- KANEKO, F. H. et al. Análise econômica do milho em função da inoculação com *Azospirillum*, fontes e doses de N em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 202–216, 30 ago. 2016.

KISEKKA, I. et al. Optimizing preplant irrigation for maize under limited water in the High Plains. **Agricultural Water Management**, v. 187, p. 154–163, jun. 2017.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Das Geographische system der klimate. **handbuch der klimatologie**. Berlin. p. 1–44, 1936.

LINK, J. et al. Evaluating the economic and environmental impact of environmental compensation payment policy under uniform and variable-rate nitrogen management. **Agricultural Systems**, v. 91, n. 1–2, p. 135–153, nov. 2006.

MAHARJAN, B. et al. Corn response to nitrogen management under fully-irrigated vs. water-stressed conditions. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 5, p. 2089-2098, 2016.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, L. Irrigação na cultura do pimentão. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2012.

MIKOVA, A.; ALEXANDROVA, P.; DIMITROV, I. Maize grain yield response to n fertilization, climate and hybrids. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 19, n. 3, p. 453–460, 2013.

MO, Y.; LI, G.; WANG, D. A sowing method for subsurface drip irrigation that increases the emergence rate, yield, and water use efficiency in spring corn. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 288–295, jan. 2017.

MONTENEGRO, A. A.; BEZERRA, F. M.; LIMA, R. N. DE. Evapotranspiration and crop coefficients of papaya in the coastal region of Ceará state, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 2, p. 464–472, 2004.

MOTA, M. R. et al. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 512–522, abr. 2015.

MUELLER, N. D. et al. Closing yield gaps through nutrient and water management. **Nature**, v. 490, n. 7419, p. 254–257, out. 2012.

OLIVEIRA, L. A. M. et al. Estimativa de produção em áreas irrigadas sob o cultivo da cultura do milho utilizando imagens de satélite. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 1, p. 400–409, 29 fev. 2016.

O'NEILL, P. M. et al. Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. **Agronomy journal**, v. 96, n. 6, p. 1660–1667, 2004.

PAVINATO, P. S. et al. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, 2008.

R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SERPA, A. DE F. et al. Nitrogen as top-dressing and sowing densities on agronomic characteristics of maize crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 10, p. 703–708, out. 2017.

SILVA, G. U. DA et al. Manejo de irrigação via solo e clima na cultura do milho (*Zea mays* L.) na região de Alegrete/RS. **Revista de Ciência e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 101-112, 21 jul. 2017.

SOARES, F. C. et al. Resposta da produtividade de híbridos de milho cultivado em diferentes estratégias de irrigação. **IRRIGA**, v. 15, n. 1, p. 36-50, 10 set. 2011.

SOUZA, J. A. et al. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 2, 2011a.

SOUZA, A. P. DE et al. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, 2 mar. 2011b.

TILMAN, D. et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260–20264, 13 dez. 2011.

VIEIRA FONTOURA, S. M.; BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 33, n. 6, 2009.

VILAS BOAS, R. C. et al. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. v. 35, n. 4, p. 781–788, 2011.

YI, L. et al. Growth and development of maize (*Zea mays* L.) in response to different field water management practices: Resource capture and use efficiency. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 4, p. 606–613, 15 abr. 2010.

ZIECH, A. R. D. et al. Produtividade e componentes de rendimento de milho em função de plantas de cobertura e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 195–201, 30 ago. 2016.

CAPÍTULO 2 – DETERMINAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DO MILHO (*Zea mays* L.) SEGUNDA SAFRA

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho determinar um manejo adequado para a cultura do milho, analisando os fatores adubação nitrogenada e irrigação suplementar, visando alcançar a maior produtividade de grãos. O experimento foi conduzido na Fazenda Lageado na área Experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, *Campus* de Botucatu, no período de abril a outubro de 2017. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 5 com parcela subdividida, sendo cinco lâminas de irrigação e cinco doses de adubação nitrogenada, com quatro repetições. O experimento foi conduzido com o milho híbrido 2A401. Foi instalado um sistema de irrigação por fileira simples utilizando uma fita gotejadora autocompensante com diâmetro interno de 16 mm, vazão por emissor de 1 L h^{-1} , com carga de pressão de 10 metros de coluna de água (mca). Foram utilizadas cinco diferentes lâminas de irrigação representadas por W_1 , W_2 , W_3 , W_4 e W_5 , correspondendo a 50; 75; 100; 125 e 150%, respectivamente, da necessidade de reposição de água com base na evapotranspiração da cultura (ETc) diária, e cinco doses de adubação nitrogenada utilizando como fonte a ureia, representadas por N_0 , N_1 , N_2 , N_3 , N_4 , correspondentes a 0; 22,5; 45; 67,5 e 90 kg ha^{-1} de N, respectivamente. A evapotranspiração de referência (ETo) total durante o período observado foi de 294,33 mm e a ETc total foi de 243,98 mm, com um volume acumulado de chuva durante este período de 494,5 mm. A maior produtividade de grãos de milho obtida foi de 8.064 kg ha^{-1} para o nível W_3 do tratamento lâminas de irrigação, e 8.254 kg ha^{-1} no nível N_4 do tratamento doses de adubação nitrogenada. As doses de adubação nitrogenada utilizando 67,5 e 90 kg ha^{-1} de N resultaram nas maiores produtividades de grãos de milho no ano de 2017.

Palavras chave: economia de água, fertilizante nitrogenado, manejo da irrigação

ABSTRACT

The objective of this work was to determine an adequate management for the maize crop, analyzing the factors nitrogen fertilization and supplementary irrigation, in order to reach the highest grain yield of maize. The experiment was conducted at the Lageado Farm in the Experimental area of the Department of Rural Engineering of the Faculty of Agronomic Sciences - UNESP, Botucatu Campus, from April to October 2017. The treatments were distributed in a randomized complete block design in factorial scheme 5 x 5 with subdivided plot being five irrigation depths and five doses of nitrogen fertilization with four replications. The experiment was conducted with maize (*Zea mays* L.) cultivar, hybrid cultivar 2A401. A simple row irrigation system was installed using a self-compensating drip tape with internal diameter of 16 mm, flow rate of 1 L h⁻¹, with pressure head of 10 meters of water column (mca). Five different irrigation depths represented by W1, W2, W3, W4 and W5 were used, corresponding to 50; 75; 100; 125 and 150%, respectively, of the need to replace water based on daily evapotranspiration (ET_c), and five nitrogen fertilization doses using urea, represented by N0, N1, N2, N3, N4, corresponding to 0; 22.5; 45; 67.5 and 90 kg ha⁻¹ of N, respectively. The total E_{T0} during the observed period was 294.33 mm and the total ET_c was 243.98 mm, with a cumulative volume of rain during this period of 494.5 mm. The highest grain yield of corn obtained was 8,064 kg ha⁻¹ for the W3 level of the treatment irrigation depths, and 8,254 kg ha⁻¹ at the N4 level of the nitrogen dose treatment. Nitrogen fertilization rates using 67.5 and 90 kg ha⁻¹ of N resulted in the highest yields of maize grain in 2017.

Keywords: water saving, nitrogen fertilization, irrigation management

2.1 INTRODUÇÃO

O milho é uma das culturas mais estudadas e pesquisadas no mundo, com o intuito de melhorar seu manejo, inserir novas cultivares no mercado que sejam mais resistentes às doenças e, conseqüentemente, mais produtivas.

Vários são os fatores responsáveis pelo rendimento de grãos de milho, no entanto, para Liaqat; Akmal e Ali (2018), a interação genótipo e ambiente é o principal fator determinante da produtividade de uma área. Não discordando da afirmação anterior, alguns autores ressalvam que o milho tem um potencial de rendimento biológico muito alto e é classificado entre as culturas que produzem a maior quantidade de matéria orgânica e grãos por unidade de área (İDİKUT e KARA, 2011; MADIĆ et al., 2017). A principal importância econômica do milho decorre de sua utilização diversa como alimento, ração animal e matéria-prima para aplicações industriais e também na agroindústria (SÁRVÁRI e PEPÓ, 2014; (DEVKOTA et al., 2016); MARKOVIĆ et al., 2017a).

De acordo com Semencenko et al. (2015), o grão de milho contém cerca de 70% de amido em média, o que o torna uma matéria-prima altamente adequada para a produção de bioetanol. Além de atender a crescente demanda por alimentos da população, o milho se destaca também como uma grande alternativa de matriz energética seja na produção de etanol ou biodiesel. Grandes quantidades de milho são usadas na produção de amido, etanol e óleo de milho (VELJKOVIĆ et al., 2018). Ainda segundo estes autores, embora o óleo de milho ainda seja utilizado apenas na alimentação humana, não deixa de ser uma grande alternativa futura para incentivar ainda mais a produção integrada de óleo e biodiesel de milho.

O milho possui características agronômicas interessantes tais como crescimento rápido, altos rendimentos e possibilidades de cultivo em dois ciclos no mesmo ano, dependendo das regiões produtoras ou tecnologia empregada. Por isso que, globalmente, o milho ocupa o terceiro lugar em área plantada, o segundo em produção total e o primeiro em rendimento de grãos por unidade de área (MADIĆ et al., 2017). O milho tem uma ampla gama de usos devido à sua distribuição mundial, natureza de alto rendimento, facilidade de processamento, fácil digestão e preço relativamente baixo do grão (BELLO et al., 2012).

Vários são os fatores que afetam a produtividade, tais como o tipo de solo, fertilidade do solo, estresse hídrico, ataque de insetos, doenças, entre outros. Dentre estes fatores, a adubação nitrogenada e a oferta de água por meio da irrigação, destacam-se por serem os fatores que mais podem contribuir com a produtividade de grãos de milho.

2.1.1 Fertilidade do solo

Dentre os fatores que podem aumentar o rendimento do milho, destacam-se o manejo da fertilidade do solo e, em especial, o da adubação nitrogenada (VIEIRA FONTOURA e BAYER, 2009). O nitrogênio é o nutriente mais limitante para a produção agrícola e tem o maior efeito sobre o rendimento de grãos principalmente no cultivo do milho (BARAL; ADHIKARI, 2015).

Para (SILVA et al., 2017a), o nitrogênio (N) é o nutriente mais limitante para a produção agrícola e essencialmente requerido pelas plantas, especialmente o milho, que é uma das culturas que mais respondem à fertilização proporcionando aumentos consideráveis de produtividade. Ainda segundo estes autores, a indisponibilidade de N no solo causa vários problemas às culturas, como redução da área foliar, diminuição da taxa fotossintética, atrasos no desenvolvimento e redução da produtividade. Para Hafez e Abdelaal (2015), a disponibilidade de nitrogênio afeta o crescimento de milho e pode causar mudanças nos componentes de produção.

Segundo Wang et al. (2014), nos próximos anos haverá um aumento de áreas cultivadas e do uso de fertilizantes nitrogenados. É notório que a crescente demanda por alimentos impulse o aumento de áreas plantadas de milho e utilização de nutrientes principalmente nitrogenados. A utilização de adubos nitrogenados na quantidade ideal e no momento que a planta necessita, contribui com o aspecto econômico e ambiental no uso de fertilizantes, além de alcançar maior produtividade de grãos.

2.1.2 Irrigação

Para minimizar o uso de água nas atividades agrícolas, faz-se necessário desenvolver pesquisas e tecnologias que maximizem o seu uso na produção de alimentos, especificamente na agricultura irrigada (OLIVEIRA, 2018). O desenvolvimento de novas tecnologias de irrigação que forneçam o uso eficiente e efetivo da água de irrigação é essencial para manter a produção agrícola em níveis que satisfaçam a demanda de alimentos da crescente população mundial (KAMAN; KIRDA e SESVEREN, 2011).

As áreas irrigadas estão aumentando e algumas das razões para este aumento incluem períodos frequentes de secas (MARKOVIĆ et al., 2018). A ocorrência de déficit hídrico na cultura do milho pode ocasionar danos em todas as fases (OLIVEIRA et al., 2016). Portanto, um fornecimento frequente e uniforme de água é extremamente importante para o rendimento de milho para atender às necessidades de água das plantas (EL-HENDAWY; HOKAM e SCHMIDHALTER, 2008).

Dentre os sistemas de irrigação, o gotejamento possibilita controlar a quantidade de água aplicada e melhorar a eficiência de seu uso na agricultura irrigada (OLIVEIRA, 2018). A irrigação suplementar na cultura do milho pode ser uma alternativa interessante para os produtores, pois é uma garantia de que nas fases críticas da cultura principalmente durante a fase reprodutiva, as plantas não passarão por um estresse hídrico.

O conhecimento dos efeitos da irrigação suplementar na cultura do milho é de suma importância para a tomada de decisões (PEGORARE et al., 2009). Isso porque quando se trabalha com irrigação suplementar, nem sempre as maiores lâminas aplicadas apresentam as maiores relações custo benefício, e determinar uma fração de lâmina de irrigação aplicada no momento oportuno, pode ser uma alternativa viável para a produtividade.

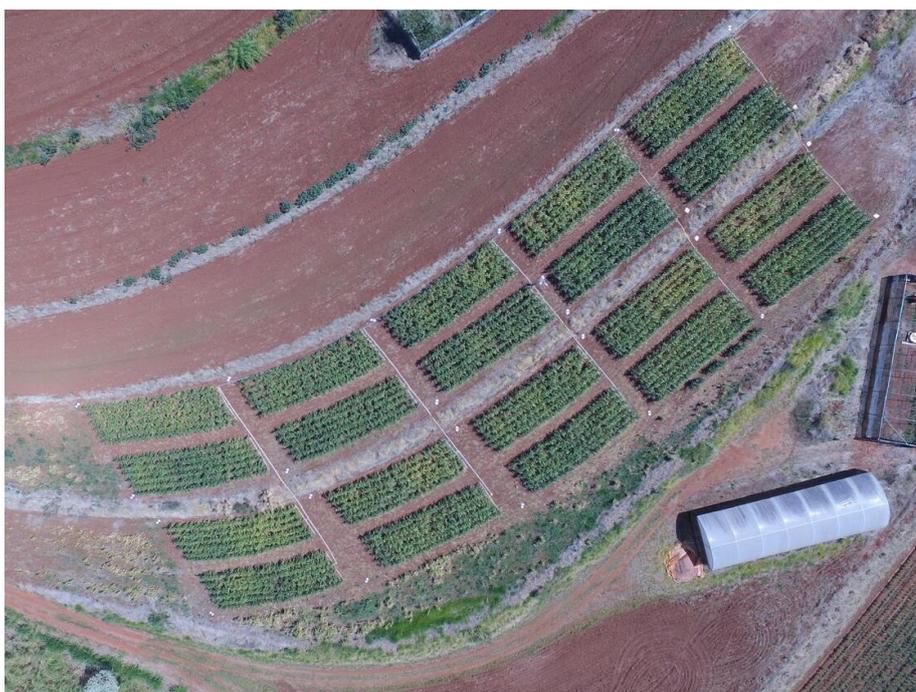
Objetivou-se com este trabalho determinar um manejo adequado da irrigação e da adubação nitrogenada para a cultura do milho segunda safra, analisando a influência dos fatores na produtividade de grãos.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Lageado na área Experimental do Departamento de Engenharia Rural (Figura 1) da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Campus de Botucatu, coordenadas geodésicas 22°51'07" Sul, 48°25'45,07" Oeste e 764 m de altitude, no período de 20 de abril a 27 de setembro de 2017.

Figura 1. Caracterização e localização da área experimental no ciclo de 2017.

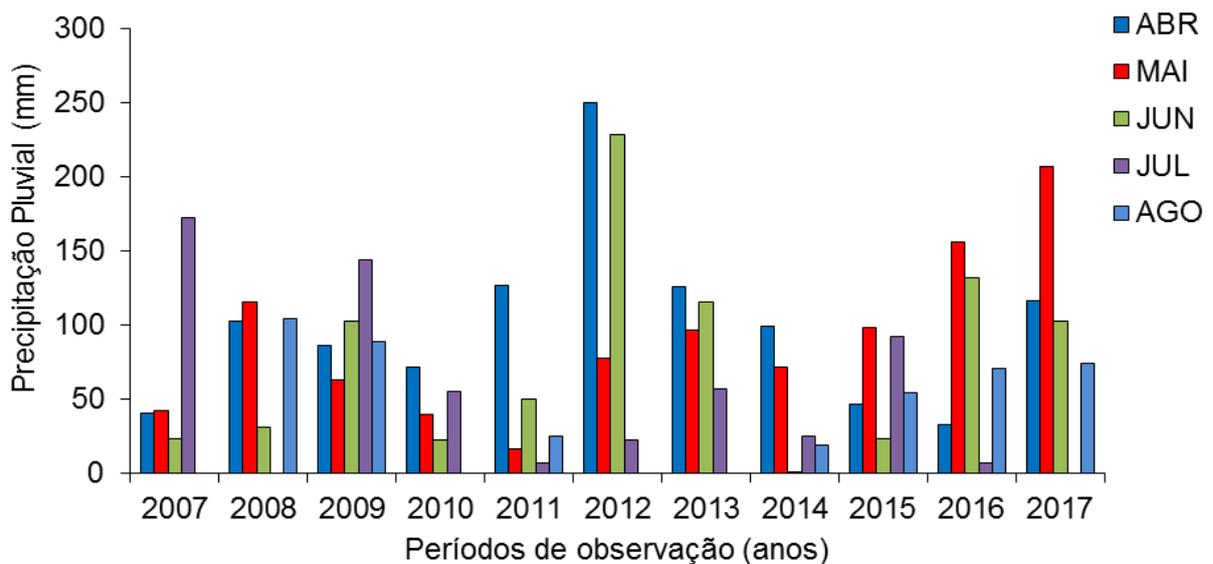


2.2.2 Clima e Classificação do solo

O clima é classificado segundo os critérios de Köppen e Geiger (1936), como Cfa, caracterizado pelo clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com chuva no verão e seca no inverno, com médias anuais de 22°C de temperatura, 73,9% de umidade relativa do ar e precipitação pluvial média anual de 1.501,4 mm. O solo é classificado como Nitossolos Vermelhos Distroféricos (EMBRAPA, 2013).

Com uma precipitação pluvial média anual de 1.501,4 mm para a cidade de Botucatu – SP, distribuída ao longo do ano, é possível obter duas safras agrícolas por meio do manejo de rotação e/ou sucessão de culturas. Diante a estas possibilidades, o cultivo do milho segunda safra tem sido um grande atrativo pelas expressivas produtividades alcançadas, equiparando-se e até mesmo superando a primeira safra em alguns casos. Além da melhoria nos materiais genéticos e do manejo adequado, o clima com seu regime de chuvas bem distribuídas deixa um período de tempo para o plantio favorável ao cultivo de milho segunda safra (Figura 2).

Figura 2. Precipitação pluvial de 10 anos para os meses de abril a agosto em Botucatu-SP. **Fonte:** Estação meteorológica Lageado, FCA, UNESP.



Antes de realizar a semeadura, o solo foi preparado com uma aração e logo em seguida, amostras foram coletadas para realizar a análise química do solo conforme os dados da Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental no ano de 2017

Prof.	pH	M.O. CaCl ₂ g/dm ³	P _{resina} mg/dm ³	Al ³⁺ -----	H+Al mmol/dm ³	K -----	Ca -----	Mg -----	SB -----	CTC -----	V% -----	S mg/dm ³
0-20	6,2	27	12	---	22	2,0	48	30	79	101	78	---
20-40	5,6	19	31	---	25	2,2	31	16	49	74	66	---

Fonte: Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA, UNESP.

Com base nos dados da Tabela 1, não houve necessidade de realizar calagem na área, pois o nível de pH do solo não estava ácido para a cultura do milho. Não houve presença de níveis de Al^{3+} , a relação Ca e Mg estava equilibrada, e a saturação por bases (V%) estava acima de 70% na camada de 0 -20. Assim sendo, foi efetuada uma gradagem para nivelamento do terreno e para incorporar a matéria orgânica presente no solo.

2.2.3 Delineamento Experimental

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 5 com parcela subdividida, sendo cinco lâminas de irrigação no fator principal e cinco doses de adubação nitrogenada no fator secundário, com quatro repetições, resultando em 20 parcelas e 100 subparcelas. Cada parcela media 4,25 e 15 m de largura e comprimento, respectivamente, correspondendo a 63,75 m² de área. As subparcelas mediam 4,25 e 3 m de largura e comprimento respectivamente. O espaçamento entre fileiras foi de 0,85 m logo, cada parcela e subparcela eram constituídas por seis linhas de plantas.

Dos 3 m de comprimento da subparcela, foi considerada a área útil de 1 m² medida entre as duas linhas centrais de plantas, as demais plantas do entorno da subparcela não foram avaliadas e foram consideradas parte da bordadura.

2.2.4 Descrição do material e forma de semeadura

O experimento foi conduzido com o milho (*Zea mays L.*), cultivar híbrido 2A401 da Dow AgroSciences[®]. Durante a semeadura foi realizada uma adubação no sulco, utilizando o equivalente a 300 kg ha⁻¹ do fertilizante NPK 04-30-10. A semeadura ocorreu no dia 20/04/2017 e foi realizada manualmente com o auxílio de um gabarito de madeira perfurada a cada 0,2 m, utilizado como referência para possibilitar a uniformidade de espaçamento de sementes por metro linear. Como o espaçamento entre linhas foi de 0,85 m, resultou no equivalente a 58.823 plantas por hectare.

Foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento com fileira simples, utilizando uma fita gotejadora autocompensante modelo Topdrip do fabricante NaaDanJain para cada linha de cultivo, com diâmetro interno de 16 mm, vazão por

emissor de 1 L h^{-1} , pressão de serviço de 10 metros de coluna de água (mca), e espaçados de 0,2 m, resultando em uma taxa de aplicação de irrigação de $5,88 \text{ mm h}^{-1}$.

O espaçamento dos emissores da fita gotejadora foi semelhante ao de semeadura, de modo que cada planta foi irrigada por um emissor localizado próximo ao colmo, para minimizar possíveis competições por água entre as plantas.

As lâminas de irrigação foram controladas em função do tempo de operação do gotejador, uma vez que a vazão dos emissores era igual em todas as parcelas. Na entrada de cada parcela foi utilizado um registro que possibilitou irrigar simultaneamente todas as unidades experimentais pertencentes ao mesmo tratamento.

O sistema foi constituído também por um filtro modelo Amiad Tagline de 1 1/2" de tela inox 120 mesh e um manômetro instalado na linha principal, próximo a linha de derivação, além de uma curva de derivação engate rápido para facilitar o controle da pressão de serviço do sistema, uma vez que cada desligamento da distribuição de água de um conjunto de parcelas referentes ao mesmo tratamento, ocasionava um aumento de pressão no sistema.

O controle da pressão foi, portanto, realizado manualmente, buscando sempre manter a pressão de trabalho com as quatro últimas parcelas semelhantes a pressão de trabalho realizado com as 20 parcelas funcionando simultaneamente no início de cada irrigação, ou seja, a pressão de serviço de 10 mca foi mantida do início ao fim de cada irrigação, independente da quantidade de unidades operantes.

2.2.5 Descrição dos Tratamentos

Foram utilizadas cinco diferentes lâminas de irrigação representadas por W_1 , W_2 , W_3 , W_4 e W_5 , correspondendo a 50; 75; 100; 125 e 150%, respectivamente, da evapotranspiração da cultura (ETc) diária. A evapotranspiração de referência (ETo) foi obtida pelo método de Penman-Monteith, disponibilizada diariamente pela estação meteorológica da FCA – UNESP localizada à 550 m da área experimental.

2.2.6 Coeficiente de cultura

Dentre os indicadores utilizados para calcular a necessidade hídrica das culturas, o coeficiente de cultura (Kc) compreende a relação entre a ETc e a ETo, sendo dependente da espécie, altura, área foliar, e manejo da cultura. Não havendo dados de Kc locais, pode-se recorrer a dados obtidos em outras regiões. Neste estudo, foram utilizados valores apresentados por Allen et al. (1998), Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente de cultura (Kc) do milho e os respectivos tempos de duração por fase.

Fase	Inicial	Desenvolvimento	Intermediária	Final
Kc	0,3	1,2	1,2	0,35
Dias	20	35	40	30

Fonte: Food and Agriculture of the United Nations – FAO 56, (ALLEN et al., 1998)

Com os dados de ETo obtidos por meio da estação juntamente com o Kc proposto pela FAO 56, foi possível determinar a evapotranspiração da cultura ETc por meio da equação 1.

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (1)$$

em que:

ETc = evapotranspiração da cultura, mm;

ETo = evapotranspiração de referência, mm;

Kc = coeficiente de cultivo, adimensional.

A irrigação foi realizada diariamente com base na ETc, determinando a lâmina de irrigação de acordo com cada nível de tratamento, considerando a precipitação efetiva e a eficiência de aplicação de água pelo sistema que foi de 90%.

2.2.7 Adubação nitrogenada

Para a adubação de cobertura, foi utilizada à ureia convencional com 45% de N. A adubação nitrogenada foi aplicada de forma fracionada, sendo 50% da quantidade de adubo aplicado no dia 07/05/2017 quando as plantas estavam na fase de

desenvolvimento vegetativo V4 e os outros 50% foram aplicados no dia 29/05/2017, quando as plantas estavam na fase V8 correspondendo aos 17 e 39 dias, respectivamente, após a semeadura (DAS).

As doses de N adotadas foram representadas por N₀, N₁, N₂, N₃, N₄, correspondentes a 0; 22,5; 45; 67,5 e 90 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. A distribuição do fertilizante foi realizada manualmente a lanço e depositado próximo à área de maior concentração de raízes das plantas. As adubações ocorreram no turno vespertino do dia e logo em seguida foi realizada a irrigação de acordo com a necessidade.

2.2.8 Colheita do milho

A colheita do milho foi realizada manualmente no dia 28 de setembro de 2017 aos 161 dias após a semeadura (DAS) com umidade média de grãos de 20%. No momento da colheita, foi realizada a biometria das plantas sendo medida a altura de plantas, altura de inserção da espiga e o diâmetro do colmo.

Durante a colheita, as espigas de milho foram descascadas e colocadas em sacos identificados, sendo armazenados em uma casa de vegetação, protegidos da chuva e permitindo a continuação da secagem dos grãos nos dias de sol. Enquanto as espigas perdiam umidade de grãos, foi realizada a biometria da espiga, sendo medido o comprimento da espiga, o diâmetro da espiga, o número de fileiras de grãos, o número de grãos por fileira e o número de grãos por espiga (Figura 3).

Figura 3. Espigas de milho de uma unidade experimental no momento da biometria dos componentes de rendimento.



Após a biometria da espiga, foi realizada a debulha do milho, fazendo-se uso de um debulhador de milho manual, para evitar perdas de grãos de milho, ou mistura de grãos de um subparcela com outra.

2.2.9 Determinação da Produtividade (kg ha^{-1})

A produtividade de grãos foi determinada mediante a pesagem dos grãos de todas as espigas existentes em cada subparcelas. Este resultado em kg, foi dividido pelo respectivo número de plantas contidas em cada subparcela, obtendo o peso médio de grãos por planta, e posteriormente, extrapolados para área de um hectare (10.000 m^2).

Considerou-se um adensamento de 52.951 plantas, determinado por uma redução de 10% da quantidade inicial, decorrentes de falhas observadas no momento da colheita e esta determinação de rendimento foi obtida quando os grãos atingiram 13% de umidade.

As variáveis obtidas tais como a altura de planta, diâmetro do colmo, altura de inserção da espiga, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga e número de grãos por espiga foram

submetidas à análise estatística.

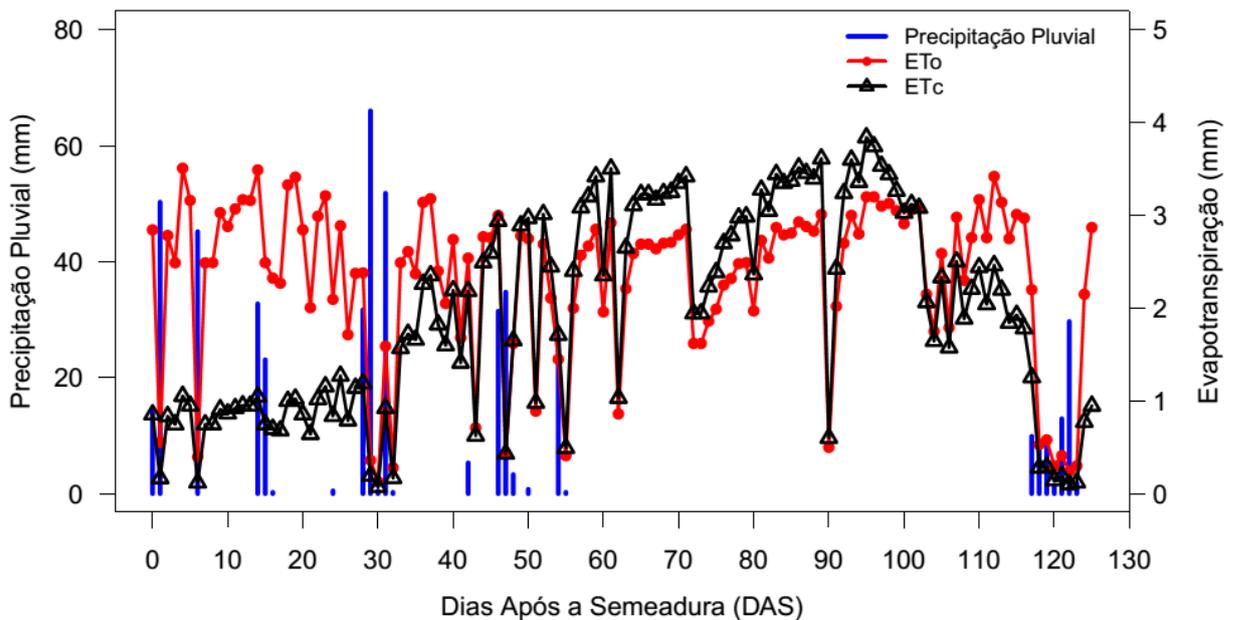
A análise da variância e comparação de médias foi realizada pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o software R Core Team (2016).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como observado na Figura 2, no período de 10 anos houve ocorrências de chuva entre os meses de abril a agosto de cada ano, período este utilizado para o plantio do milho segunda safra. Observa-se também que no ano de 2017 não houve ocorrência de chuvas no mês de julho, o que poderia comprometer o rendimento de milho dependendo da data de semeadura.

A precipitação ocorrida durante a condução desta pesquisa pode ser observada juntamente com a ETo e a ETc (Figura 4).

Figura 4. Precipitação pluvial, evapotranspiração de referência (ETo) e evapotranspiração da cultura (ETc) durante o período de irrigação do milho entre 20/04 a 23/08/2017.



Observa-se na Figura 4, a precipitação pluvial, a ETo e a ETc no período correspondente desde a semeadura até a maturação. A ETo total durante o período

observado foi de 294 mm e a ETc total foi de 244 mm. O volume acumulado de chuva durante este período foi de 494,5 mm, distribuída principalmente durante a fase inicial de desenvolvimento e com algumas ocorrências na fase final da cultura.

Observa-se ainda na Figura 4 que a maior frequência de chuvas ocorreu até os 55 DAS, e que entre os 56 a 116 DAS ocorreu um veranico. Este período de 60 dias sem chuva, coincidiu com o período reprodutivo, envolvendo a emissão de flores, formação de espiga, formação e enchimento de grãos e início da maturação fisiológica.

A falta de chuva em período tão longo durante um ciclo de cultura pode comprometer significativamente a produtividade. A complementação de água por meio da irrigação passa a ser indispensável, pois fornece o requerimento hídrico que a planta necessita, sem interromper e comprometer o desenvolvimento de grãos.

Os valores detalhados das lâminas de irrigação e precipitação pluvial estão presentes na Tabela 3, bem como as frações de lâmina de irrigação para cada nível de tratamento.

Tabela 3 Valores acumulados das lâminas de irrigação e precipitação pluvial e efetiva durante o ciclo de cultivo do milho entre abril e agosto de 2017

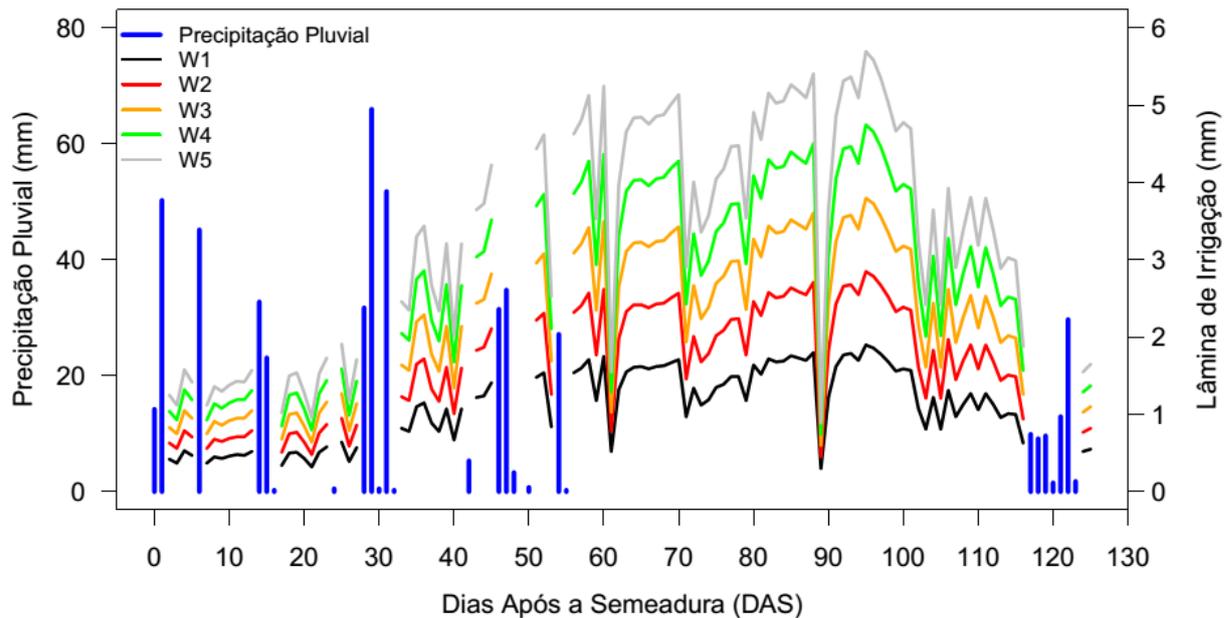
Níveis de Tratamento (% da ETo)	Lâmina média aplicada (mm/d)	Lâmina aplicada via irrigação (mm)	Precipitação pluvial (mm)	Precipitação efetiva (mm)	Lâmina total (mm)
W1 (50%)	1,5	114	494	73	187
W2 (75%)	1,8	171		60	231
W3 (100)	2	228		18	246
W4 (125%)	2,4	284		14	298
W5 (150%)	2,8	341		14	355

Fonte: Dados da pesquisa.

Os dados observados na Tabela 3 são referentes às lâminas médias diárias de irrigação aplicada, as lâminas de irrigação aplicada via irrigação, calculada por meio da necessidade de reposição de água pela cultura (ETc) para cada nível de

tratamento (Figura 5). Da precipitação pluvial que foi de 494 mm, foi calculada a precipitação efetiva, que é a fração de água presente no solo e que fica realmente disponível para as plantas. A lâmina total foi obtida pela soma da lâmina aplicada via irrigação com a precipitação efetiva, de acordo com cada nível de tratamento.

Figura 5. Precipitação pluvial e lâminas de irrigação para cada nível de tratamento



Os dados obtidos dos componentes de rendimento do milho foram submetidos à análise estatística pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade de erro, resultando nas seguintes médias (Tabela 4).

Tabela 4. Altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), diâmetro da espiga (DE), comprimento da espiga (CE), número de fileiras da espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF) e número de grãos por espiga (NGE)

Lâminas de Irrigação (mm)	AP (m)	AIE (cm)	DC (mm)	DE (mm)	CE (cm)	NFE	NGF	NGE
187	2,00 b	79,7	18,8	48,7	15,1	13,8	27,9	391
231	2,04 ab	82,8	19,5	49,6	15,6	14,0	28,5	395
246	2,09 a	83,4	19,7	50,2	15,8	14,2	29,5	404
298	2,06 ab	82,8	19,3	50,0	15,7	14,0	29,3	401
355	2,05 ab	82,7	18,9	50,0	15,5	13,9	28,3	401
P-valor	0,02	0,18	0,63	0,10	0,72	0,59	0,37	0,91
Doses de N (Kg ha ⁻¹)								
0	1,96 c	75,1 b	18,6	49,7	15,3	13,8	28,0	385 b
22,5	2,03 bc	83,0 a	19,1	47,5	15,4	14,0	27,9	386 ab
45	2,05 ab	83,5 a	19,3	49,5	15,5	14,1	28,5	389 ab
67,5	2,09 ab	84,3 a	19,4	50,1	15,6	14,0	29,5	415 ab
90	2,11 a	85,4 a	19,9	52,2	15,8	14,4	29,6	417 a
P-valor	<0,001	<0,001	0,15	0,06	0,60	0,47	0,10	<0,01

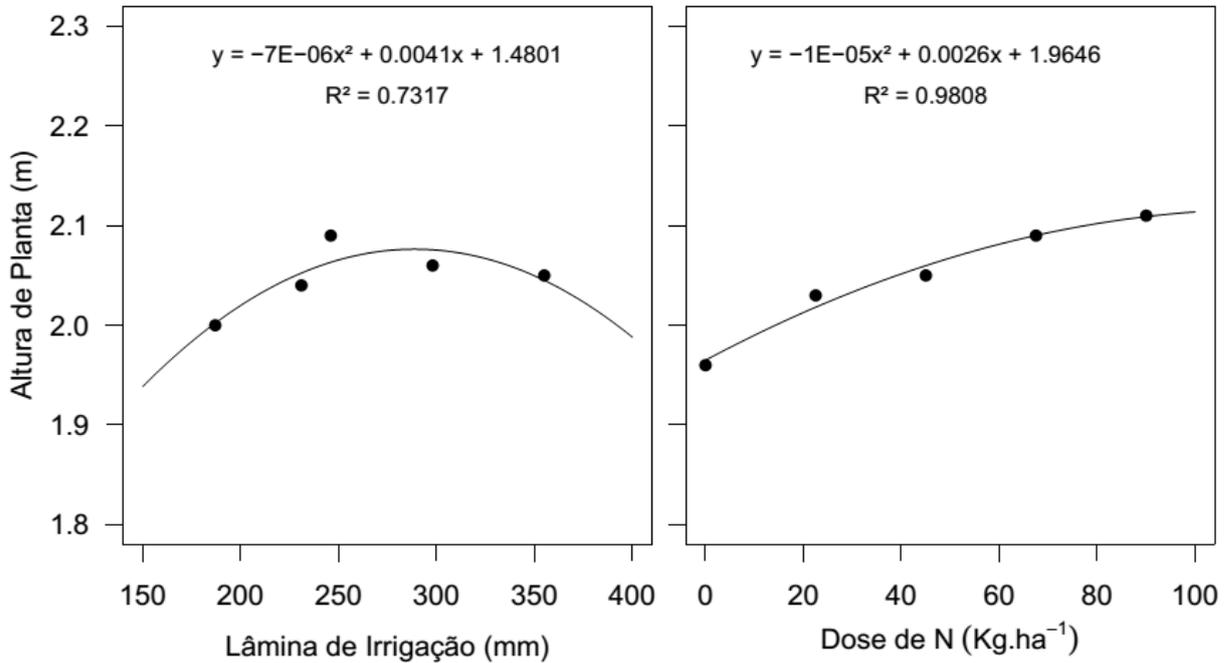
P-valor = probabilidade de significância;

Médias seguidas de letras iguais, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A menor variação nas médias da variável altura de planta ocorreu no tratamento lâminas de irrigação com valores entre 2,00 e 2,09 m nos níveis W1 e W3, respectivamente. Mesmo com uma pequena diferença entre as médias, a variável altura de planta foi estatisticamente significativa ao teste de Tukey a 5%, com a maior média obtida na aplicação de 100% de reposição da necessidade de água em relação a ETc.

Para o tratamento doses de adulação nitrogenada, a variação de altura de planta foi entre 1,96 e 2,11 m ocorrida entre os níveis N0 e N4, respectivamente. A aplicação de 90 Kg ha⁻¹ de N resultou na maior altura de planta de milho, e mesmo com valores próximos entre as médias de cada tratamento, foi estatisticamente significativa ao teste de Tukey a 1% representado pelo P-valor <0,001. A regressão polinomial com as médias de altura de plantas possibilita visualizar no plano cartesiano a distribuição das médias em relação aos níveis de cada tratamento (Figura 6).

Figura 6. Médias de altura de plantas de milho para os fatores lâmina de irrigação e doses de adubação nitrogenada.



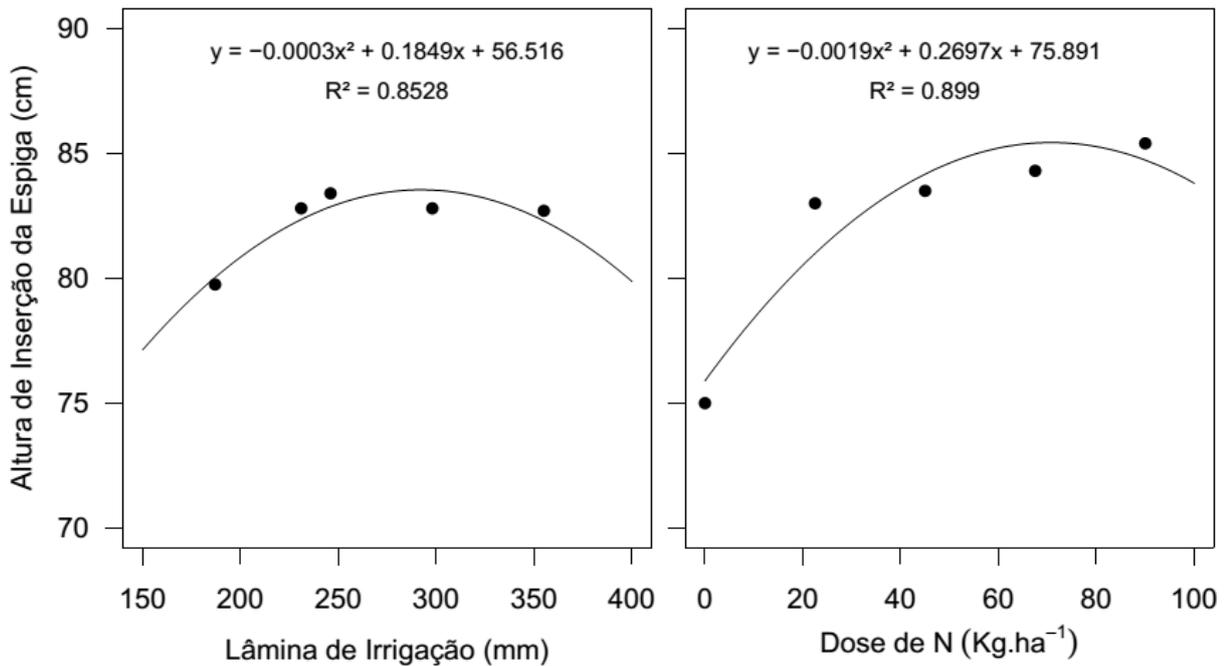
Sabe-se que a variável altura de planta é uma condição dependente da cultivar, da região, e até mesmo da estação de cultivo. No entanto, Idikut e Kara (2011), na Turquia, encontraram valores de 1,82 e 2,14 m de altura média de plantas de milho nos anos de 2007 e 2008, respectivamente. Testando doses de adubação nitrogenada, Abera; Debele e Wegary (2017), encontraram valores médios de 2,71 e 2,77 m de altura de milho aplicando 55 e 110 Kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Embora estes resultados sejam maiores do que os obtidos nesta pesquisa, vale salientar que as cultivares, a localização, os níveis de tratamento e épocas de semeadura foram diferentes.

Aplicando doses 0, 30 e 90 Kg ha⁻¹ de N na Nigéria, Bello et al. (2014), constataram uma diferença média de 31,5 e 34,6% na altura de plantas de milho em relação aos níveis de N aplicados, para dois anos de condução de experimento. Greaves e Wang (2017), trabalhando com cinco níveis de lâmina de água, encontraram comportamento semelhante nos seus resultados e atribuíram ao fato de não haver diferença estatística significativa na altura de plantas de milho à falta de estresse hídrico que foi observado durante o estágio de crescimento vegetativo.

A altura de inserção da espiga variou de 79,7 a 83,4 cm entre os níveis de

lâmina de irrigação, e de 75,1 a 85,4 cm entre os níveis de doses de adubação nitrogenada. Não houve diferença estatística significativa para o tratamento lâmina de irrigação, mas, para as doses de adubação nitrogenada foi significativa a 1%, com diferença de 12% entre a média do maior e menor valor (Figura 7).

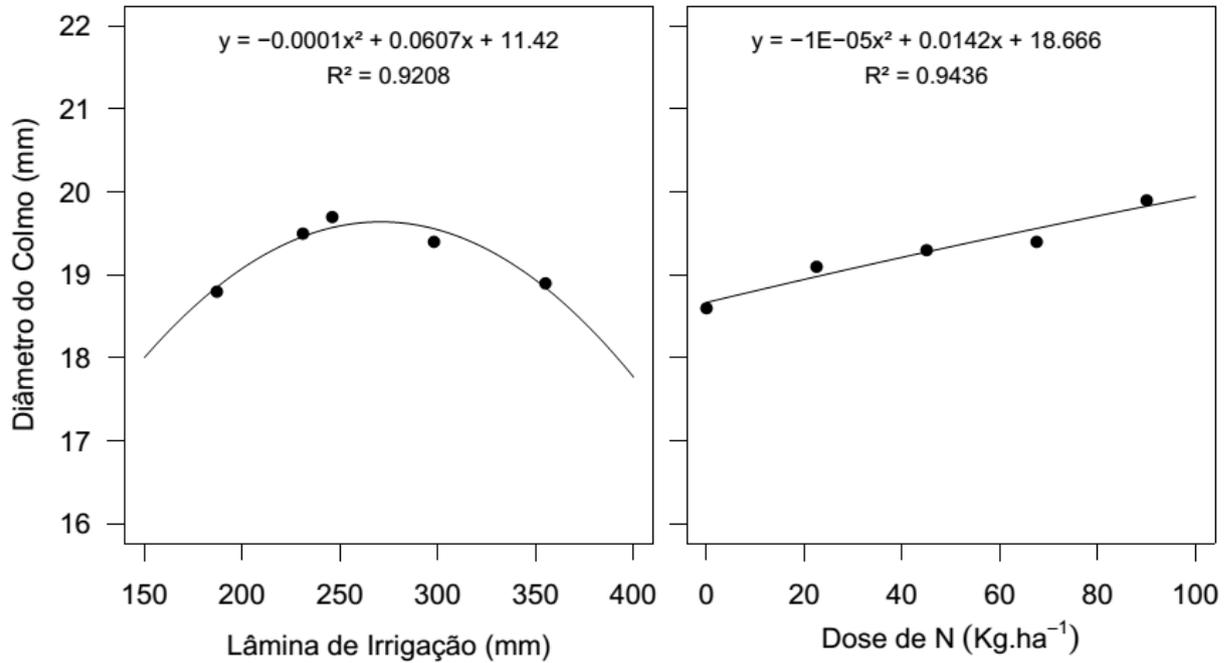
Figura 7. Médias de altura de inserção da espiga para os fatores lâmina de irrigação e doses de adubação nitrogenada.



A altura de inserção de espiga encontrada por Marković et al. (2018) variou de 71,67 a 84,09 cm em 2010 e para o ano de 2011 variou de 111 a 122 cm, em ambos os anos essa variação foi influenciada pela irrigação. Nota-se que os valores de inserção de espiga foram semelhantes ao desta pesquisa no ano agrícola de 2010.

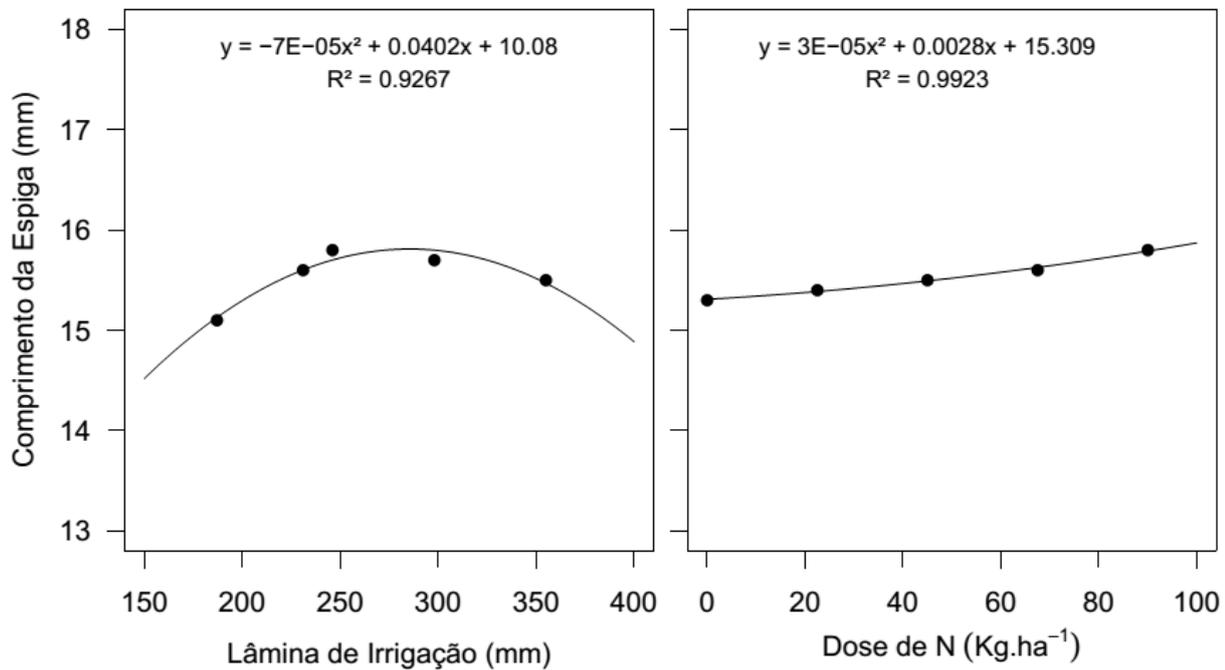
Para a variável diâmetro do colmo, a variação de médias do tratamento lâmina de irrigação foi entre 18,8 e 19,7 mm entre os níveis 50 e 100% da reposição de água com base na ETc, respectivamente. Para o tratamento doses de adubação nitrogenada a variação de médias foi entre 18,6 e 19,9 mm nos níveis N0 e N4, respectivamente. Ambos os tratamentos não foram estatisticamente significativos. Por meio da regressão quadrática, observa-se um aumento de diâmetro do colmo a cada nível de adubação nitrogenada, com tendência de continuar aumentando sob condições de adição de doses superiores a 90 Kg ha⁻¹ (Figura 8).

Figura 8. Médias de diâmetro do colmo para os fatores lâmina de irrigação e doses de adubação nitrogenada.



Os valores médios obtidos de comprimento da espiga para o tratamento lâmina de irrigação variaram entre 15,1 e 15,8 cm para os níveis W1 e W3, respectivamente. Uma baixa variação foi obtida no tratamento doses de adubação nitrogenada entre os níveis N0 com valor de 15,3 cm e N4 com 15,8 cm. Não houve diferença estatística em nenhum dos fatores analisados, sendo a dose 90 kg ha^{-1} de N, insuficiente para expressar o comprimento máximo de espiga em função da adubação nitrogenada (Figura 9).

Figura 9. Médias do comprimento da espiga para os fatores lâmina de irrigação e doses de adubação nitrogenada.

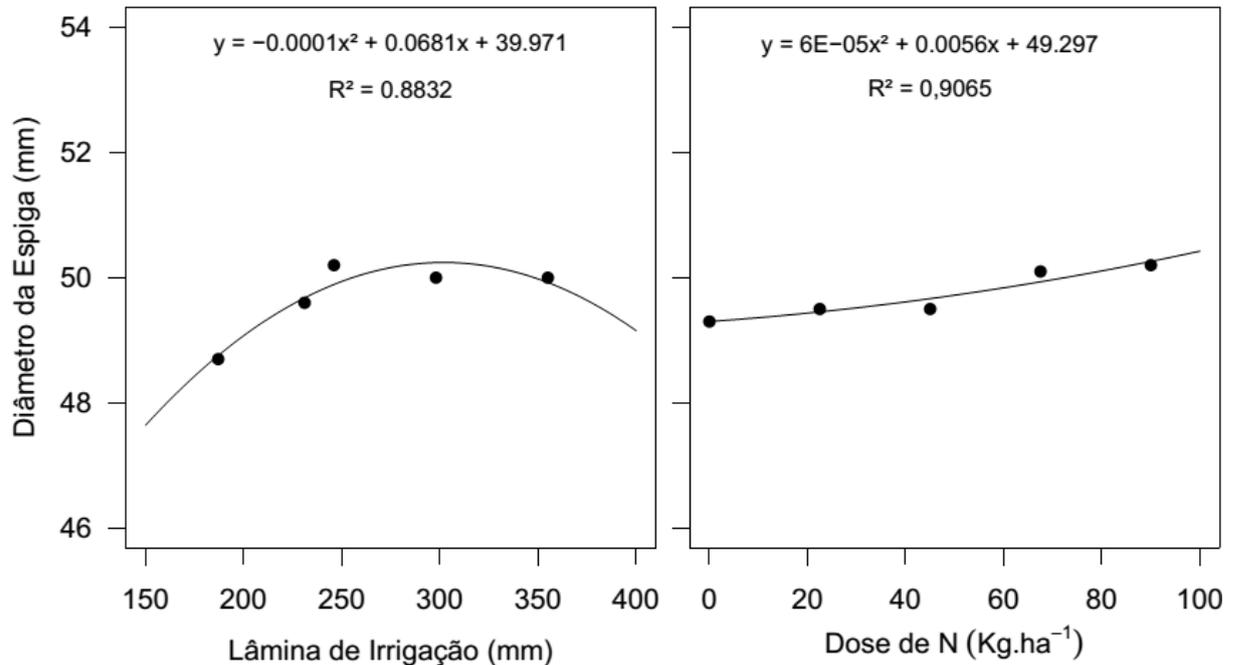


Bãşa et al. (2016), trabalhando com duas cultivares de milho e três doses de adubação nitrogenada na Romênia, encontraram valor médio de 14,5 cm de comprimento de espiga de milho aplicando dose de 120 Kg ha⁻¹ de N, fracionada em 40 e 80 Kg ha⁻¹ na primeira e segunda adubação, respectivamente, valor este que assemelha-se ao encontrado neste trabalho.

O diâmetro da espiga é um importante componente de rendimento de grãos, pois pode determinar o aumento ou diminuição do número de fileiras de grãos por espiga, influenciando na produtividade. Para o tratamento lâmina de irrigação, a variação do diâmetro da espiga ficou entre 48,7 a 50,2 mm para o fator lâmina de irrigação nos níveis W1 e W3, respectivamente.

Analisando o fator doses de adubação nitrogenada, a variação foi de 49,2 a 52,2 mm nos níveis N0 e N4, respectivamente. Não houve diferença estatística significativa para ambos os tratamentos. Pela regressão quadrática, a partir de 100% da reposição da demanda de água com base na ETc, começa a diminuir o valor do diâmetro da espiga enquanto para o fator doses de adubação nitrogenada, é maior a cada dose crescente de N (Figura 10).

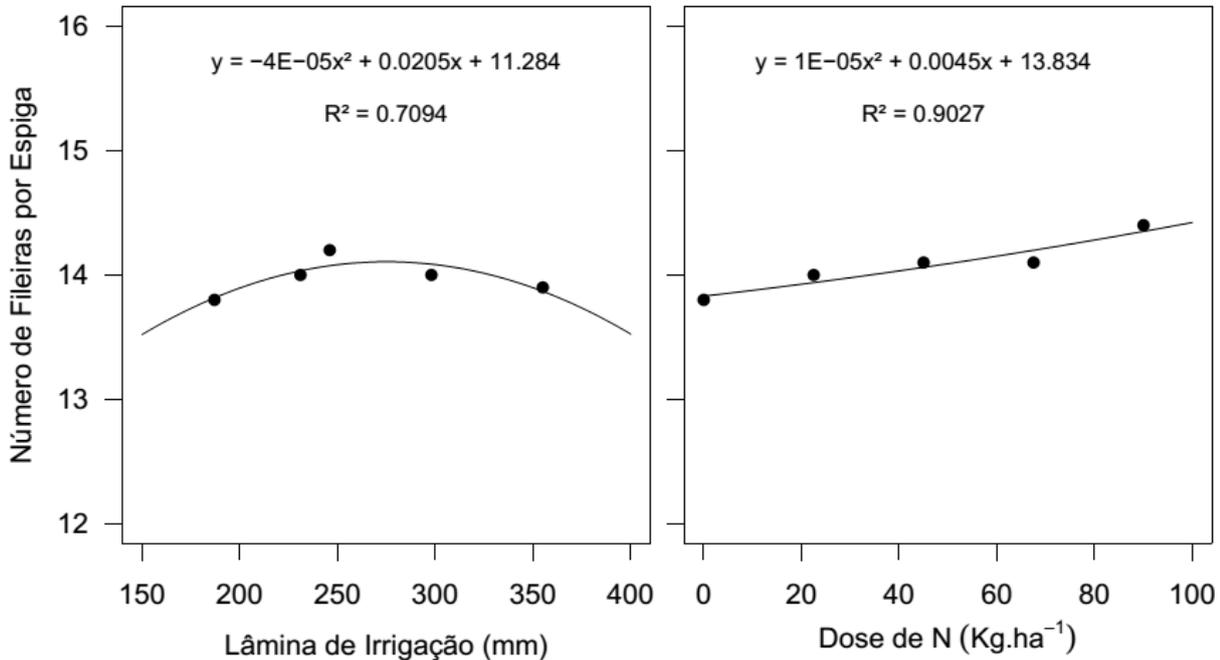
Figura 10. Médias de diâmetro da espiga para os fatores lâmina de irrigação e doses de adubação nitrogenada.



Valores de diâmetro da espiga variaram de 35,5 a 40,8 mm no experimento conduzido por Iqbal et al. (2013), quando submetido a cinco níveis de fertilizantes, na busca de uma dose ótima de adubação nitrogenada, sendo estes valores inferiores aos obtidos nesta pesquisa.

Para o número de fileiras por espiga, a variação nas médias foi de 13,8 a 14,2 nos níveis W1 e W3, respectivamente, para o tratamento lâmina de irrigação. Para as doses de adubação nitrogenada, a menor média foi de 13,8 no nível N0 e a maior de 14,4 no nível N4 com 90 Kg ha⁻¹ de N. Para este componente de rendimento, não houve diferença estatística significativa para nenhum dos tratamentos, no entanto, observa-se que o número de fileiras por espiga tende a continuar aumentando com o aumento da dose de N (Figura 11).

Figura 11. Médias do número de fileiras por espiga para os fatores lâmina de irrigação e doses de adubação nitrogenada.



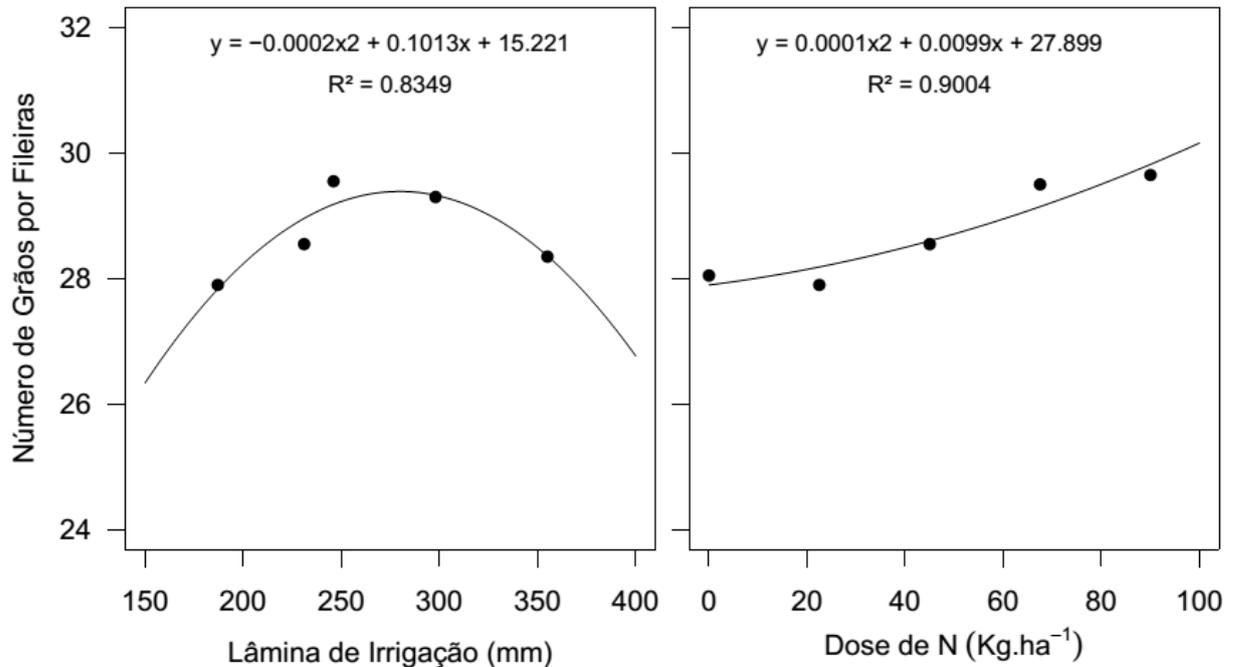
Amanullah et al. (2016), encontraram médias do número de fileiras de milho de 13,7 e 14,2, nos níveis 50 e 200 Kg ha⁻¹ de N, respectivamente, em 2008 e repetindo o mesmo trabalho em 2010 encontraram média de 13,3 tanto para os níveis com 50 quanto para 200 Kg ha⁻¹ de N. Já Hejazi e Soleymani (2014), encontraram médias para o número de fileira de 14,17 e 14,79 aplicando 0 e 150 Kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Valores maiores do número de fileiras por espiga foram reportados por Costa et al. (2012), que encontraram 16,7; 16,7 e 16,4 para as doses 0, 50 e 150 Kg ha⁻¹ de N, respectivamente, na safra 2008/2009, e 15,86; 16,2 e 16,7 fileiras por espiga na safra 2009/2010, para os mesmos tratamento.

O número médio de grãos por fileira para o fator lâmina de irrigação foi de 27,9 no nível W1 e 29,5 no nível W3. No fator doses de adubação nitrogenada, os valores foram crescentes na medida em que aumentou a dose de N, com uma variação de 28 a 29,6 nos níveis N0 e N4, respectivamente. Para o número de grãos por fileira as médias não foram estatisticamente significativa e na regressão quadrática obtida, observa-se que a lâmina com 100% da reposição de água com base na ETc expressou ser suficiente para promover o maior número de grãos por fileira,

enquanto a adubação nitrogenada tendeu a ter demanda crescente (Figura 12).

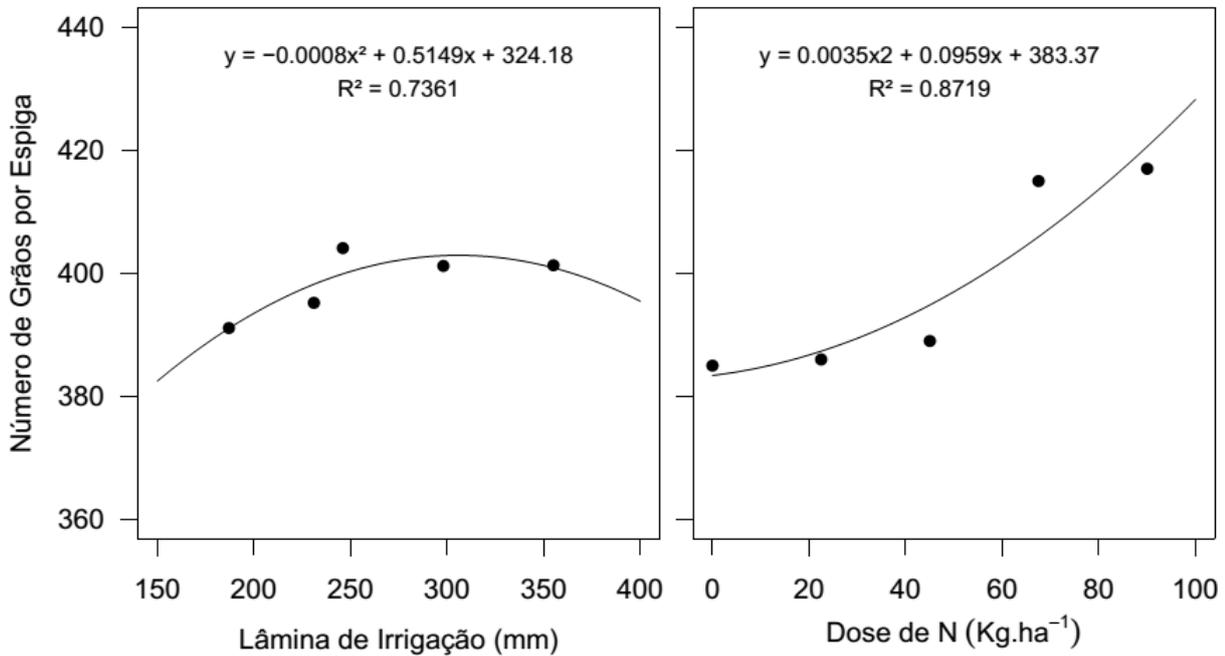
Figura 12. Médias do número de grãos por fileira para os fatores lâmina de irrigação e doses de adubação nitrogenada.



O número de grãos por fileira encontrado no experimento de Marković et al. (2017a), foi de 38 grãos por fileira utilizando 200 Kg ha⁻¹ de N e para o fator lâminas de irrigação com reposição de água no solo de 80 a 100% da capacidade de campo, obtiveram 39 grãos por fileira. Valores maiores do número de grãos por fileira foram relatados por Hafez e Abdelaal (2015), que obtiveram 47,7 e 48,1 grãos por fileira nos anos de 2012 e 2013, respectivamente, aplicando 150 Kg ha⁻¹ de N, valores estes apenas 3,7% maiores em relação à aplicação de 90 Kg ha⁻¹ de N. Ambos os autores supracitados, obtiveram valores maiores do número de grãos por fileira quando comparados ao valor médio encontrado por esta pesquisa, que foi de 28,7 grãos por fileira.

O número de grãos por espiga foi de 391 e 404 para os níveis W1 e W3, respectivamente, para o tratamento lâmina de irrigação que não foi estatisticamente significativo ao teste de Tukey a 5%. O tratamento doses de adubação nitrogenada foi significativo estatisticamente a 5% com valor mínimo de 385 no nível N0 e máximo de 417 grãos por espiga, para o nível N4 (Figura 13).

Figura 13. Médias do número de grãos por espiga para os fatores lâmina de irrigação e doses de adubação nitrogenada.



Valores médios entre 349,17 a 440,50 grãos por espiga foram reportados por Iqbal et al. (2013), que analisaram os componentes de rendimento do milho utilizando cinco combinações de fornecimento de adubação nitrogenada. Já Băşa et al. (2016), encontraram 452 grãos por espiga quando utilizaram adubação nitrogenada na ordem de 120 Kg ha⁻¹ de N, valor este, um pouco maior do encontrado nesta pesquisa, no entanto, com dose de N 33% maior.

Hafez e Abdelaal (2015) obtiveram 408 e 422 grãos por espigas nos anos de 2012 e 2013, respectivamente, aplicando 150 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a maior dose de N aplicada por eles. Notadamente, os valores obtidos para o número de grãos desta pesquisa assemelham-se aos encontrados pelos autores supracitados, mesmo considerando as cultivares, localidades, quantidade de adubo e períodos de cultivos diferenciados.

A produtividade de milho foi obtida por meio da pesagem dos grãos após a secagem natural, com 13% de umidade de grãos, e o resultado obtido da pesagem para cada nível de tratamento foi submetido à análise de variância pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro (Tabela 5).

Tabela 5. Médias de produção de milho em função dos tratamentos lâminas de irrigação e adubação nitrogenada

Tratamento Lâmina de irrigação			Tratamento Adubação Nitrogenada		
Níveis	Lâmina (mm)	Produtividade (Kg ha ⁻¹)	Níveis	Doses de N (Kg ha ⁻¹)	Produtividade (Kg ha ⁻¹)
W1	187	6.999	N0	0	6.208 b
W2	231	7.427	N1	22,5	7.359 a
W3	246	8.064	N2	45	7.846 a
W4	299	7.712	N3	67,5	8.237 a
W5	355	7.703	N4	90	8.254 a
P-valor		0,49			<0,001

P-valor = probabilidade de significância;

Médias seguidas de letras iguais, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

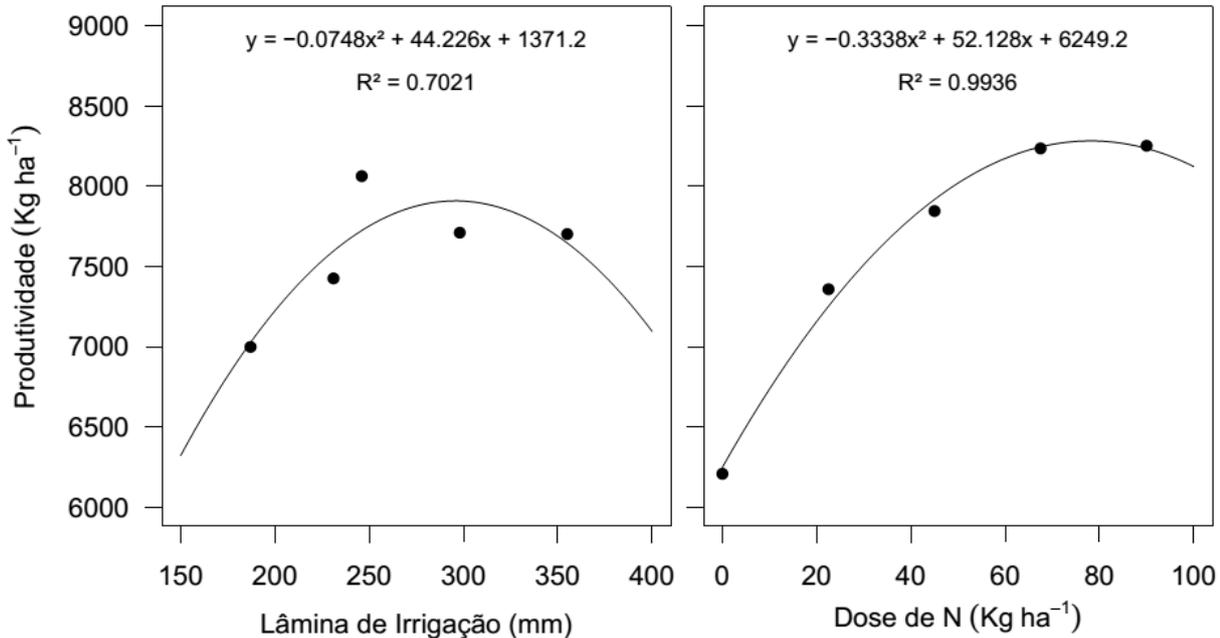
A produtividade de grãos de milho não foi estatisticamente significativa a análise de variância.

A maior produtividade do tratamento lâmina de irrigação foi de 8.064 Kg ha⁻¹ correspondente ao nível W3 equivalente a reposição de 100% da demanda de água com base na ETc. Este valor foi 13% maior em relação ao nível W1 que apresentou a menor produtividade.

As doses de adubação nitrogenada foram estatisticamente significativas ao nível de 5% com P-valor equivalente a <0,001, com valor máximo de 8.254 kg ha⁻¹ na dose de 90 kg ha⁻¹ e comparando com a menor média de produtividade a diferença foi equivalente a 24,8%.

A produtividade foi influenciada pela irrigação até o nível com 100% de reposição de água com base na ETc, diferenciando do nível com 75% da ETc em 7,9%. A produtividade com irrigação superior ao nível de 100% da ETc diminuiu na medida que foi aumento o nível de tratamento. Para o tratamento doses de adubação nitrogenada, na medida em que aumentou o nível de tratamento, aumentou a produtividade de milho, no entanto, a produtividade para o nível 67,5 Kg ha⁻¹ de N foi semelhante a do nível com 90 Kg ha⁻¹ de N (Figura 14).

Figura 14. Médias de produtividade de grãos analisadas nos fatores lâmina de irrigação e doses de adubação nitrogenada.



Greaves e Wang, (2017) trabalhando com cinco níveis de irrigação, relataram ter encontrado rendimentos de grãos de milho variando de 5.671,3 a 9.112,6 Kg ha⁻¹, atribuindo o maior rendimento a maior lâmina de irrigação aplicada. Já (SILVA et al., 2017b), relataram ter encontrado valor próximo a 10.000 kg ha⁻¹ utilizando irrigação suplementar e valor próximo a 7.000 kg ha⁻¹ na parcela testemunha sem irrigação. Os valores médios de produção do fator lâmina de irrigação obtidos nesta pesquisa são semelhantes aos valores relatados pelos autores supracitados.

Dada à importância da irrigação suplementar para a cultura do milho por meio do gotejamento, Liu et al. (2018), obtiveram um aumento de 14 a 42% na produção quando comparado ao milho produzido no sistema de sequeiro, e observaram ainda que sem a irrigação suplementar em qualquer estágio de desenvolvimento, o estresse hídrico se desenvolve e afeta o rendimento de grãos devido à má distribuição da precipitação, mesmo em anos úmidos com precipitação total maior do que a evapotranspiração da cultura.

A irrigação foi importante principalmente no longo período de ocorrência do veranico tanto no ano de 2016 quanto no ano de 2017, permitindo que não houvesse estresse hídrico por falta de água. O estresse hídrico é um dos motivos que mais pode comprometer o desenvolvimento das culturas e afetar a produtividade não

apenas pela falta de água, pois, Marković et al., (2017) relataram que no seu experimento no ano de 2010 que foi extremamente úmido, a produtividade do milho na parcela irrigada foi reduzida devido à quantidade excessiva de chuvas e também à irrigação excessiva.

Ran et al. (2016), trabalhando com três lâminas de irrigação na cultura do milho, reportam aumentos de 62,1% no ano de 2013 e 52,9% no ano de 2014 entre o maior e menor nível de irrigação, percentuais estes que são expressivos no aumento de produtividade.

A irrigação com 100% de reposição de água com base na ETc promoveu o maior rendimento de grãos. Segundo Marković et al. (2017), a irrigação aplicada para atingir o teor de água no solo de 80 a 100% da capacidade de campo, aumentou a produtividade de grãos, independentemente do efeito da adubação nitrogenada. Marković et al. (2018), verificaram aumento não apenas no rendimento de grãos, como em todos os componentes de rendimento, por meio da irrigação.

Para verificar se a condição de solo influenciou na redução de rendimento de grãos de milho do ano agrícola de 2017, foi realizada logo após a colheita uma análise de solo com amostras coletadas em cada subparcela (Tabela 6, em anexo). Verifica-se na Tabela 6, que a variação do pH do solo não o tornou ácido às plantas, que a relação Ca e Mg se manteve semelhante a análise de solo inicial, e que os valores de saturação por base (V) permaneceram dentro da faixa requerida pela cultura do milho, com pequenas diferenças entre os valores de cada subparcelas.

Com relação ao fator doses de adubação nitrogenada, Andrade et al. (2016), encontraram valores de produção de milho que variaram de 1.032 kg ha⁻¹ ao utilizar 0% de N a 10.221 kg ha⁻¹ utilizando 100% da necessidade de N indicada para a cultura, configurando a importância da adubação nitrogenada no rendimento de grãos de milho. Dada à importância do efeito da adubação nitrogenada na cultura do milho, Marković et al. (2017), obtiveram um aumento da produtividade de milho em três anos de cultivos, com aplicação de 200 Kg ha⁻¹ de N, destacando ainda que no segundo ano de cultivo, que foi o mais seco, o aumento foi de 55% comparado com a testemunha.

Boyer et al. (2014), testando várias doses de N, relataram que as taxas de fertilização com nitrogênio que maximizam o lucro variaram de 200 a 211 kg N ha⁻¹

para o milho irrigado e de 159 a 180 kg N ha⁻¹ para o milho não irrigado, enfatizando que a irrigação aumentou a produtividade do milho e resultou em maiores consumos de fertilizantes nitrogenados.

Trabalhando com híbridos de várias eras, ou seja, híbridos que foram cultivados nas décadas de 1960, 1970, 1980, 1990 e 2000, Woli et al. (2016) constataram que para as cultivares modernas da era 2000, o rendimento de grãos aumentou em 65% e a biomassa total da planta em 45% utilizando 228 kg ha⁻¹ de N.

Bello et al. (2014) constataram que a produtividade média de grãos de milho aumentou em 48,4% quando aumentaram a dose de 0 para 30 kg ha⁻¹ de N e 62,4% quando aumentaram de 30 para 90 kg ha⁻¹ de N.

A maior dose de adubação nitrogenada utilizada pelos autores supracitados foi exatamente igual à utilizada nesta pesquisa, evidenciando que a necessidade de N para o cultivo de milho é variada de acordo com cada situação. A exemplo disso, Yan et al. (2017), trabalhando com diferentes densidades de milho, relataram que a taxa mínima calculada de N necessária para atingir o rendimento máximo de grãos aumentou de 131 para 150 kg ha⁻¹ de N em relação aos espaçamentos de 6 e 7,5 plantas m⁻², respectivamente.

Nesta pesquisa, comparando o rendimento médio do milho nos dois ciclos, verifica-se que do ano de 2017 foi 34% menor que o rendimento do milho do ano de 2016. Vários motivos podem ter contribuído para justificar essa redução, dentre eles, o fato do milho ter sido cultivado na mesma área nos dois anos consecutivos. Conforme Sárvári e Pepó (2014), o ano-safra tem uma enorme influência sobre os rendimentos do milho no sistema de cultivo extensivo, causando uma enorme flutuação no rendimento mesmo com ótimas condições de fertilização, densidade de plantio e irrigação.

As condições de solo, de acordo com a análise da Tabela 1, apresentaram-se favoráveis ao cultivo do segundo ano e as doses de adubação nitrogenada foram determinadas seguindo o mesmo critério para os dois anos. Sob essa afirmativa, Amado et al. (2013) observaram que na safra 2010 com a dose máxima de 180 kg ha⁻¹ obtiveram a maior produtividade de milho, já na safra 2011, a dose de N mais eficiente foi de 60 kg ha⁻¹, três vezes menor do que a primeira, justificada pelos autores por forte influência das condições climáticas sobre a eficiência do uso de

nitrogênio.

Tanto no ciclo de 2016 quanto no ciclo de 2017, ocorreram chuvas e veranicos. No segundo ano, o volume de chuva foi maior, porém a distribuição foi melhor no primeiro ano. Situação semelhante foi reportada por Madić et al. (2017), que trabalhando com 12 híbridos de milho nos anos 2010 e 2011, constataram uma redução na produção de todos os híbridos no segundo ano de cultivo, isso porque segundo os autores, a ocorrência de chuva em 2010 além de ter sido maior, foi melhor distribuída ao longo do período de crescimento.

O período de semeadura é outro motivo importante que deve ser observado, levando em consideração as condições climáticas de cada fase fenológica da cultura, sendo que a antecipação ou a semeadura atrasada pode comprometer o rendimento de grãos. No ciclo de 2017, houve um atraso de 11 dias da semeadura em relação ao ciclo de 2016. Trabalhando com diferentes datas de semeadura de milho sob limitação de água para irrigação, Li e Sun (2016), constataram que a aplicação de uma única lâmina de irrigação em diferentes datas pode aumentar a produção de milho de 3 a 35%.

De acordo com Kablan et al. (2017), o plantio atrasado de milho faz aumentar o consumo de N, sendo que isso pode ser explicado pelo fato de que o plantio atrasado reduz a capacidade do milho de responder às maiores taxas de N. Ambos autores supracitados obtiveram rendimentos de milho diferenciados em suas repetições e atribuíram o menor rendimento obtido a utilização de datas de semeadura diferenciadas.

Outro motivo que influenciou na diminuição da produtividade no ano de 2017 em relação ao ano de 2016 foi a densidade de plantas final. Em 2017 houve uma redução de 10% das plantas em relação a semeadura, e em 2016 a redução foi de 15%.

Sobre essa problemática, Ferreira (2000) relata que plantas vizinhas a uma falha sempre produzem mais que plantas em plena competição, o que de fato aconteceu em campo, pois os componentes de rendimento de 2016 foram superiores aos de 2017, conferindo maior produtividade.

2.4 CONCLUSÕES

Conclui-se que, para o ano de 2017, a irrigação suplementar influenciou na produtividade de milho no período de maior demanda hídrica da cultura;

A precipitação pluvial na segunda safra de milho no ano de 2017 foi quase suficiente para atender a demanda hídrica da cultura, porém, a má distribuição resultou em um longo período de veranico durante o florescimento até o início da maturação;

A lâmina de irrigação com 100% de reposição da necessidade de água com base na ETc, proporcionou uma produtividade 15,2% superior ao nível com 50% da ETc.

Com base nos valores médios encontrados e analisando o fator doses de adubação nitrogenada, a utilização de 67,5 e 90 Kg ha⁻¹ de N resultaram nas maiores produtividades de grãos de milho no ano de 2017.

REFERÊNCIAS (do capítulo 2)

- ABERA, T.; DEBELE, T.; WEGARY, D. Effects of varieties and nitrogen fertilizer on yield and yield components of maize on farmers field in mid altitude areas of Western Ethiopia. **International Journal of Agronomy**, v. 2017, p. 1–13, 2017.
- ALLEN, R., G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Rome, FAO Irrigation and Drainage Paper**, **56**, 1998. 326 p.
- AMADO, T. J. C. et al. Efficiency of nitrogen fertilizer applied at corn sowing in contrasting growing seasons in Paraguay. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1641–1650, dez. 2013.
- AMANULLAH et al. Nitrogen source and rate management improve maize productivity of smallholders under semiarid climates. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 30 nov. 2016.
- ANDRADE, A. T. et al. Produtividade de milho em função da redução do nitrogênio e da utilização de *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 229–239, 30 ago. 2016.
- BARAL, B. R.; ADHIKARI, P. Use of optical sensor for in-season nitrogen management and grain yield prediction in maize. **Journal of Maize Research and Development**, v. 1, n. 1, p. 64, 30 dez. 2015.
- BĂȘA, A. G. et al. Grain yield and yield components at maize under different preceding crops and nitrogen fertilization conditions. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 10, p. 104–111, 2016.
- BELLO, O. et al. Genetic gains in three breeding eras of maize hybrids under low and optimum nitrogen fertilization. **Journal of Agricultural Sciences, Belgrade**, v. 59, n. 3, p. 227–242, 2014.
- BELLO, O. B. et al. Nitrogen use efficiency and grain yield in a diallelic cross of maize populations. **International Journal of Plant Research**, v. 2, n. 3, p. 94–102, 9 maio 2012.
- BOYER, C. N. et al. The impact of field size and energy cost on the profitability of supplemental corn irrigation. **Agricultural Systems**, v. 127, p. 61–69, maio 2014.
- COSTA, N. R. et al. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 8, p. 1038–1047, 2012.
- DEVKOTA, K. P. et al. Fertilizers, hybrids, and the sustainable intensification of maize systems in the rainfed mid-hills of Nepal. **European Journal of Agronomy**, v. 80, p. 154–167, out. 2016.
- EL-HENDAWY, S. E.; HOKAM, E. M.; SCHMIDHALTER, U. Drip Irrigation Frequency: The Effects and Their Interaction with Nitrogen Fertilization on Sandy Soil Water Distribution, Maize Yield and Water Use Efficiency Under Egyptian Conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 3, p. 180–192, jun. 2008.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3^a ed. rev. e ampl. Brasília: 2013. 353 p.

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à Agronomia**. 3^a ed. Maceió EDUFAL, 2000. 422 p.

GREAVES, G. E.; WANG, Y.-M. Effect of regulated deficit irrigation scheduling on water use of corn in southern Taiwan tropical environment. **Agricultural Water Management**, v. 188, p. 115–125, jul. 2017.

HAFEZ, E. M.; ABDELAAL, K. A. A. Impact of nitrogen fertilization levels on morphophysiological characters and yield quality of some maize hybrids (*Zea mays* L.). **Egyptian Journal of Agronomy**, v. 37, n. 1, p. 35–48, 1 jun. 2015.

HEJAZI, L.; SOLEYMANI, A. Effect of different amounts of nitrogen fertilizer on grain yield of forage corn cultivars in Isfahan. **International journal of Advanced Biological and Biomedical Research**, v. 2, n. 3, p. 608–614, 2014.

İDİKUT, L.; KARA, S. N. The effects of previous plants and nitrogen rates on second crop corn. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 16, n. 2, p. 239–244, 2011.

IQBAL, S. et al. Nitrogen management studies in maize (*Zea Mays* L.) Hybrids. **Cercetari Agronomice in Moldova**, v. 46, n. 3, p. 39–48, 1 set. 2013.

KABLAN, L. A. et al. Variability in corn yield response to nitrogen fertilizer in Eastern Canada. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 5, p. 2231–2242, 2017.

KAMAN, H.; KIRDA, C.; SESVEREN, S. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 5, p. 801–807, mar. 2011.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Das Geographische system der klimate. **Handbuch der Klimatologie**. Berlin. p. 1–44, 1936.

LI, Z.; SUN, Z. Optimized single irrigation can achieve high corn yield and water use efficiency in the corn belt of Northeast China. **European Journal of Agronomy**, v. 75, p. 12–24, abr. 2016.

LIAQAT, W.; AKMAL, M.; ALI, J. Sowing dates effect on production of high yielding maize varieties. **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 34, n. 1, p. 102–113, fev. 2018.

LIU, Y. et al. Estimation of irrigation requirements for drip-irrigated maize in a sub-humid climate. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 3, p. 677–692, mar. 2018.

MADIĆ, M. et al. Grain yield of maize hybrids at different plant densities. **Acta agriculturae Serbica**, v. 22, n. 44, p. 157–167, 2017.

MARKOVIĆ, M. et al. The response of maize (*Zea mays* L.) grain yield to water and nitrogen supply in an Eastern Croatian environment: maize yield in water and nitrogen supply. **Irrigation and Drainage**, v. 66, n. 2, p. 206–217, abr. 2017.

- MARKOVIĆ, M. et al. Yield and yield components of maize (*Zea Mays* L.) hybrids as affected by irrigation scheduling and meteorological conditions. **Agriculturae Conspectus Scientif**, v. 83, n. 1, p. 39–44, 2018.
- OLIVEIRA, Z. B. DE. Rendimento de grãos de milho irrigado por gotejamento subterrâneo e estimativa da irrigação com dados da previsão do tempo. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 1, p. 40–51, 27 mar. 2018.
- OLIVEIRA, L. A. M. et al. Estimativa de produção em áreas irrigadas sob o cultivo da cultura do milho utilizando imagens de satélite. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 1, p. 400–409, 29 fev. 2016.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RAN, H. et al. Effects of irrigation and nitrogen management on hybrid maize seed production in North-West China. **Frontiers of Agricultural Science and Engineering**, v. 3, n. 1, p. 55–64, 2016.
- SÁRVÁRI, M.; PEPÓ, P. Effect of production factors on maize yield and yield stability. **Cereal Research Communications**, v. 42, n. 4, p. 710–720, dez. 2014.
- SEMENCENKO, V. et al. A genetic base of utilisation of maize grain as a valuable renewable raw material for bioethanol production. **Genetika**, v. 47, n. 1, p. 171–184, 2015.
- SILVA, A. N. DA et al. Maize response to nitrogen: timing, leaf variables and grain yield. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 1, p. 85, 2017a.
- SILVA, G. U. DA et al. Manejo de irrigação via solo e clima na cultura do milho (*Zea mays* L.) na região de Alegre/RS. **Revista de Ciência e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 101, 21 jul. 2017b.
- VELJKOVIĆ, V. B. et al. Biodiesel production from corn oil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p. 531–548, ago. 2018.
- VIEIRA FONTOURA, S. M.; BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 33, n. 6, 2009.
- WANG, G. L. et al. Determining the optimal nitrogen rate for summer maize in China by integrating agronomic, economic, and environmental aspects. **Biogeosciences**, v. 11, n. 11, p. 3031–3041, 11 jun. 2014.
- WOLI, K. P. et al. Corn Era Hybrid response to nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 2, p. 16, 2016.
- YAN, P. et al. A high plant density reduces the ability of maize to use soil nitrogen. **PLOS ONE**, v. 12, n. 2, p. 1–12, 24 fev. 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A irrigação suplementar foi indispensável no cultivo de milho segunda safra tanto no ano de 2016 quanto no ano de 2017. Em ambos os anos, foi verificada a ocorrência de veranico na fase de maior demanda hídrica para a cultura, com duração de 38 e 60 dias no primeiro e segundo ano respectivamente.

A produtividade de grãos de milho foi maior utilizando a lâmina com 100% de reposição da necessidade de água em relação à ETc nos anos de 2016 e 2017. Observa-se que a diferença de rendimento quando comparado os níveis de 100% e 50% da ETc, foi de 3,3 e 15,2% no primeiro e segundo ano de cultivo, respectivamente. A diferença para o ano de 2017 foi maior em função do maior período que o milho foi irrigado, expressando melhor a diferenciação entre os níveis de irrigação aplicados.

Para o fator doses de adubação nitrogenada, o maior rendimento foi obtido no nível utilizando 90 kg ha⁻¹ de N nos anos de 2016 e 2017. A variação de rendimento entre os maiores valores médio e a dose 0 kg ha⁻¹ de N, foram de 2,7 e 24,8% no primeiro e segundo ano, respectivamente.

Embora a irrigação suplementar tenha sido importante e influenciado na produtividade, sugere-se que outras análises possam ser feitas comparando com cultivo sem irrigação.

REFERÊNCIAS (da introdução geral)

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 9, p. 831–839, 2004.

FIESP: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **2º levantamento USDA da safra 2018/19**, informativo Junho/2018. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

LINK, J. et al. Evaluating the economic and environmental impact of environmental compensation payment policy under uniform and variable-rate nitrogen management. **Agricultural Systems**, v. 91, n. 1–2, p. 135–153, nov. 2006.

MIKOVA, A.; ALEXANDROVA, P.; DIMITROV, I. Maize Grain Yield Response to N Fertilization, Climate and Hybrids. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 19, n. 3, p. 453–460, 2013.

MUELLER, N. D. et al. Closing yield gaps through nutrient and water management. **Nature**, v. 490, n. 7419, p. 254–257, out. 2012.

O'NEILL, P. M. et al. Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. **Agronomy journal**, v. 96, n. 6, p. 1660–1667, 2004.

PAVINATO, P. S. et al. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, 2008.

TILMAN, D. et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260–20264, 13 dez. 2011.

ANEXO

Tabela 6. Análise de solo das 100 subparcelas de cultivo do milho no ano agrícola de 2017

Prof.	pH	M.O	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmol/dm ³ -----								
0 - 20	5,2	13	14	-	23	-	2,7	43	20	66	89	74
0 - 20	5,2	20	17	-	23	-	0,9	29	14	44	67	65
0 - 20	5,1	16	14	-	26	-	2,0	37	18	57	83	69
0 - 20	5,0	18	17	-	26	-	2,3	35	17	54	80	67
0 - 20	5,3	17	14	-	24	-	1,4	34	17	52	76	69
0 - 20	5,4	17	16	-	22	-	1,3	38	17	57	79	72
0 - 20	5,2	17	14	-	26	-	0,9	28	13	42	67	62
0 - 20	5,3	22	12	-	23	-	1,1	31	15	47	70	67
0 - 20	5,1	21	17	-	27	-	1,6	34	16	52	79	66
0 - 20	5,2	19	16	-	25	-	2,3	30	16	49	73	66
0 - 20	5,1	19	17	-	25	-	1,7	28	16	45	70	65
0 - 20	5,2	16	11	-	27	-	1,4	30	19	50	77	65
0 - 20	5,0	20	13	-	31	-	1,6	40	16	57	88	65
0 - 20	5,2	16	15	-	26	-	2,1	26	14	41	67	62
0 - 20	5,1	20	19	-	29	-	3,2	30	15	49	78	63
0 - 20	5,3	23	18	-	27	-	2,3	30	18	51	77	65
0 - 20	5,2	23	16	-	29	-	4,4	27	15	46	74	61
0 - 20	5,1	20	15	-	29	-	1,5	35	16	53	81	65
0 - 20	5,4	21	17	-	23	-	3,0	40	19	62	85	73
0 - 20	5,4	25	22	-	24	-	2,3	23	17	43	66	64
0 - 20	5,1	20	17	-	32	-	2,2	32	19	53	85	62
0 - 20	5,4	18	20	-	24	-	3,0	25	19	47	71	66
0 - 20	5,2	16	12	-	29	-	1,5	29	16	47	76	62
0 - 20	5,4	22	15	-	27	-	1,6	32	19	53	79	66
0 - 20	5,3	23	14	-	29	-	2,0	23	16	42	71	59
0 - 20	6,0	23	18	-	16	-	2,7	37	19	59	75	78
0 - 20	5,8	24	16	-	17	-	2,0	40	21	63	80	78
0 - 20	5,9	24	16	-	18	-	1,6	33	20	55	73	75
0 - 20	5,6	22	16	-	23	-	1,7	43	23	67	90	75
0 - 20	5,7	25	19	-	20	-	2,4	44	23	69	89	77
0 - 20	5,6	20	22	-	23	-	3,7	42	24	70	93	75
0 - 20	5,7	26	15	-	22	-	2,3	37	20	60	82	73
0 - 20	5,6	22	17	-	22	-	2,2	36	21	60	82	73
0 - 20	5,8	22	11	-	20	-	1,4	38	21	60	81	75
0 - 20	5,7	20	16	-	21	-	2,1	40	20	62	83	75
0 - 20	5,8	24	27	-	19	-	3,7	45	24	73	92	80

0 - 20	5,7	24	16	-	22	-	3,0	39	29	71	94	76
0 - 20	5,7	24	16	-	21	-	2,6	39	24	66	87	76
0 - 20	5,5	23	19	-	26	-	2,3	31	21	55	81	68
0 - 20	5,4	21	14	-	26	-	3,4	39	23	65	91	71
0 - 20	5,4	22	11	-	27	-	1,7	38	20	60	87	69
0 - 20	5,3	23	11	-	27	-	2,4	32	21	56	82	68
0 - 20	5,2	21	12	-	29	-	3,0	29	18	51	80	63
0 - 20	5,4	21	14	-	26	-	3,6	32	17	53	79	67
0 - 20	5,4	20	15	-	30	-	2,8	29	19	51	81	63
0 - 20	5,5	24	18	-	24	-	3,4	39	23	66	90	73
0 - 20	5,4	24	14	-	27	-	2,7	37	21	61	89	69
0 - 20	5,4	34	24	-	26	-	4,4	40	23	67	94	72
0 - 20	5,6	29	18	-	23	-	3,0	43	23	68	92	74
0 - 20	5,7	28	21	-	19	-	2,6	49	25	76	96	80
0 - 20	5,4	12	10	-	21	-	1,7	39	17	58	79	73
0 - 20	5,4	8	9	-	21	-	0,9	29	12	42	63	67
0 - 20	5,3	6	17	-	22	-	0,9	37	15	53	76	70
0 - 20	5,6	10	21	-	20	-	1,2	44	16	61	80	75
0 - 20	5,6	11	17	-	20	-	1,4	39	16	57	77	74
0 - 20	5,7	13	22	-	19	-	1,7	39	17	58	76	76
0 - 20	5,6	14	30	-	20	-	1,7	45	19	65	85	76
0 - 20	5,3	13	19	-	23	-	1,6	37	16	55	78	70
0 - 20	5,1	12	25	-	27	-	1,7	41	15	57	85	68
0 - 20	5,4	14	32	-	24	-	2,9	45	17	65	89	73
0 - 20	5,5	14	21	-	24	-	1,8	39	19	60	84	72
0 - 20	5,3	18	25	-	26	-	2,5	45	20	67	93	72
0 - 20	5,1	18	25	-	28	-	1,9	43	19	63	91	69
0 - 20	5,3	19	31	-	26	-	4,3	44	19	67	93	72
0 - 20	5,4	19	30	-	26	-	3,5	38	19	61	87	71
0 - 20	5,5	20	31	-	23	-	5,3	47	21	73	97	76
0 - 20	5,7	19	32	-	21	-	4,8	49	23	77	98	78
0 - 20	5,3	21	21	-	25	-	1,4	42	18	62	86	71
0 - 20	5,3	19	24	-	27	-	2,5	48	21	72	99	72
0 - 20	5,4	18	24	-	25	-	2,1	45	21	68	93	73
0 - 20	5,6	22	35	-	26	-	2,2	48	24	74	100	74
0 - 20	4,9	17	17	-	33	-	2,2	48	19	69	103	68
0 - 20	5,2	20	23	-	29	-	2,0	49	20	71	100	71
0 - 20	5,3	22	24	-	27	-	2,2	44	20	66	93	71
0 - 20	5,4	24	22	-	30	-	1,4	46	21	69	98	70
0 - 20	5,6	25	26	-	21	-	2,6	53	21	77	97	79
0 - 20	5,6	20	28	-	21	-	2,0	55	23	80	102	79
0 - 20	5,7	23	45	-	21	-	2,3	49	21	72	93	78
0 - 20	5,4	19	32	-	22	-	2,3	34	18	54	76	71
0 - 20	5,3	16	29	-	24	-	2,0	49	18	69	94	74

0 - 20	5,6	18	31	-	22	-	2,9	41	21	64	87	74
0 - 20	5,6	14	28	-	22	-	2,6	38	20	60	82	74
0 - 20	5,3	17	30	-	26	-	2,7	63	19	85	111	77
0 - 20	5,7	16	49	-	19	-	3,5	46	19	69	88	78
0 - 20	5,5	17	29	-	25	-	3,0	61	23	88	112	78
0 - 20	5,7	21	37	-	21	-	2,0	37	19	58	79	74
0 - 20	5,6	20	34	-	23	-	3,0	36	19	58	81	72
0 - 20	5,6	21	40	-	23	-	3,0	45	19	66	89	74
0 - 20	5,5	21	40	-	24	-	3,3	53	21	78	102	76
0 - 20	5,6	19	60	-	24	-	2,1	52	23	76	100	76
0 - 20	5,5	22	37	-	27	-	2,7	49	23	74	101	74
0 - 20	5,2	17	70	-	30	-	2,6	39	21	63	92	68
0 - 20	5,4	19	35	-	26	-	3,0	32	19	54	80	68
0 - 20	5,5	20	46	-	26	-	2,2	39	19	60	86	69
0 - 20	5,5	17	40	-	27	-	2,7	45	20	68	94	72
0 - 20	5,8	24	39	-	21	-	2,3	52	24	78	99	79
0 - 20	5,4	19	28	-	28	-	2,2	39	20	62	90	69
0 - 20	5,1	22	81	-	34	-	1,7	37	18	57	90	63
0 - 20	5,1	20	32	-	33	-	2,6	40	17	60	93	64
0 - 20	5,1	22	31	-	37	-	2,5	39	18	59	96	62

Fonte: Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA, UNESP.