

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

OLIENAIDE RIBEIRO DE OLIVEIRA PINTO

MANEJO DO SORGO GRANÍFERO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES
DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO APLICADAS PELO MÉTODO
CONVENCIONAL E POR FERTIRRIGAÇÃO

FORTALEZA

2008

OLIENAIDE RIBEIRO DE OLIVEIRA PINTO

**MANEJO DO SORGO GRANÍFERO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES
DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO APLICADAS PELO MÉTODO
CONVENCIONAL E POR FERTIRRIGAÇÃO**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

FORTALEZA

2008

O45m Pinto, Olienai de Ribeiro de Oliveira
Manejo do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação / Olienai de Ribeiro de Oliveira Pinto, 2008.
75 f.; il. color. enc.

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo
Co-orientadora: Profa. Dra. Albanise Barbosa Marinho
Área de concentração: Irrigação e Drenagem
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias. Depto. de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2008.

1. Quimigação 2. Sorghum bicolor 3. Adubação I. Azevedo, Benito Moreira de (orient.) II. Marinho, Albanise Barbosa (co-orient.) III. Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola IV. Título

CDD 630

CDD 639.2

OLIENAIDE RIBEIRO DE OLIVEIRA PINTO

**MANEJO DO SORGO GRANÍFERO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES
DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO APLICADAS PELO MÉTODO
CONVENCIONAL E POR FERTIRRIGAÇÃO**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Aprovada em: 14 de novembro de 2008.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo (Orientador)

Universidade Federal do Ceará

Dra. Albanise Barbosa Marinho (Co-Orientadora)

Pesquisadora PNPd/CAPES/UFC

Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana (Conselheiro)

Universidade Federal do Ceará

Ao meu esposo Ciro de Miranda Pinto pelo amor,
companheirismo, compreensão, aconselhamentos,
carinho e apoio constante fundamental na minha
vida.

DEDICO

Aos meus pais José Barbosa e Maria Minervina Ribeiro.
Aos meus irmãos Olinardo Ribeiro, Olineide Ribeiro e
Oliane Ribeiro. A minha tia Dinha Ribeiro; a minha avó
Francisca de Sousa Ribeiro *in memoriam*, e a minha
cunhada Ediluisse de Miranda por todo apoio e incentivo
durante a realização desta pesquisa.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força nos momentos mais difíceis.

À Universidade Federal do Ceará, por minha formação e pelas condições oferecidas para a realização graduação e do Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo durante todo o período do curso de Mestrado.

Ao professor e orientador Benito pelo apoio, dedicação, orientação, e ensinamentos, durante todo o mestrado.

À pesquisadora e co-orientadora Albanise Barbosa Marinho, por suas valiosas contribuições para o enriquecimento desta pesquisa, pela dedicação e apoio técnico constante, e pela amizade e admiração, adquiridas com a convivência ao longo deste trabalho.

Ao professor Thales pela ajuda, por suas valiosas contribuições durante a condução da pesquisa, pela amizade conquistada ao longo do curso e por sua participação na banca examinadora.

Aos bolsistas da Graduação e amigos Erlanysom Sampaio, Newdmar Fernandes, André Rufino, Rômulo Bezerra, Alan Diniz e do Mestrado de longa caminhada acadêmica Elisangela Maria e José Bruno, pelo apoio inestimável e contribuições durante todo o trabalho de campo.

Aos amigos Júnior Regis, Jefte Ferreira, Eveline Viana, Ana Paula Araújo, Nílvia Nara, Beatriz Simplicio, Cley Anderson e Fábio Costa pela amizade adquirida durante a jornada acadêmica. E aos mais recentes Marilena Braga, Cláudio Oliveira, Daniel Rodrigues, e Moacir Lima pela amizade adquirida.

Aos amigos do Mestrado Edvam José, Andréia Freitas, Antônia Leila, Fabrício Pinto, Raimundo Crisóstomo, Denise Vieira, Anna Karine, Marcos Mesquita, Jefferson Nobre, Diêgo Nathã, Tony Thiago, Carlos Alexandre Gomes, Antônio Flávio e Adriana Araújo pela amizade adquirida durante o mestrado.

Aos funcionários da Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará pelo apoio e ajuda na condução desta pesquisa.

Ao Sr. Chagas e ao Calixto que ajudaram prontamente nos trabalhos de campo.

Aos professores Claudivan Feitosa e João Bosco Pitombeira pelas valiosas ajudas e sugestões.

*Se não houver frutos,
Valeu pela beleza das flores.
Se não houver flores,
Valeu pela sombra das folhas.
Se não houver folhas,
Valeu pela intenção da semente.
(Henfil)*

RESUMO

MANEJO DO SORGO GRANÍFERO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO APLICADAS PELO MÉTODO CONVENCIONAL E POR FERTIRRIGAÇÃO

Objetivou-se por meio desta pesquisa estudar o manejo do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas pelo método da adubação convencional e por fertirrigação. O experimento foi conduzido na área experimental da Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ceará, no período de março a julho de 2008. Utilizou-se a cultivar EA 955, safra de 2007 de sorgo granífero. O sistema de irrigação utilizado na condução do experimento foi o gotejamento. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições. As doses testadas no experimento de nitrogênio foram: 0; 30; 60; e 120 kg ha⁻¹ pelo método convencional e por fertirrigação. O nitrogênio para os tratamentos fertirrigados foi aplicado 1/3 na adubação de fundação e os 2/3 parcelados em oito aplicações semanais, enquanto, os tratamentos de adubação convencional foram aplicados 1/3 no plantio, 1/3 aos 20 dias e 1/3 aos 45 dias após o plantio. No experimento com potássio as doses testadas foram: 0; 25; 50; e 100 kg ha⁻¹ pelo método convencional e por fertirrigação. A adubação potássica para os tratamentos fertirrigados foi assim aplicada: 1/3 no plantio, e os 2/3 foram parcelados em cinco vezes durante o ciclo da cultura do sorgo via irrigação. Já, nos tratamentos convencionais todo potássio foi aplicado no ato do plantio em fundação. As variáveis estudadas foram: peso de 100 sementes, produtividade, diâmetro maior, comprimento e peso da panícula. Como resultado, verificou-se que na comparação entre os métodos de adubação convencional e por fertirrigação para o nitrogênio, apresentaram respostas significativas para: produtividade, diâmetro maior, comprimento e peso da panícula. A máxima produtividade para adubação convencional de N foi de 7.241 kg ha⁻¹ com dose ótima de 84,74 kg ha⁻¹, e de N fertirrigado produtividade máxima de 7.929 kg ha⁻¹, com a dose ótima de 80,59 kg ha⁻¹. No experimento com potássio as variáveis: produtividade, diâmetro maior e comprimento da panícula apresentaram efeitos significativos. Na adubação com K₂O convencional verificou-se uma produtividade máxima de 3.170 kg ha⁻¹. Porém, para o K₂O aplicado por fertirrigação não foi constatada diferença estatística para a produtividade.

Palavras-chave: Quimigação. *Sorghum bicolor*. Adubação.

ABSTRACT

MANAGEMENT OF GRAIN SORGHUM SUBJECTED TO DIFFERENT LEVELS OF NITROGEN AND POTASSIUM APPLIED BY CONVENTIONAL MEANS AND BY FERTIGATION

The objective of this research is by studying the management of grain sorghum subjected to different levels of nitrogen and potassium applied by the conventional method of fertilization and fertigation. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Meteorological Department of Agricultural Engineering, Federal University of Ceará, Fortaleza, Ceará, in the period March to July of 2008. Using the cultivar EA 955, harvest of grain sorghum in 2007. The irrigation systems used in conducting the experiment was dripping. The experimental design was randomized blocks with seven treatments and four replications. The levels tested in the experiment of nitrogen were: 0, 30, 60, and 120 kg ha⁻¹ by conventional method and by fertigation. Nitrogen for the treatments were applied fertirrigated 1/3 in the fertilization of the foundation and 2/3 applications in eight weekly installments, while the conventional treatments of fertilization were applied 1/3 at sowing, 1/3 to 20 days and 1/3 to 45 days after planting. In the experiment with potassium the levels tested were 0, 25, 50, and 100 kg ha⁻¹ by conventional method and by fertigation. The K fertilization treatments for fertirrigated was thus applied: 1/3 at planting, and 2/3 were split into five times during the crop cycle of sorghum via irrigation. Now, in all conventional treatments potassium was applied at time of planting in foundation. The variables studied were: weight of 100 seeds, productivity, larger diameter, length and weight of the panicle. As a result, it was found that the comparison between the conventional methods of fertilization and fertigation for nitrogen showed significant responses to: productivity, larger diameter, length and weight of the panicle. The maximum productivity for conventional fertilizer N was 7.241 kg ha⁻¹ with optimal level of 84,74 kg ha⁻¹, and N fertirrigated maximum productivity of 7.929 kg ha⁻¹ with the optimal level of 80,59 kg ha⁻¹. In the experiment with potassium variables: productivity, larger diameter and length of panicle showed significant effects. In conventional fertilization with K₂O showed a maximum yield of 3.170 kg ha⁻¹. But, for the K₂O applied by fertigation no statistical difference was found for productivity.

Keywords: Chemigation. *Sorghum bicolor*. Fertilization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Cabeçal de controle para a fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.....	36
FIGURA 2	Visualização do sistema de irrigação por gotejamento na área experimental, Fortaleza, Ceará, 2008.....	36
FIGURA 3	Ilustração de um módulo experimental, Fortaleza, Ceará, 2008.....	38
FIGURA 4	Plântulas de sorgo aos 21 DAE, Fortaleza, Ceará, 2008.....	40
FIGURA 5	Visualização da floração (A), enchimento de grãos (B), panículas protegidas com os sacos de papel (C) e colheita das panículas do sorgo granífero (D), Fortaleza, Ceará, 2008.....	41
FIGURA 6	Figura 6 - Visualização de plantas aos 21 DAE (A) e enchimento de grãos nas panículas (B) do sorgo granífero, Fortaleza, Ceará, 2008.....	43
FIGURA 7	Procedimento de avaliação da colheita do sorgo: 5 panículas (A), diâmetro maior da panícula (B), comprimento da panícula (C), peso da panícula (D), produtividade (E) e peso de 100 sementes (F) Fortaleza, Ceará, 2008.....	44
FIGURA 8	Produtividade do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.	48
FIGURA 9	Diâmetro maior da panícula do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.....	49
FIGURA 10	Comprimento da panícula do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.....	50
FIGURA 11	Peso da panícula do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.	51
FIGURA 12	Produtividade do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.....	52
FIGURA 13	Diâmetro maior da panícula do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.....	53
FIGURA 14	Peso da panícula do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.....	54
FIGURA 15	Produtividade do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.....	54
FIGURA 16	Produtividade do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.....	58
FIGURA 17	Diâmetro maior da panícula do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.....	59
FIGURA 18	Comprimento da panícula do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.....	60

FIGURA 19	Peso da panícula do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.....	60
FIGURA 20	Diâmetro maior da panícula do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.....	62
FIGURA 21	Comprimento da panícula do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.....	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Valores de precipitação e dados médios mensais de temperatura e umidade relativa do ar a 1,5 m de altura e velocidade do vento a 10 m de altura, Fortaleza, Ceará, 2008	33
TABELA 2	Características físico-hídricas na profundidade de 0 – 20 cm do solo da área experimental, Fortaleza, Ceará, 2008.....	34
TABELA 3	Caracterização do solo da área experimental na profundidade de 0 – 20 cm, Fortaleza, Ceará, 2008	34
TABELA 4	Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100S}), produtividade (PROD), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP), e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.....	45
TABELA 5	Produtividade (PROD), diâmetro maior (DMP), comprimento (CP) e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional (Conv.) e por fertirrigação (Fert.), Fortaleza, Ceará, 2008	46
TABELA 6	Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100S}), produtividade (PROD), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP), e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.....	47
TABELA 7	Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100S}), produtividade (PROD), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP) e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetida a diferentes doses de nitrogênio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.....	51
TABELA 8	Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100S}), produtividade (PROD), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP) e peso da panícula (PP) do sorgo granífero submetida a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.....	55
TABELA 9	Produtividade (PROD.), diâmetro maior da panícula (DMP) e comprimento da panícula (CP) do sorgo granífero submetida a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008	56
TABELA 10	Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100S}), produtividade (PROD), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP), e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.....	57
TABELA 11	Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100S}), produtividade (PROD.), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP), e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Cultura do sorgo	17
2.2	Manejo de irrigação	19
2.3	Quimigação	22
2.3.1	Manejo da fertirrigação	24
2.4	Manejo da adubação	26
2.4.1	Adubação nitrogenada	27
2.4.2	Adubação potássica	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Localização e caracterização da área experimental	33
3.2	Clima	33
3.3	Solo	34
3.4	Cultura	35
3.5	Preparo da área	35
3.6	Sistema de irrigação	35
3.7	Adubação	37
3.8	Croqui da área experimental	38
3.9	Descrição dos experimentos	39
3.9.1	Experimento I: Adubação nitrogenada	39
3.9.2	Experimento II: Adubação potássica	41
3.10	Variáveis estudadas	43
3.11	Análises estatísticas	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	Experimento I: Adubação nitrogenada	45
4.1.1	Adubação nitrogenada aplicada pelo método convencional e por fertirrigação	45
4.1.2	Adubação nitrogenada aplicada pelo método convencional	47
4.1.3	Adubação nitrogenada aplicada por fertirrigação	51
4.2	Experimento II: Adubação potássica	55
4.2.1	Adubação potássica aplicada pelo método convencional e por fertirrigação	55

4.2.2	Adubação potássica aplicada pelo método convencional.....	57
4.2.3	Adubação potássica aplicado por fertirrigação.....	61
5	CONCLUSÕES	64
6	RECOMENDAÇÃO	65
7	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma espécie de origem tropical que hoje se encontra cultivada em quase todas as partes do planeta, sendo utilizado como principal fonte de alimento em grande parte dos países da África, Sul da Ásia e América Central, e importante componente da alimentação animal nos Estados Unidos, Austrália e América do Sul. Além disso, os grãos podem ser utilizados na produção de farinha para panificação, amido industrial, álcool e a palhada para forragem ou cobertura de solo (WAQUIL et al., 2003).

A produção de sorgo no Brasil tem aumentado nos últimos anos, tanto pela expansão da área plantada, quanto pelos acréscimos de produtividade, principalmente, em plantios de sucessão. No Sudeste e Centro-oeste, com destaque para os estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e a região do Triângulo Mineiro, onde se concentram aproximadamente 85% do sorgo granífero plantado no Brasil (SANTOS, 2007).

O potencial produtivo de uma cultura pode ser definido como o rendimento apresentado por ela, quando cultivada em ambientes ao qual estão adaptadas, sem limitações de nutrientes e sem estresses bióticos e abióticos (ARGENTA et al., 2003). A produtividade de grãos de sorgo, normalmente, pode ultrapassar 10 t ha^{-1} e 7 t ha^{-1} , respectivamente, em condições favoráveis no verão e em plantios de sucessão. Entretanto, as condições em que predominantemente o sorgo se desenvolve não possibilitam a expressão de todo o seu potencial, uma vez que a produtividade média alcançada nas lavouras está em torno de $2,57 \text{ t ha}^{-1}$ (SANTOS, 2007).

O cultivo do sorgo é especialmente importante no Nordeste brasileiro, onde metade da região está sobre a influência de fatores adversos, apresentando uma área de cerca de 840.000 km^2 , classificada como semi-árida. A precipitação média anual, nessa região, varia de 500 a 1000 mm, com grandes áreas apresentando precipitação abaixo de 750 mm (MARIGUELE; SILVA, 2002). Essa cultura pode ser também uma opção para áreas irrigadas, principalmente se for considerada a possibilidade de obtenção de várias colheitas de um único plantio, com gastos bem reduzidos (AGUIAR, 1981).

A utilização adequada de água em cultivos irrigados tem condicionado aos produtores a garantia da produção; todavia, a maximização dos recursos naturais e o aumento da produtividade não são obtidos apenas com o fornecimento de água às culturas. A irrigação constitui uma alternativa para a melhoria do rendimento de grande parte das

culturas. Fornecendo água necessária às raízes das plantas, no momento adequado, impedindo que a planta sofra com os efeitos do estresse hídrico e possibilitando o aproveitamento dos nutrientes no solo, proporcionando assim, maior rendimento e melhor qualidade de grãos (FILGUEIRA et al., 1996). Assim, o manejo das irrigações deve atender às necessidades das culturas, de modo a permitir a manifestação de seu potencial produtivo. Assim, para um planejamento racional de irrigações é de fundamental importância o conhecimento de todos os estágios de desenvolvimento da cultura.

A elevação dos níveis de fertilidade do solo é de suma importância para o desenvolvimento e produtividade das plantas. Nos últimos anos, a forma tradicional de aplicação de fertilizantes nas culturas vem sendo substituída pela fertirrigação, que consiste na aplicação de fertilizantes simultaneamente com a água de irrigação. A aplicação de fertilizantes via água de irrigação é uma alternativa bastante promissora à adubação convencional. Ela tem sido utilizada com maiores vantagens em solos de textura arenosa do que em solos de textura argilosa, principalmente com o uso de adubos nitrogenados (ROSA et al., 2006). Estes autores citam, ainda, a vantagem do fracionamento da aplicação de fertilizantes via água de irrigação, uma vez que o fornecimento parcelado de minerais atende às diferentes etapas de desenvolvimento das plantas permitindo maior eficiência e economia dos fertilizantes.

O nitrogênio e o potássio são os elementos aplicados com maior frequência via água de irrigação; enquadram-se perfeitamente a essa técnica, por serem elementos bastante solúveis em água e por apresentarem alta mobilidade no solo.

O parcelamento da adubação nitrogenada pode aumentar a eficiência de uso do nitrogênio, reduzindo as perdas por lixiviação. Assim, o adequado aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados depende, também, de um eficiente suprimento de potássio às plantas (COELHO, 1994).

Com a necessidade de um aumento da produtividade agrícola no país, torna-se primordial o avanço científico nos estudos das necessidades nutricionais das diversas culturas, bem como a maneira como os nutrientes são disponibilizados para as plantas. O conhecimento das limitações nutricionais torna-se cada vez mais um fator de relevada importância para a ciência e para a agricultura (BRADY, 1983).

Dentro desse enfoque, objetivou-se estudar o manejo do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas pelo método da adubação convencional e por fertirrigação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do sorgo

A origem do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) está provavelmente na África, embora algumas evidências indiquem que possa ter havido duas regiões de dispersão independentes: África e Índia. A expansão da cultura do sorgo ocorreu nos Estados Unidos, a partir da década de 50, com o surgimento das variedades híbridas de porte baixo, adaptadas a colheita mecânica (PITOMBEIRA, 2005). O sorgo é uma planta anual, pertencente à família Gramineae, com ciclo de 100 a 120 dias (híbridos precoces). Apresenta um porte ereto e seus grãos têm constituição química semelhante à do milho (SOUZA, 2006).

Existem cinco tipos de sorgo: granífero, forrageiro, silageiro, vassoura e sacarino. O tipo granífero, possui maior área cultivada, e constitui basicamente um ingrediente para rações utilizadas na alimentação de aves, suínos e bovinos (TESINI, 2003). As cultivares de sorgo granífero além da produção de grãos podem ser aproveitadas para rebrota, forragem ou cobertura de solo, desde que a temperatura e a umidade do solo sejam favoráveis ao seu desenvolvimento (SANTOS; TARDIN, 2003). Alguns exemplos de cultivares de sorgo graníferos como: a cultivar EA 955 adaptada ao semi-árido cearense, possui uma produtividade média de 4,4 t ha⁻¹ (POMPEU et al., 2005), e a IPA 7301011 adaptada ao semi-árido de Alagoas possui uma produtividade média de 3 - 7 t ha⁻¹ (SECRETARIA DE AGRICULTURA DE ALAGOAS, 2006).

O sorgo é uma planta C₄ de dia curto, tolera mais o déficit de água e o excesso de umidade no solo do que a maioria dos outros cereais e pode ser cultivada numa ampla faixa de condições de solo (MAGALHÃES; DURÃES, 2003). O sorgo é uma planta resistente à seca, e a sua capacidade de recuperação após sofrer stress hídrico é o que o diferencia de outros cereais, como exemplo o milho. No entanto, quando cultivado no período chuvoso, pode ser prejudicado pela ocorrência de excesso de água, inibindo o desenvolvimento normal da planta, dificultando a polinização. Quando ocorre excesso de precipitação pluvial, no período que vai da maturação à colheita, possibilita a germinação dos grãos nas panículas, com a conseqüente queda na qualidade ou perda total dos grãos (AVELAR, 1982).

O consumo de água do sorgo durante seu ciclo varia de 380 a 600 mm, dependendo das condições climáticas dominantes, sendo variado com o estágio de crescimento e desenvolvimento da cultura. Vale ressaltar a importância da água, pois o déficit hídrico tem influência direta na taxa fotossintética, que afeta diretamente a produção de grãos, e sua importância varia com o estágio fenológico em que se encontra a planta (SOUSA, 2007).

A temperatura ótima para o crescimento da cultura está por volta de 33-34°C. Por ser de origem tropical é sensível a temperaturas noturnas mais baixas. Temperaturas superiores a 38°C e inferiores a 16°C reduzem a produtividade (SANS et al., 2003).

O fotoperíodo crítico do sorgo varia de acordo com os diferentes materiais genéticos, no entanto, as variedades tropicais têm fotoperíodo crítico em torno de 12 horas, e as de clima temperadas apresentam um valor crítico em torno de 13,5 horas (MAGALHÃES; DURÃES, 2003). Segundo esses autores, a maioria dos sorgos graníferos comerciais foram melhorados geneticamente para insensibilidade ao fotoperíodo.

O período de desenvolvimento do sorgo consiste em três fases distintas: vegetativa (Etapa de Crescimento 1, EC1), fase reprodutiva (Etapa de Crescimento 2, EC2) e o período de enchimento do grão (Etapa de Crescimento 3, EC3). A EC1 caracteriza-se pela germinação, desenvolvimento da plântula, crescimento das folhas e do estabelecimento de uma porção significativa do sistema radicular. A EC2 tem início quando o meristema apical começa a diferenciar um meristema floral, continua até a inflorescência e termina na antese. Neste estágio, ocorre aumento significativo de matéria seca total, um rápido alongamento dos entrenós no colmo e uma significativa expansão das folhas. A terceira etapa, EC3, é caracterizada pela polinização, fertilização, desenvolvimento e maturação dos grãos e senescência da planta (PITTA et al., 2007).

A diferenciação floral do sorgo é afetada principalmente pelo fotoperíodo e pela temperatura do ar. O período mais crítico para a planta, quando ela não pode sofrer qualquer tipo de estresse biótico ou abiótico, vai da diferenciação da panícula até a diferenciação das espiguetas (2 a 3 semanas de duração). Em condições normais, a diferenciação da gema floral inicia-se 30 a 40 dias após a germinação, mas pode variar de 19 a mais de 70 dias. Em climas quentes, o florescimento, em geral, ocorre entre 55 a 70 dias após a germinação, podendo variar de 30 a mais de 100 dias. Normalmente, a formação da gema floral ocorre de 15 a 30 cm acima do nível do solo, fato esse que ocorre quando as plantas têm cerca de 50 a 75 cm de altura (MAGALHÃES et al., 2007).

O sorgo se adapta bem à maioria dos solos, porém desenvolve-se melhor nos de textura leve a média. O solo deve ter, preferencialmente, aeração e drenagem boas, embora o sorgo seja relativamente tolerante a períodos curtos de encharcamento, possa ser cultivado em áreas com alta intensidade pluviométrica, e em regiões temperadas e tropicais com até 2300 metros de altitude (DORENBOOS; KASSAM, 1979).

Segundo Dorenboos e Kassam (1979) as necessidades de fertilizantes pela cultura do sorgo são até 180 kg ha⁻¹ de (NH₄)₂SO₄, 20 a 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e 35 a 80 kg ha⁻¹ de K₂O.

No Brasil, as zonas de adaptação da cultura se concentram no Sul (região de fronteira) em plantios de verão, no Brasil Central, em sucessão a plantios de verão, e no Nordeste, em plantios nas condições do semi-árido, com altas temperaturas e precipitação inferior a 600 mm anuais (SANTOS; TARDIN, 2003).

O sorgo está substituindo o milho na formulação de ração animal nos períodos que antecedem a safra de milho, quando a produção é escassa, evitando o aumento dos preços das rações. Isso ocorre porque o ciclo da cultura do sorgo é menor em relação ao do milho (VON PINHO; VASCONCELOS, 2002).

2.2 Manejo de irrigação

A irrigação é uma prática agrícola de fornecimento de água às culturas, onde e quando as chuvas, ou qualquer outra forma natural de fornecimento não são suficientes, para suprir as necessidades hídricas das plantas (GOMES, 1997). O suprimento das necessidades hídricas é o principal objetivo da irrigação, que durante o crescimento e desenvolvimento das culturas recoloca no solo a quantidade de água consumida através do processo de evapotranspiração.

O manejo de irrigação busca suprir a necessidade hídrica da cultura na medida certa, sem déficit, nem excesso. É muito importante, para se obter sucesso na produção e também para preservar o meio ambiente, que o manejo de irrigação seja feito de forma adequada (MENEGHETTI, 2006).

Com a utilização da irrigação, se torna possível realizar mais de uma safra anual, permitindo o aproveitamento intensivo do solo, inclusive dos cerrados e das regiões secas,

minimizando as incertezas do clima e elevando substancialmente a produtividade agrícola (SANTANA, 2003).

Bernardo (1995) destaca, também, a possibilidade de aumento expressivo da produtividade e da demanda de mão-de-obra, promovendo a fixação do homem no meio rural, diminuindo o risco de investimento em virtude do uso de uma agricultura com nível tecnológico mais elevado, permitindo maior eficiência no uso de fertilizantes e tornando possível à introdução de culturas de maior valor econômico.

O manejo racional da irrigação consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto. Por não adotar um método de controle da irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um estresse hídrico, o que pode comprometer a produção. Esse excesso tem como consequência o desperdício de energia e de água, usados em um bombeamento desnecessário (LIMA et al., 2007), além do fato do excedente hídrico também ser prejudicial à produção agrícola, uma vez que ocorre redução do espaço aéreo no solo e o processo de respiração radicular é também prejudicado (PARIZI, 2007).

De acordo com Alves Júnior (2006), o manejo da irrigação envolve a tomada de decisão sobre quando irrigar e quanto de água aplicar. Se não houver uma correta definição entre essas duas variáveis, o irrigante estará fazendo um uso ineficiente da água, seja pela aplicação em excesso ou aquém das necessidades da planta. A definição do momento certo de irrigar, além de proporcionar melhor distribuição no uso da água, poderá ter como consequência, um aumento de produtividade das culturas (GONDIM et al., 2000).

Paz et al. (2000) salientam que, apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos. Estima-se que, a nível mundial, no ano de 2020 os índices de consumo de água para a produção agrícola sejam mais elevados na América do Sul, África e Austrália. Pode-se prever um incremento maior da produção agrícola no hemisfério Sul, especialmente pela possibilidade de elevação da intensidade de uso do solo que, sob irrigação, produz até três cultivos por ano (PARIZI, 2007).

Parizi (2007) relata que a água deve ser aplicada ao solo quando o seu potencial hídrico ainda está suficientemente alto (menos negativo), sem expor a planta a uma carência de água que afete seu desenvolvimento e, quando a condutividade hidráulica do solo, ainda que estiver suficientemente grande, para atender a demanda evaporativa da atmosfera. Deve ser fornecida na quantidade certa para evitar perdas, tanto por escoamento superficial, quanto por drenagem profunda. Esse autor destaca que, normalmente, os sistemas de

irrigação são dimensionados para atender as necessidades de água da cultura durante os períodos de máximo consumo de água. Fora estes períodos, se os sistemas operarem em sua capacidade de projeto, um excesso será perdido por drenagem profunda levando consigo nutrientes para fora da zona radicular. Assim, para o manejo de água de irrigação se proceder dentro de um critério racional, é necessário um controle diário de umidade do solo, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Para tanto, é indispensável o conhecimento de parâmetros relacionados à planta, ao solo e ao clima, só deste modo pode-se determinar o momento oportuno de promover a irrigação e a quantidade de água a ser aplicada.

Os sistemas de irrigação pressurizados (Aspersão, pivô central, gotejamento e microaspersão) são os que melhor se prestam para a fertirrigação, uma vez que a água é conduzida em condutos fechados e sob pressão, permitindo um melhor controle das aplicações, além de oferecer maior flexibilidade de manejo (PIZARRO, 1987).

O sistema de irrigação por gotejamento, desenvolvido em Israel na década de 60, surgiu com o intuito de irrigar pequenas áreas (NOGUEIRA; GORNAT, 1990). Posteriormente, este sistema expandiu-se para todo o mundo, nas mais diversas culturas economicamente rentáveis (SOUZA; MATSURA, 2004), e no Brasil o primeiro relato desse sistema foi em 1972 (COSTA et al., 1994).

A irrigação por gotejamento compreende a aplicação de pequenas quantidades de água diretamente na zona radicular das plantas, pela fonte pontual ou linha de gotejadores sobre ou abaixo do solo, com pressões de operação, cuja variação está entre 20 a 200 kPa e baixa vazão, de 1 a 30 L h⁻¹ (AZEVEDO, 1986).

Para obter uma boa uniformidade de aplicação de fertilizantes, estes devem ser solúveis em água e não reagir entre si, formando precipitado, o que levaria a obstruções freqüentes do sistema. Para evitar estes problemas, a concentração dos fertilizantes usados na água de irrigação não deve ultrapassar 700 ppm e o intervalo básico deve estar entre 200 e 400 ppm, principalmente através de gotejadores, que devido à reduzida velocidade da água na tubulação, poderá ocorrer precipitação dos nutrientes da solução, resultando em obstruções dos emissores (PIZARRO, 1987).

2.3 Quimigação

O desenvolvimento da agricultura, a intensidade dos cultivos, o aspecto econômico, a falta de água em algumas regiões e a escassez de mão-de-obra requerem maior eficiência e controle nas aplicações de água e fertilizantes. Tem-se mostrado que a fertilização combinada com a irrigação responde às necessidades agrícolas, sendo adaptável aos diferentes planos de irrigação em todos os sistemas, sejam eles fixos, semi-fixos ou móveis. Em face disso, muitos irrigantes têm utilizado o sistema de irrigação para aplicar produtos químicos via água de irrigação. Portanto, a quimigação é o nome genérico dado à prática que faz uso do sistema de irrigação para aplicação de produtos químicos (ALVES et al., 1993).

A quimigação começou a ser usada nos Estados Unidos da América na década de 70. No entanto, não é nova a idéia de aplicar fertilizantes na lavoura usando água de irrigação como veículo. Há centenas de anos, o lançamento de esterco de animal em canais de irrigação já era prática usual. Portanto, com o aparecimento dos sistemas de irrigação por pivô central, no final da década de 40, e a expansão de seu uso, na década de 50, permitiram a aplicação de fertilizantes por meio da água de irrigação de maneira mais ampla (COSTA et al., 1994).

A quimigação é uma técnica em grande expansão no país e ambientalmente segura, com as pesquisas mais recentes e os avanços obtidos nos sistemas de irrigação e equipamentos de injeção permitem uma expansão do número de produtos aplicáveis pela água de irrigação como: fertilizantes, herbicidas, fungicidas, inseticidas, nematicidas, agentes de controle biológico, reguladores de crescimento entre outros (CUNHA, 2001).

Com a expansão do uso dessa técnica gerou novos termos como: fertirrigação (fertigação), herbigação, fungigação, insetigação, nematigação, pestigação entre outros. Realizada de maneira correta, a quimigação representa, na atualidade, uma importante tecnologia na agricultura irrigada (COSTA et al., 1994).

Para Pereira e Melo (2008), a aplicação da quimigação é possível com todos os métodos de irrigação: superfície, aspersão e localizada (gotejamento e microaspersão). No entanto, as irrigações por superfície e gotejamento só permitem a quimigação de agro-químicos que necessitam ser distribuídos na superfície do solo ou no seu perfil; são incluídos nessa categoria os nematicidas, os fertilizantes, muitos herbicidas e alguns fungicidas e inseticidas. Por outro lado, na irrigação por aspersão os produtos químicos

podem ser aplicados tanto no solo quanto nas folhas. A maioria dos inseticidas e fungicidas, muitos herbicidas e a maioria dos agentes de controle biológico precisam ser aplicados na folhagem das plantas. Portanto, o método de irrigação, em muitos casos, impõe restrições ao tipo de produto químico a ser aplicado.

Cunha (2001) ressalta as principais vantagens da quimigação assim relacionadas:

- a) Uniformidade de aplicação: de maneira geral, se o equipamento de irrigação estiver operando em perfeita condição, a distribuição de produtos químicos na lavoura será mais uniforme que a convencional;
- b) Economia: constitui-se numa técnica mais econômica do que a convencional;
- c) Incorporação e ativação: os produtos que visam atingir o solo são incorporados e ativados quando aplicados com grande volume de água;
- d) Flexibilidade: a aplicação pode ser feita em épocas de grande fechamento da cultura, sem grandes danos a esta;
- e) Redução da compactação do solo: tem-se o tráfego de máquinas eliminado na lavoura durante a aplicação dos produtos,
- f) Redução de danos à cultura: o menor tráfego também diminui os danos à cultura;
- e g) Menores riscos ao operador: o operador não precisa estar em contato com o produto distribuído, como no caso da aplicação convencional. Com essa técnica é possível uma aplicação segura e efetiva da quantidade apropriada de produto, pela qual reduz-se os custos de produção enquanto se protege o operário e o ambiente (LEON NEW, 1990).

A quimigação traz consigo, entretanto, algumas desvantagens à aplicação de produtos químicos que devem ser manejadas corretamente, sob o risco de inviabilizar o sistema, como: a segurança, pois apesar de segura, pode, em caso de pane no sistema de irrigação, apresentar risco de contaminação ambiental, devido ao fluxo invertido e retorno de algum produto químico para o manancial de água; com os custos e com o manejo, pois, embora a operação do sistema para a aplicação de produtos químicos seja relativamente simples, necessita-se de pessoal capacitado para obter um bom manejo (JOHNSON et al., 1996). Outra desvantagem é a necessidade de aplicação de produtos químicos ou biológicos na lavoura, sem a necessidade de aplicação de água, também é considerada desvantagem da quimigação em relação às aplicações convencionais (VILELA, 2002).

O sucesso da quimigação, tendo como alvo tanto o solo quanto a folhagem, depende em grande parte da uniformidade de aplicação do produto, a qual é geralmente proporcional à uniformidade de distribuição da água pelo sistema de irrigação. A medição da uniformidade de distribuição da água mediante o coeficiente de uniformidade (CHRISTIANSEN, 1942) permite a comparação dos diferentes sistemas de irrigação em

relação a esse parâmetro. Porém, esse coeficiente mostra a forma em que é distribuída a água no solo pelo sistema de irrigação sem a presença da cultura (BASANTA et al., 2000).

Segundo Viana et al. (2002), uma vez que a calda estará misturada à água de irrigação, a uniformidade de aplicação do agroquímico praticamente se confunde com a da aplicação da água e, portanto, é necessário que essa uniformidade seja elevada, para que se obtenha uma boa uniformidade de aplicação do produto. Como a irrigação gravitacional (sulcos, bordas, bacias em nível etc.) normalmente requer maior rigor no preparo do terreno e manejo para atingir boa uniformidade de distribuição, esse método tem sido pouco recomendado para a quimigação, ficando a mesma praticamente restrita aos métodos pressurizados (aspersão e irrigação localizada).

A injeção dos produtos pode ser efetuada utilizando-se diferentes métodos e equipamentos, porém, independentemente do método adotado, a qualidade dos resultados obtidos na quimigação depende do cálculo correto de variáveis como taxa de injeção, quantidade do produto a ser injetada, volume do tanque de injeção, dose do produto a ser aplicada na área irrigada, concentração do produto na água de irrigação, entre outros (ANDRADE; BRITO, 2006).

VIANA et al. (2002) ressalta que a quimigação requer que os produtos usados estejam em solução ou que possam ser disponibilizados em forma líquida ou fluida. Portanto, se os materiais usados não forem originalmente fluidos, é necessário preparar a solução desejada antes de proceder à injeção. Para tanto, é importante conhecer algumas características dos produtos, como solubilidade, conteúdo do elemento ou princípio ativo desejado, densidade e, ou concentração e limite de tolerância pelas culturas, entre outros.

2.3.1 Manejo da fertirrigação

A fertirrigação é o processo de aplicação simultânea de água e fertilizantes ao solo por meio de sistemas de irrigação (COELHO, 2003). Em geral, a fertirrigação é usada para complementar à adubação de plantio, cujo efeito diminui com o avanço do ciclo de vida da cultura. Portanto, deve-se aplicar nos plantios fertilizantes que sirvam de fonte de nutrientes para os primeiros estádios de desenvolvimento da cultura e, após esse período, iniciam-se as fertirrigações, de modo a ajustar o fornecimento de nutrientes às necessidades das plantas (FRANÇA, 2007). As técnicas agrônômicas associadas ao uso econômico de

insumos na produção de grãos ou massa têm sido juntamente com as técnicas de irrigação, objeto de estudos em diferentes regiões brasileiras (VIANA, et al., 2002).

A fertirrigação é uma técnica utilizada há anos pelos agricultores dos Estados Unidos, Israel e Itália, tornando-se de uso generalizado nesses países com o desenvolvimento de sistemas de irrigação modernos. No Brasil, o emprego da fertirrigação é recente, e em geral mais adotada pelos produtores que utilizam irrigação localizada (GOMES; NÓBREGA, 2000).

Viets Junior et al. (1967) afirmaram que a fertirrigação teve um grande avanço a partir do desenvolvimento de alguns equipamentos de irrigação (pivô central e irrigação localizada) e com o advento dos adubos líquidos, principalmente com o fertilizante amoniacal (amônia anidra). Rey (1981) afirmou que a fertirrigação pode reduzir o custo dos fertilizantes à metade ou à terça parte em relação a outros métodos.

O processo de fertirrigação, de forma geral, pode ser dividido em três etapas: a primeira se refere à aplicação da água somente sobre o solo; a segunda etapa é a aplicação do fertilizante dissolvido na água, e a terceira é a aplicação de água novamente, onde o sistema de irrigação deverá continuar funcionando para completar o tempo de irrigação e lavar completamente o sistema de irrigação, carreando os fertilizantes da superfície para as camadas do solo com maior concentração de raízes (FRANÇA, 2007).

A prática da fertirrigação tem-se mostrado mais eficiente no fornecimento de nutrientes para diversas culturas, com uma série de vantagens sobre a forma tradicional (ALVARENGA, 1999). Segundo Raposo (1979), a fertirrigação possibilita a aplicação de adubação foliar, facilita a operação em cobertura em cultura densa e dosa com rigor as quantidades de nutrientes de acordo com a marcha de absorção da cultura.

A fertirrigação possibilita a diminuição do trânsito de máquinas na área irrigada e uma economia de combustível e mão-de-obra em relação à aplicação tradicional de fertilizantes. No caso de nutrientes muito móveis, como o nitrogênio, a fertirrigação possibilita maior divisão da aplicação do fertilizante, reduzindo as perdas por lixiviação (MENDONÇA et al., 1999).

Os objetivos da fertirrigação são: o aumento da produtividade e a redução dos custos de agroquímicos, fertilizantes e energia, mas fundamentalmente visam a sustentabilidade da produção, a redução nos problemas ambientais e a diminuição de resíduos de agrotóxicos nos produtos alimentícios, conferindo maior qualidade aos produtos (BOAS et al., 2005).

Segundo Malavolta (1981), para a fertirrigação nitrogenada, têm sido utilizadas várias fontes comerciais de nitrogênio, obtidas a partir do nitrogênio do ar por fixação industrial, como uréia, sulfato de amônio e nitrato de amônio. A uréia representa uma das fontes mais econômicas de nitrogênio, sendo completamente assimilável pelas plantas, nas formas amoniacal e nítrica. Apresenta pH em solução de 7,6; permite mistura com vários fertilizantes e apresenta baixa corrosividade em diversos materiais (MENDONÇA et al., 1999).

A aplicação de potássio junto com o nitrogênio, com a água de irrigação, é prática bastante utilizada pelos agricultores. Além disso, a aplicação de potássio através da fertirrigação praticamente não tem apresentado problema, devido à alta solubilidade da maioria dos sais de potássio (cloreto e nitrato de potássio). A exceção da utilização do sulfato de potássio, quando na água de irrigação tem à presença de grandes concentrações de cálcio, ocorre à formação de precipitados (COSTA et al., 1994).

2.4 Manejo da adubação

A prática de adubação consiste em corrigir deficiências naturais no solo de algum nutriente importante para o crescimento das plantas ou para repor nutrientes removidos pelas colheitas. Segundo Nobre (2007) a adubação correta aumenta a produtividade agrícola e a rentabilidade da lavoura, embora represente um custo significativo e possa aumentar o risco do investimento, caso o manejo não seja o adequado.

Na maioria dos casos, a adubação tem sido de caráter corretivo e/ou de manutenção de nutrientes, ou seja, as quantidades usadas visam à obtenção de níveis de produtividade próximos à máxima eficiência técnica relativa à cultura. Nesta situação, os níveis de produtividade são mantidos por meio de adubações de manutenção (PITTA et al., 2007). Segundo os mesmos autores, as recomendações atuais são baseadas no critério do máximo retorno líquido por área em um determinado prazo, desde que outros fatores que influenciam diretamente na produtividade como correção da acidez e adequado manejo de solo estejam em níveis, no mínimo, satisfatórios.

A fertilidade dos solos, a nutrição e a adubação são componentes essenciais para a construção de um sistema de produção eficiente. A disponibilidade de nutrientes deve estar sincronizada com a demanda nutricional da cultura, em quantidade, forma e tempo. Um

programa racional de adubação envolve as seguintes considerações: a) diagnose da fertilidade do solo; b) a demanda nutricional da planta, de acordo com a finalidade de exploração, grãos ou forragem; c) os padrões de absorção e acumulação dos nutrientes, principalmente N e K; d) fontes dos nutrientes; e) manejo da adubação (COELHO, 2007).

2.4.1 Adubação nitrogenada

O nitrogênio (N) é um macronutriente essencial para o desenvolvimento e produção das plantas, sendo absorvido e exportado para os grãos em grandes quantidades (SOUSA; LOBATO, 2004). Esse elemento é necessário para a síntese da clorofila e como parte da sua molécula, está envolvido no processo de fotossíntese, desempenhando ainda a função de aumentar o teor de proteína nas plantas (SOUSA; LOBATO, 2004). Sua deficiência resulta em clorose gradual das folhas mais velhas e redução do crescimento vegetativo da planta, inicialmente, em detrimento das reservas da parte aérea, a planta promove alongamento do sistema radicular, como uma tentativa de absorver este nutriente (RAIJ, 1991).

O manejo do nitrogênio tem sido uma das práticas agrícolas mais estudadas no sentido de melhorar a sua eficiência de uso, diminuindo os custos de produção, para proteção ambiental e aumentando o rendimento das culturas (KOLCHINSKI; SCHUCH, 2002). Dentre os elementos que influenciam o desenvolvimento das plantas, o nitrogênio é de vital importância e, embora seja o mais abundante na natureza, representando cerca de 78% da composição do ar atmosférico, é o elemento que mais limita a produção das culturas, pois na forma gasosa não é disponível para a maioria das plantas (NEVES, 1981).

O nitrogênio está disponível no solo em diversas formas, incluindo proteínas, ácidos nucléicos e outros constituintes da membrana celular dos microrganismos, amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), aminoácidos, peptídeos e formas complexas insolúveis. As espécies vegetais diferem na sua preferência por fontes de nitrogênio, mas o absorvem principalmente sob formas inorgânicas, como nitrato (NO_3^-) ou amônio que são as formas principais de nitrogênio mineral encontradas no solo (FRANÇA, 2007).

O nitrato é a principal fonte de nitrogênio para a maioria das plantas, especialmente para cereais e culturas graníferas. As plantas não assimilam nitrogênio em alto estado de oxidação; desse modo, quando o NO_3^- é absorvido, ele só será assimilado se

for primeiro reduzido a NH_4^+ , que se combina com esqueletos de carbono para formar os aminoácidos. Parte das proteínas formadas pela combinação dos aminoácidos são enzimas que catalisam inúmeras reações na planta (SOUZA; FERNANDES, 2006).

Parte do nitrogênio aplicado no solo na forma de fertilizante é absorvido pelas culturas (40 a 60%), o restante é imobilizado, incorporado ao solo como nitrogênio orgânico ou perdido. A fonte natural de nitrogênio no solo é a matéria orgânica, e para ser assimilado pelas plantas, o nitrogênio orgânico deve ser mineralizado pelos microrganismos do solo (FRANÇA, 2007).

O parcelamento da adubação nitrogenada é uma prática bastante utilizada que pode reduzir as perdas desse nutriente no sistema, sendo parte colocada no plantio e o restante em cobertura. Tanto a época da cobertura, como a possibilidade de parcelar dependem do tipo de solo, da dose de nitrogênio e se a cultura é irrigada, com sistema que possibilite aplicar o nitrogênio via água de irrigação (SOUSA; LOBATO, 2004).

As fontes de N mais utilizadas na agricultura brasileira são uréia e sulfato de amônio. A uréia, pelas suas características e reação no solo, apresenta grande potencial de perda de NH_3 , por volatilização (LARA; TRIVELIN, 1990). O sulfato de amônio, além da possibilidade de perda de NH_3 apresenta alta capacidade de acidificação do solo. (BARBOSA FILHO et al., 2001). A utilização dessas fontes de nitrogênio requer, portanto, que as técnicas de manejo da aplicação sejam aperfeiçoadas, de modo que os produtores possam obter o máximo benefício econômico ao utilizarem esses fertilizantes e menor impacto ambiental.

O sorgo é uma cultura bastante exigente em nutrientes, especialmente nitrogênio, sendo este um dos principais fatores limitantes à produção de grãos (KICHEL et al., 1982). Fatores ambientais, edáficos, associados ao material genético e ao manejo da cultura influenciam sua resposta à adubação nitrogenada (MAGALHÃES et al., 2007). Resultados de pesquisas realizadas sob condições diversas de solo, clima e sistemas de cultivo mostram efeito positivo da aplicação do nutriente sobre a produtividade da cultura (COELHO et al., 2002).

O nitrogênio é o elemento mais freqüentemente aplicado via água de irrigação, tanto que essa tecnologia tem sido utilizada como sinônimo de fertirrigação. Isso se deve ao fato de que, com relação a outros nutrientes, como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, apresentam alta mobilidade no solo e, conseqüentemente, alto potencial de perdas, principalmente por lixiviação do nitrato (NO_3^-). Com o uso dessa técnica, pode-se parcelar a aplicação dos fertilizantes nitrogenados de acordo com a demanda das culturas, reduzindo as

perdas sem onerar o custo de produção (COSTA et al., 1994). Esses autores ressaltam que por ser o N um nutriente altamente móvel no solo e requerido em quantidades relativamente elevadas, deve merecer especial atenção em sistemas de cultivos irrigados, visando aumentar a eficiência de sua utilização. Portanto, além de se quantificarem níveis adequados de água e nitrogênio, é necessário conhecer a magnitude e a velocidade das transformações desse nutriente no solo.

Cruciani et al. (1998), ao estudarem fertirrigação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado por aspersão, observaram ao analisar os resultados, que os tratamentos de fertirrigação e adubação convencional, não apresentaram diferença significativa em nível de 5% de probabilidade, para a absorção de nitrogênio e produção de grãos. A adubação nitrogenada aplicada parceladamente através da água de irrigação proporcionou melhores resultados em relação à aplicação de uma só vez e manualmente.

Silva et al. (2003), ao avaliarem o efeito do parcelamento da adubação nitrogenada em sorgo granífero, não verificaram diferenças devidas à variação na proporção do nutriente aplicada na semeadura e em cobertura. Apesar desse resultado, a produtividade de grãos alcançada foi superior a 9 t ha^{-1} , indicando o elevado potencial produtivo da cultura.

Mendonça et al. (1999), ao desenvolverem uma pesquisa com milho em um sistema de irrigação por aspersão em linha, obtiveram como resultado que a adubação nitrogenada teve influência significativa sobre a produção de grãos da cultura. A produtividade cresceu com o aumento da dose de nitrogênio aplicada, até que esta atingiu a marca de $262,6 \text{ kg ha}^{-1}$, acima da qual a produtividade diminuiu. Os autores estimaram através da função de produção, uma máxima produtividade de 7.664 kg ha^{-1} de grãos de milho, nessa dose. Além disso, o nitrogênio apresentou influência significativa no comprimento de espigas e peso de grãos.

Silveira e Brito Neto (1993), conduziram experimento com feijão adubado com uréia, utilizando doses de 30, 60 e 90 kg ha^{-1} de N, aplicadas: totalmente no sulco de plantio; totalmente em cobertura aos vinte dias após o plantio com ou sem incorporação; e 1/3 no sulco de plantio mais 2/3 em cobertura com ou sem incorporação. Esses autores concluíram que a produção de feijão aumentou com a dose de nitrogênio até atingir 66 kg ha^{-1} de N, sendo considerado o máximo de absorção de N pela planta, acima desta a produtividade diminuiu. A aplicação de uréia de uma só vez em cobertura conferiu as menores produções, enquanto o fracionamento da dose em duas aplicações, bem como a adição única no plantio, foram os melhores métodos e igualmente efetivos.

Soratto et al. (2007) ao trabalharem com adubação nitrogenada em cobertura no painço (*Panicum miliaceum* L.), observaram que as doses 0; 30; 60 e 120 kg ha⁻¹ de N promoveram aumento no comprimento da panícula e produtividade de grãos da cultura, independentemente da época de aplicação. O número de grãos por panícula foi incrementado pela adubação nitrogenada apenas com a aplicação que foi realizada aos 14 DAE. A aplicação de N em cobertura, aos 14 DAE, proporcionou acréscimos nas características agronômicas, até a dose de 120 kg ha⁻¹ (maior dose), acarretando aumento da produtividade de grãos do painço.

2.4.2 Adubação potássica

O potássio (K) é essencial para o desenvolvimento das plantas, fazendo parte da síntese protéica, sendo, de maneira geral, o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, depois do nitrogênio (MALAVOLTA, 1996). Entre as várias funções que o K exerce nas plantas, cita-se: a) aumento da eficiência de uso da água, em consequência do controle da abertura e fechamento dos estômatos; b) maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para os outros órgãos da planta; c) maior eficiência enzimática e d) melhoria da qualidade comercial da planta (MALAVOLTA et al., 1997).

O potássio é exigido pelas plantas em grande quantidade e sua função está relacionada especialmente com as enzimas que operam em quase todas as reações da planta. No período da frutificação, sua presença em abundância é importante, pois auxilia no enchimento e no crescimento de grãos e frutos. Por outro lado, a sua deficiência é caracterizada pelo crescimento lento, plantas com raízes pouco desenvolvidas, caules fracos e muito flexíveis, plantas mais suscetíveis a ataques de doenças e ainda, à formação de sementes e frutos pouco desenvolvidos (PITTELLA, 2003).

De acordo com Silveira e Malavolta (2008), plantas com deficiência de K apresentam reduções na síntese de proteínas e acúmulo de compostos nitrogenados solúveis, como aminoácidos, amidas e nitrato. Tais reduções desencadeiam um funcionamento irregular dos estômatos, podendo diminuir a assimilação de CO₂ e a taxa fotossintética, e, por consequência, a produção de fotoassimilados, reduzindo assim a produção.

A disponibilidade do potássio no solo ocupa uma posição intermediária entre o N e o P, isto é, não sofre lixiviação tão intensa quanto o primeiro e nem é fixado tão

fortemente quanto o segundo; o risco de lixiviação do K é maior nos solos arenosos, influenciando seus teores críticos no solo e na planta (LANA et al., 2002). De maneira geral, os locais de maior concentração desse nutriente no solo coincidem com os locais de maior umidade, evidenciando seu caminamento por fluxo de massa. Isto significa que a distribuição de potássio no solo correlaciona-se com a distribuição de água no solo, indicando que se pode ter elevado controle de sua localização no solo em função da disponibilidade de água, controlando conseqüentemente sua lixiviação (ZANINI, 1991).

Para Coelho (2005) os fertilizantes potássicos não apresentam problemas para aplicação via água de irrigação, o ponto crucial é definir em que condição deve-se fazer o parcelamento desse nutriente. Neste sentido dois aspectos devem ser levados em consideração: o potencial de perdas por lixiviação em função de sua mobilidade nos diferentes tipos de solos e as exigências da planta em relação á curva de absorção.

Quando o solo apresenta um elevado teor de potássio, sua absorção pela planta pode ser quatro vezes maior que a de nitrogênio, podendo caracterizar o consumo de luxo (PADILHA, 1998). Além disso, podem acarretar ainda a lixiviação do cátion K^+ , provocar um efeito salino no solo e um desequilíbrio catiônico no complexo de trocas do solo, afetando principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+} , e pode causar uma diminuição na assimilação do fósforo (PINTO et al., 1994).

As práticas de manejo aplicadas aos solos brasileiros, em geral carentes de minerais potássicos, facilmente intemperizáveis, concorrem para que o balanço de K^+ no sistema solo-planta seja, em muitas situações, negativo. Frequentemente, as perdas por erosão, lixiviação e exportação desse nutriente pelas culturas são maiores que as adições promovidas pelas adubações potássicas, o que acaba comprometendo o processo produtivo (NOBRE, 2007).

O potássio é considerado um elemento de qualidade em nutrição de plantas (MALAVOLTA, 2006). A demanda de potássio pelo o sorgo granífero é menor do que a de nitrogênio, e sua disponibilidade no solo é geralmente inadequada, para produtividades elevadas e em áreas de cultivos continuo recomenda-se uma adubação de reposição na base de 20 a 40 kg ha⁻¹ de K_2O (PITOMBEIRA, 2005).

Na planta de sorgo, a deficiência de potássio ocasiona clorose nas pontas e nas margens das folhas mais velhas seguida por secamento e necrose (“queima”), dilaceração do tecido colmos com internódios mais curtos e as folhas mais novas podem apresentar clorose internerval típica da falta de ferro (COELHO et al., 2002).

Costa et al. (1994) relatam que a aplicação de uma alta dose de potássio no sulco de plantio, ocupando menor volume de solo, pode gerar uma maior concentração de K^+ na solução do solo, o que provoca maiores perdas desse elemento por lixiviação. Nessa condição, o parcelamento da adubação potássica é uma alternativa para reduzir as perdas. Em solos de textura arenosa, que normalmente apresentam baixa CTC efetiva e alto potencial de perdas por lixiviação, a aplicação parcelada de potássio via água de irrigação apresenta-se como técnica altamente vantajosa, visando maior eficiência no manejo desse nutriente. Nesse caso, a época de aplicação e o número de parcelamento vão depender da dose a ser aplicada e a demanda de cada cultura, de acordo com a curva de absorção.

Na literatura, há diversos trabalhos com culturas graníferas envolvendo adubação potássica aplicada pelo o método convencional e por fertirrigação, no entanto, para o sorgo granífero são poucos os relatos com esse tipo de pesquisa. Entre as diversas culturas cita-se: milho (DEPARIS et al., 2007; COELHO, 2005; COELHO; FRANÇA, 1995), soja (PEDROSO NETO; REZENDE, 20005; MASCARENHAS et al., 2000) e algodão (CARVALHO et al., 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa constou de dois ensaios, os quais foram conduzidos na área experimental da Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, no período de março a julho de 2008. Coordenadas geográficas: latitude 3° 44'S, longitude 38° 33'W de Greenwich e altitude de 19,6 m.

3.2 Clima

O clima da região é Aw', ou seja, tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão e do outono (KOPPEN, 1923).

Os dados climáticos do período de execução do experimento foram obtidos na Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores de precipitação e dados médios mensais de temperatura e umidade relativa do ar a 1,5 m de altura e velocidade do vento a 10 m de altura, Fortaleza, Ceará, 2008

Mês	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Velocidade do Vento (m s ⁻¹)
Março	251,1	26,6	83	1,4
Abril	486,7	26,2	85	1,6
Mai	236,4	26,7	80	1,7
Junho	78,1	26,6	75	2,9
Julho	21,0	26,7	71	3,3
Total/média	1073,3	26,5	78,8	2,1

Fonte: Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará.

3.3 Solo

O solo da área experimental é classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (EMBRAPA, 2006). Nas Tabelas 2 e 3 estão os dados das características físico-hídricas e químicas do solo da área experimental que foram determinadas no Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, a partir de amostras coletadas na profundidade de 0 – 20 cm.

Tabela 2 - Características físico-hídricas na profundidade de 0 – 20 cm do solo da área experimental, Fortaleza, Ceará, 2008

Características físico-hídrica	Profundidades (cm)	
	0-20	
Areia grossa (g kg ⁻¹)	480	
Areia fina (g kg ⁻¹)	360	
Silte (g kg ⁻¹)	90	
Argila (g kg ⁻¹)	70	
Argila natural (g kg ⁻¹)	30	
Grau de flocculação (g 100 ⁻¹ g ⁻¹)	57	
Característica Textural	Areia franca	
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,42	
Densidade das partículas (kg dm ⁻³)	2,66	
Capacidade de campo (m ³ m ⁻³)	0,187	
Ponto de murcha permanente (m ³ m ⁻³)	0,056	
Umidade de saturação (m ³ m ⁻³)	0,430	

Fonte: Laboratório de Solos e Água da Universidade Federal do Ceará.

Tabela 3 - Caracterização do solo da área experimental na profundidade de 0 – 20 cm, Fortaleza, Ceará, 2008

Prof. (cm)	pH	Complexo sortivo (cmol _c dm ⁻³)								(mg dm ⁻³)	(g kg ⁻¹)	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S	H ⁺ +Al ²⁺	T	V(%)			Al ³⁺
0-20	7,2	17,0	7,0	0,43	1,0	25,4	6,6	32,0	79,4	0,0	6,0	6,7

Fonte: Laboratório de Solos e Água da Universidade Federal do Ceará.

3.4 Cultura

A cultura utilizada na pesquisa foi o sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivar EA 955 safra de 2007.

As sementes foram adquiridas junto ao Laboratório de Análises de Sementes do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.

3.5 Preparo da área

O preparo da área de condução dos experimentos foi iniciado com uma aração e duas gradagens cruzadas e, em seguida, foi realizada uma uniformização da área com auxílio de enxada e ciscador para retirada de restos culturais e torrões de solo. Após esse procedimento, foi instalado o sistema de irrigação.

3.6 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação localizada utilizado na condução dos experimentos (adubações nitrogenada e potássica) foi do tipo gotejamento.

A instalação do sistema de irrigação foi iniciada com a montagem da linha principal, constituída por uma tubulação de PVC com 50 mm de diâmetro nominal e 10 m de comprimento, e do cabeçal de controle composto por: bomba auxiliar para fertirrigação, manômetro de glicerina e filtro de disco (Figura 1).

As linhas de derivação foram compostas de mangueira de polietileno com 25 mm de diâmetro nominal, com 41 m de comprimento. No início da linha de derivação instalou-se um registro de mesmo diâmetro, que foi utilizado para o controle da pressão do sistema de irrigação.



Figura 1 - Cabeçal de controle para a fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.

De cada linha de derivação saiam 41 linhas laterais de mangueira gotejadora de 4 m de comprimento e diâmetro de 16 mm, espaçados entre si de 1 m entre cada mangueira. No início de cada linha lateral tinha um registro de mesmo diâmetro para o controle das irrigações e aplicações das doses de adubações nas parcelas, de acordo com cada tratamento (Figura 2).

O sistema de irrigação, instalado para condução dos experimentos, possuía as seguintes características hidráulicas: tubogotejador autocompensante com gotejadores espaçados de 0,5 m; vazão média de $2,0 \text{ L h}^{-1}$ e pressão de serviço de $1,0 \text{ kgf cm}^{-2}$.



Figura 2 - Visualização do sistema de irrigação por gotejamento na área experimental, Fortaleza, Ceará, 2008.

Após a instalação do sistema de irrigação, foi realizado teste de uniformidade através do coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942), CUC, para verificar como estava a distribuição de água na área irrigada, conforme a equação 1.

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum [X_i - \bar{X}]^2}{n \cdot \bar{X}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

em que:

CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

X_i é a precipitação coletada no pluviômetro de ordem i (cm); e

\bar{X} é a média geral das precipitações coletadas nos pluviômetros (cm).

Depois da realização dos testes de avaliação no sistema de irrigação, verificou-se que a uniformidade do sistema apresentava uniformidade próxima de 90%, portanto, o sistema estava pronto para a aplicação de água na cultura do sorgo.

A água utilizada na condução dos experimentos foi retirada de um poço profundo por meio de bombeamento próximo à área de cultivo, na Estação Meteorológica da UFC. Durante a intensificação da quadra chuvosa, a água do poço foi empregada, apenas para a condução das fertirrigações.

3.7 Adubação

A adubação da área experimental foi realizada com NPK, na fórmula de 60-70-50 kg ha⁻¹, respectivamente, conforme interpretação da análise de solo, baseada na recomendação de adubação e calagem para o estado do Ceará (UFC, 1993), para o sorgo irrigado. Os fertilizantes empregados na adubação dos experimentos foram: uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio. O cloreto de potássio utilizado nas fertirrigações foi o de cloração branca, em função de possuir menor índice salino e maior solubilidade, quando comparado ao vermelho.

3.8 Croqui da área experimental

Na Figura 3, tem-se à ilustração do croqui de um módulo experimental, para aplicação dos tratamentos de adubação convencional por fertirrigação, contendo quatro repetições e sete tratamentos.

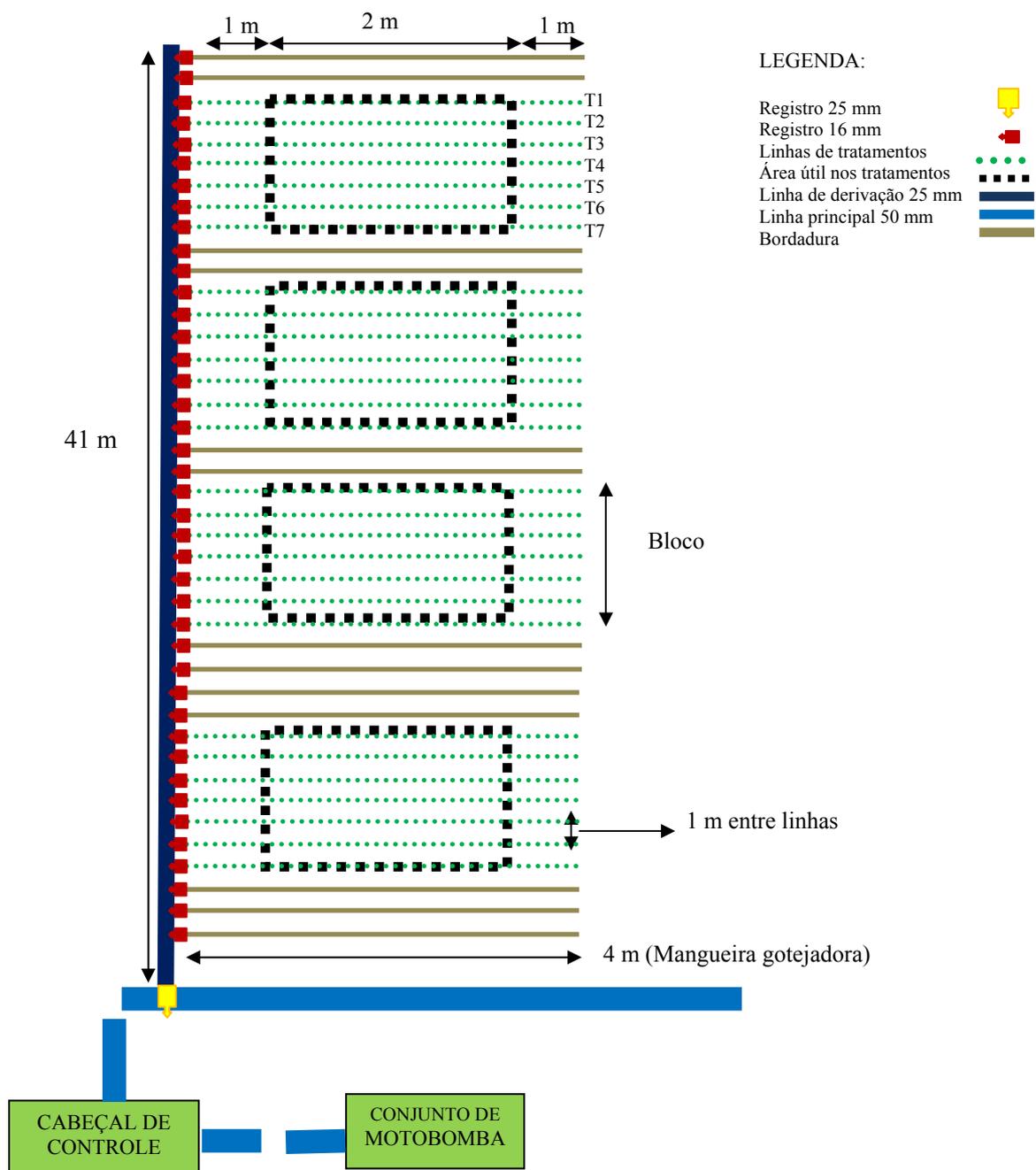


Figura 3 - Ilustração de um módulo experimental, Fortaleza, Ceará, 2008.

3.9 Descrição dos experimentos

3.9.1 Experimento I: Adubação nitrogenada

O delineamento estatístico empregado foi de blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições, totalizando 28 unidades experimentais. Nesse experimento, foram avaliadas doses de nitrogênio aplicadas pelo método da adubação convencional e por fertirrigação. Os tratamentos foram constituídos da seguinte forma: 0 (controle); dose recomendada pela análise de solo (60 kg ha^{-1} de nitrogênio); metade (30 kg ha^{-1}) e o dobro (120 kg ha^{-1}) da dose recomendada aplicadas pelo método convencional e fertirrigado.

A área total do experimento foi de 164 m^2 , com área útil de 56 m^2 , na qual cada parcela experimental foi constituída de uma área 2 m^2 , com 30 plantas úteis, totalizando 120 plantas úteis por tratamentos (Figura 3).

A adubação de fundação no experimento foi realizada inicialmente com fósforo (70 kg ha^{-1}) e potássio (50 kg ha^{-1}) aplicados em uma única vez, enquanto o nitrogênio foi parcelado de acordo com as doses pré-estabelecidas aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação.

A semeadura foi realizada no dia 26 de março de 2008, colocando-se sementes de sorgo granífero, em sulcos de 4 a 5 cm de profundidade, posteriormente cobertas com uma fina camada de solo.

No dia 31 de março, estavam germinadas cerca 90% das sementes caracterizando o 1º dia após a emergência. Aos cinco dias DAE, fez-se o replantio, e aos 15 DAE foi realizado o raleamento, deixando-se 15 plantas por metro linear, ou seja, um espaçamento médio de 0,0667 m entre plantas, aquelas que apresentaram crescimento mais vigoroso.

Os tratamentos de fertirrigação nitrogenados foram realizados da seguinte forma: 1/3 de N foi aplicado na adubação de fundação e 2/3 de N foram parcelados em 8 vezes aplicados semanalmente aos 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, e 70 dias após a emergência (DAE). E, para os tratamentos de adubação convencional foram aplicados 1/3 no plantio, 1/3 aos 20 dias e 1/3 aos 45 DAE.

Durante a condução do experimento foi realizado o controle das plantas daninhas por meio duas capinas manuais com enxada.

Aos 21 DAE (Figura 4), foi iniciada a aplicação dos tratamentos por fertirrigação, semanalmente, baseado nas doses de N para cada tratamento.



Figura 4 - Plântulas de sorgo aos 21 DAE, Fortaleza, Ceará, 2008.

A floração das plantas de sorgo foi iniciada aos 51 DAE, e aos 75 DAE a maior parte das panículas do sorgo granífero estava formada e os grãos apresentaram consistência leitosa. Nesse momento, foram colocados sacos de papel com dimensões 16 x 34 cm nas panículas das parcelas úteis, com propósito de evitar o ataque de pássaros que circulavam na área experimental (Figura 5).

Aos 105 DAE, foi realizada a colheita manual das panículas do sorgo granífero de forma manual quando os grãos haviam atingido o ponto de colheita. Esse ponto foi verificado empiricamente por meio de amostragem, na qual se retirou panículas de sorgo para verificação da facilidade na degrana da parte inferior da panícula. Para tanto, foi necessário esfregar as amostras entre as mãos, e se a degrana fosse fácil o sorgo podia ser colhido (PITOMBEIRA, 2005). Após esse procedimento, foi iniciada a colheita, selecionando-se cinco plantas aleatoriamente da área útil para avaliação.



Figura 5 - Visualização da floração (A), enchimento de grãos (B), panículas protegidas com os sacos de papel (C) e colheita das panículas (D) do sorgo granífero, Fortaleza, Ceará, 2008.

3.9.2 Experimento II: Adubação potássica

Nesse experimento o delineamento estatístico empregado foi o de blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições, totalizando 28 unidades experimentais. Foram avaliadas doses de potássio aplicadas pelo método da adubação convencional e por fertirrigação. Os tratamentos foram constituídos da seguinte forma, a saber: 0 (controle); dose recomendada pela análise de solo (50 kg ha^{-1} de potássio); metade (25 kg ha^{-1} de potássio) e o dobro (100 kg ha^{-1} de potássio) da dose recomendada, aplicadas pelo método convencional e fertirrigado.

A área do experimento foi de 164 m^2 , com área útil de 56 m^2 , no qual cada parcela experimental foi constituída de 2 m^2 , com 30 plantas úteis, totalizando 120 plantas úteis por tratamentos (Figura 3).

A semeadura do sorgo granífero, cultivar EA 955 foi realizada no dia 26 de março de 2008, colocando-se sementes em sulcos de 4 a 5 cm de profundidade, posteriormente cobertas com uma fina camada de solo. Cerca de 90% das sementes estavam germinadas no dia 31 de março, caracterizando o 1º dia após a emergência (DAE). Aos 5 DAE, fez-se o replantio, e aos 15 DAE foi realizado o raleamento, deixando-se 15 plântulas por metro linear, aquelas de crescimento mais vigoroso.

A adubação de fundação foi realizada com aplicação de dose única de fósforo (70 kg ha^{-1}), e o nitrogênio (60 kg ha^{-1}) foi aplicado 1/3 no plantio e 2/3 em cobertura em parcelas iguais aos 21 e 45 DAE. A distribuição dos tratamentos com adubação potássica foi da seguinte forma: nos tratamentos fertirrigados foram aplicados 1/3 no plantio, e os 2/3 foram parcelados em cinco aplicações semanais aos 21, 28, 35, 42, e 49 dias após a emergência via irrigação durante o desenvolvimento do sorgo granífero. E nos tratamentos convencionais as doses foram aplicadas no ato do plantio.

A aplicação dos tratamentos por fertirrigação, iniciada aos 21 DAE (Figura 6 A), foi realizada semanalmente baseada nas doses de K_2O para cada tratamento.

O controle de plantas daninhas, no decorrer da condução do experimento, foi realizado através de duas capinas manuais com enxada.

Aos 51 DAE, as plantas de sorgo iniciaram a floração (Figura 6 B). E, aos 75 DAE, quando a maior parte das panículas estava formada e os grãos com consistência leitosa, foram colocados sacos de papel com dimensões de 16 x 34 cm nas panículas das parcelas úteis, com objetivo de evitar o ataque de pássaros que circulavam na área de realização do experimento.

A colheita manual das panículas do sorgo foi realizada aos 105 DAE conforme a descrição no experimento com adubação nitrogenada



Figura 6 - Visualização de plantas aos 21 DAE (A) e enchimento de grãos nas panículas (B) do sorgo granífero, Fortaleza, Ceará, 2008.

3.10 Variáveis analisadas

As variáveis analisadas nos experimentos foram: peso de 100 sementes, produtividade, diâmetro maior, comprimento e peso da panícula. Todas as variáveis foram avaliadas após a colheita de cada experimento (Figura 7). O comprimento da panícula (cm) foi tomado no ponto inicial da inserção de grãos até o ápice da panícula, utilizando para tanto uma régua que possuía divisões em centímetros e milímetros. O diâmetro maior da panícula (mm) foi medido na parte mais larga, com auxílio de um paquímetro. O peso da panícula (g), produtividade por planta (g) e peso de 100 sementes (g) foram medidos com uma balança digital com precisão de duas casas decimais. A produtividade em seguida, foi extrapolada para uma área de 1 hectare, sendo expressa, portanto em kg ha^{-1} .

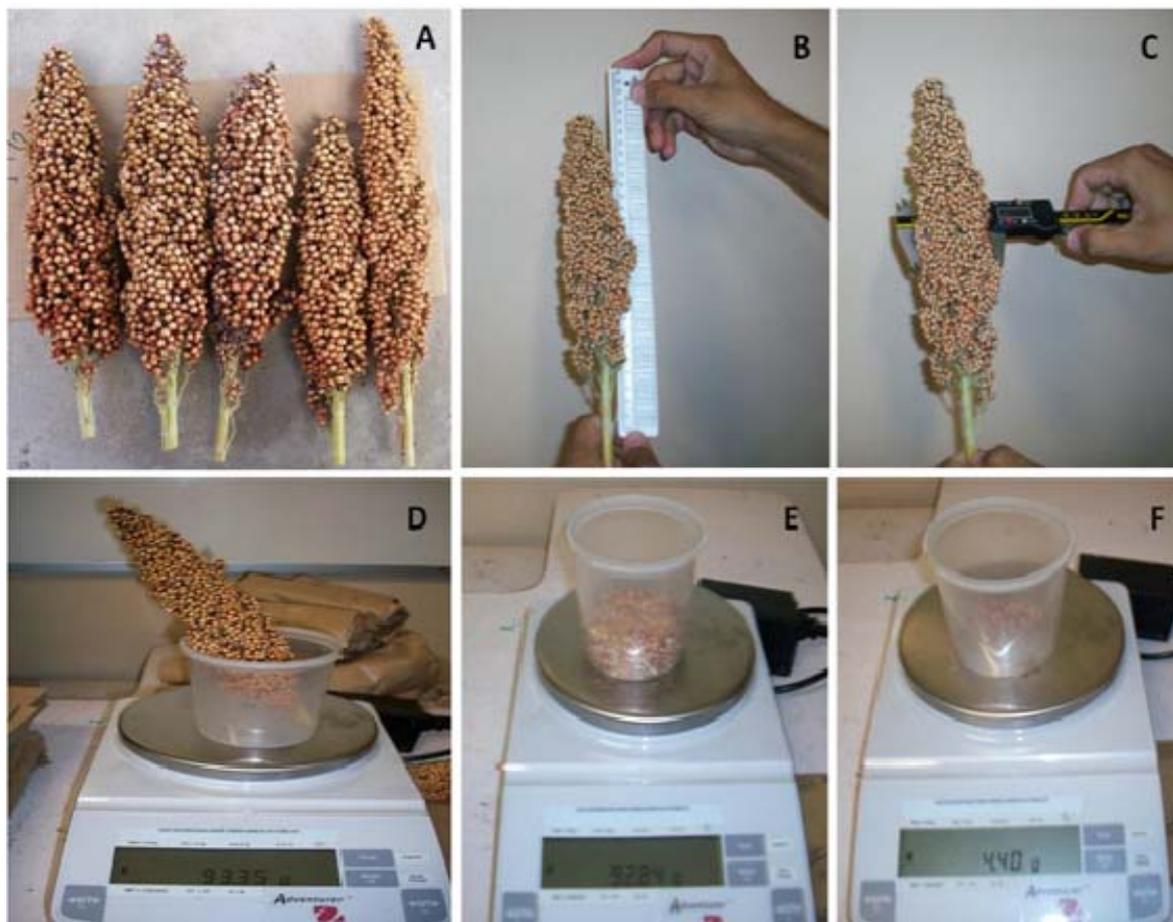


Figura 7 - Procedimento de avaliação da colheita do sorgo: 5 panículas (A), diâmetro maior da panícula (B), comprimento da panícula (C), peso da panícula (D), produtividade (E) e peso de 100 sementes (F) Fortaleza, Ceará, 2008.

3.11 Análises estatísticas

Os dados obtidos nos experimentos foram submetidos à análise de variância, e quando detectada a significância pelo teste F, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para os dados qualitativos. Enquanto os dados de natureza quantitativa foram submetidos à análise de regressão e, quando verificada a significância a nível de 5% de probabilidade foram testados os modelos linear, logarítmico, exponencial e o polinomial quadrático. As equações que melhor se ajustaram aos dados foram eleitas com base no coeficiente de determinação (R^2).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos aplicativos Microsoft Office Excel (2003) e por meio do software “SAEG 9.0 – UFV”.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I: Adubação nitrogenada

4.1.1 Adubação nitrogenada aplicada pelo método convencional e por fertirrigação

A análise de variância demonstrou que ocorreu efeito significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F para as doses de nitrogênio (0; 30; 60; e 120 kg ha⁻¹) aplicadas na cultura do sorgo granífero cultivar EA 955 sobre a produtividade, diâmetro maior, comprimento e peso da panícula. Para o peso de 100 sementes não foi obtida resposta significativa ao nível de 5% pelo teste F (Tabela 4).

Tabela 4 - Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100s}), produtividade (PROD), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP), e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		P _{100s} (g)	PROD (kg ha ⁻¹)	DMP (cm)	CP (cm)	PP (g)
Tratamento	6	0,13 ^{ns}	12.395.710*	1,17 *	21,43 *	867,78*
Bloco	3	0,47 *	5.726.545 ^{ns}	0,25 ^{ns}	3,77 ^{ns}	456,60*
Resíduo	18	0,10	2.654.702	0,18	3,70	119,34
CV(%)		7,00	27,75	11,37	9,92	24,50
Média		4,43	5.871,83	3,81	19,39	44,58

*Significativo ao nível de 5% e ^{ns} não significativo, pelo teste F.

Com relação à produtividade, ao diâmetro maior, ao comprimento e ao peso da panícula foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey (Tabela 5).

Os valores médios de produtividade, analisados pelo teste de Tukey, indicaram que os tratamentos com 60 kg ha⁻¹ de N aplicados por fertirrigação e por adubação convencional não diferiram entre si, mas os mesmos apresentaram diferença em relação ao tratamento testemunha (zero) no nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. Observou-se também que não houve diferença entre as formas de aplicação nas outras dosagens testadas. Comportamento semelhante foi obtido por Cruciani et al. (1998), que também não

encontraram diferença entre os métodos de aplicação (convencional e fertirrigado), no feijoeiro, em solo de textura argilosa.

Os valores obtidos para produtividade variaram de 2.882 a 8.194 kg ha⁻¹, portanto estão próximos aos dados estimados por Silva et al. (2003), quando avaliaram o efeito do parcelamento da adubação nitrogenada em sorgo granífero, que estimaram produtividade superior a 9.000 kg ha⁻¹, e superiores aos verificados por Pompeu et al. (2005) que reportam produtividade de 4.432 kg ha⁻¹ com cultivar EA 955 de sorgo granífero estudada nesse experimento. Enquanto, Araújo et al. (1999), estudando outras doses (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹) de N em cobertura no milho irrigado, observaram respostas diferenciadas, obtendo a maior produtividade com a dose de 150 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 5 - Produtividade (PROD), diâmetro maior (DMP), comprimento (CP) e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional (Conv.) e por fertirrigação (Fert.), Fortaleza, Ceará, 2008

Tratamentos (kg ha ⁻¹)	PROD (kg ha ⁻¹)	DMP (cm)	CP (cm)	PP (g)
0	2.882 b	2,80 b	14,76 b	22,03 c
30 Conv	4.877 ab	3,65 ab	18,55 ab	37,06 bc
60 Conv	7.207 a	4,06 a	21,55 a	58,52 ab
120 Conv	6.396 ab	4,00 a	20,17 a	39,12 bc
30 Fert	5.000 ab	3,61 ab	18,91 ab	39,12 bc
60 Fert	8.194 a	4,55 a	20,80 a	65,74 a
120 Fert	6.747 ab	3,98 a	20,99 a	50,49 ab
Média	5.872	3,81	19,39	44,58

*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O diâmetro maior e o comprimento da panícula apresentaram diferença estatística quando aplicado o teste de Tukey, apenas para os tratamentos 60 e 120 kg ha⁻¹ (Tabela 5), respectivamente, tanto convencional quanto fertirrigados com relação a testemunha (zero). Provavelmente, as doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ estão compreendidas na região de máxima absorção do nitrogênio. Os valores médios nas doses de 60 e 120 kg nitrogênio ha⁻¹ (convencional e fertirrigado) para o diâmetro maior e para o comprimento da panícula foram respectivamente 32,54 % e 29,31 % superiores ao tratamento testemunha (zero). Godert (1995), em ilustração da curva resposta de nutrientes, deixa claro o rendimento de cada cultura varia em função da quantidade de nutriente aplicada, gerando aumentos até a produtividade máxima, e em seguida tem um efeito depressivo.

O peso da panícula do sorgo granífero, nas condições de condução do experimento, com os tratamentos 60 kg ha⁻¹ convencional e fertirrigado e 120 kg ha⁻¹ fertirrigado diferiram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, quando comparados ao tratamento testemunha.

Os resultados desta pesquisa são similares aos constatados por Mendonça et al. (1999) quando avaliaram o comprimento e o peso das espigas de milho submetido a doses de N (319,47; 262,59; 176,38; 149,84; 97,38; 85,51; 53,77 e 48,79 kg ha⁻¹), aplicadas via aspersão. Esses autores concluíram que as doses de N apresentaram influência significativa nessas variáveis.

4.1.2 Adubação nitrogenada aplicada pelo método convencional

Na análise de variância, para o peso de 100 sementes, produtividade, diâmetro maior, comprimento e peso da panícula no experimento de doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional, foi verificada significância estatística ($p \leq 0,05$) pelo teste F, entre os tratamentos aplicados na cultura do sorgo granífero (Tabela 6).

Tabela 6 - Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100s}), produtividade (PROD), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP), e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		P_{100s} (g)	PROD (kg ha ⁻¹)	DMP (cm)	CP (cm)	PP (g)
Tratamento	3	0,22*	14.474.720*	1,34*	34,38 *	896,86*
Bloco	3	0,42 *	2.572.362 ^{ns}	0,15 ^{ns}	5,59 *	221,59 ^{ns}
Resíduo	9	0,055	3.693.618	0,24	1,38	156,84
CV(%)		5,36	35,98	13,63	6,27	31,96
Média		4,40	5.340,35	3,63	18,76	39,18

*Significativo ao nível de 5% , ^{ns} não significativo pelo teste F.

Na análise de regressão para o peso de 100 sementes, embora tenha sido significativa, não foi possível ajustar um modelo matemático em função da adubação nitrogenada aplicada convencionalmente, no qual foi verificado um peso médio de 4,40 g.

Na análise de regressão para a produtividade em função das doses de nitrogênio (Figura 8) verificou-se um ajustamento ao modelo polinomial quadrático com R^2 de 0,96. O valor da dose ótima foi de 84,74 kg ha⁻¹, resultando em produtividade máxima de 7.241 kg

ha⁻¹, a partir desse nível, a produtividade passa a decrescer. A produtividade máxima foi 62,64 % superior a produtividade obtida com o tratamento testemunha. Os resultados auferidos na cultura do sorgo granífero cultivar EA 955 adubado com nitrogênio pelo método convencional são inferiores aos reportados por Araújo et al. (2004), que avaliando a adubação nitrogenada em relação à testemunha, verificaram um aumento de 28% (2.448 kg ha⁻¹) na produção de grãos de milho. A maior produtividade de grãos, 11.203 kg ha⁻¹ foi alcançada com a maior dose de N (240 kg ha⁻¹).

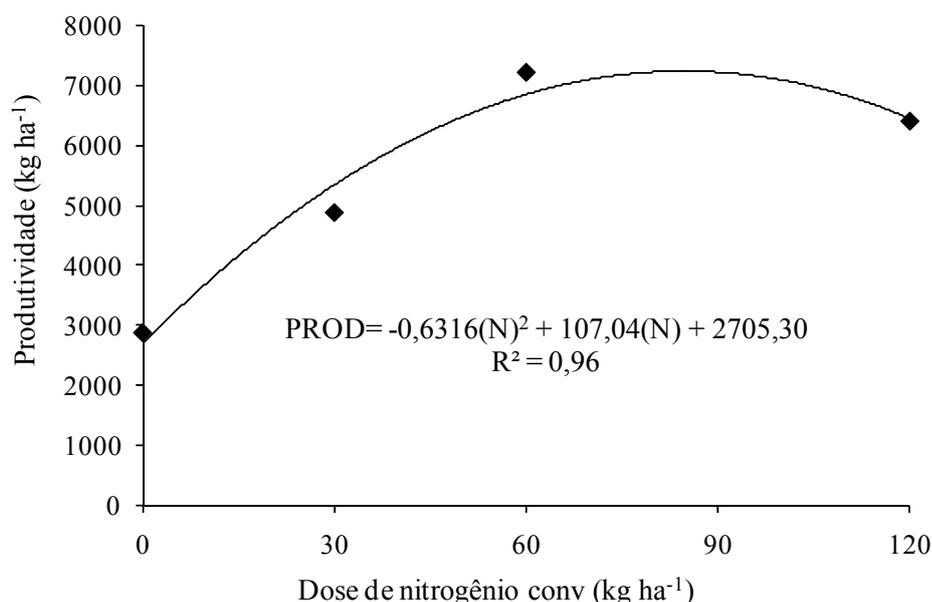


Figura 8 - Produtividade do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.

A tendência dos dados de produtividade do sorgo granífero mostrou-se semelhante aos resultados encontrados na literatura com milho e trigo. Schmidt e Osaki (2007) em pesquisa com adubação nitrogenada em cobertura no trigo (*Triticum aestivum* L.) obtiveram produtividade máxima de 1445 kg ha⁻¹ com a dose ótima de 250 kg de N ha⁻¹, e verificaram que aplicação nitrogenada acima dessa dosagem não proporcionou incrementos de produtividade na cultura. Já Wendling (2005), trabalhando com milho em adubação convencional, obteve uma produtividade de 8.000 kg ha⁻¹ para a dose ótima de 120 kg ha⁻¹.

Com as doses de 0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N, Soratto et al. (2007), em experimento com painço, concluíram que as doses de N aumentaram a produtividade de grãos, independentemente da época de aplicação, e que à dose de 120 kg ha⁻¹ proporcionou o maior aumento da produtividade de grãos.

Lucena (2000), conduzindo experimento com adubação nitrogenada nas doses de 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de N, verificou que a aplicação de 111,10 kg ha⁻¹ de nitrogênio propiciou produtividade máxima de 2.257,20 kg ha⁻¹ de grãos de milho. Enquanto, Silveira e Brito Neto (1993), estudando a adubação nitrogenada em cobertura no feijão, concluíram que a produção aumentou com a dose de nitrogênio, e a dose ótima de 66 kg ha⁻¹ de N foi a que proporcionou maior produtividade. Já, Mar et al. (2003) utilizando cinco doses de N (30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹), na forma de uréia parcelada em quatro vezes no milho safrinha, concluíram que a dose de 120 kg ha⁻¹ de N proporcionou o melhor resultado para a produção de grão.

Almeida (1999), estudando doses (50, 100, e 150 kg ha⁻¹ de N) de nitrogênio em cobertura no milho e sorgo granífero irrigado, verificou que o rendimento de grãos das plantas de milho aumentou com o incremento na dose de nitrogênio aplicada em cobertura, porém, este comportamento não foi observado nas plantas de sorgo granífero irrigado.

A análise de regressão para o diâmetro maior da panícula (DMP) resultou em um modelo polinomial quadrático, com R² igual a 0,99 (Figura 9). O DMP atingiu o valor máximo de 4,14 cm com a dose ótima de 81,25 kg ha⁻¹ de N. Com a dose ótima de nitrogênio, o DMP foi 31,89 % superior ao obtido com tratamento testemunha (zero).

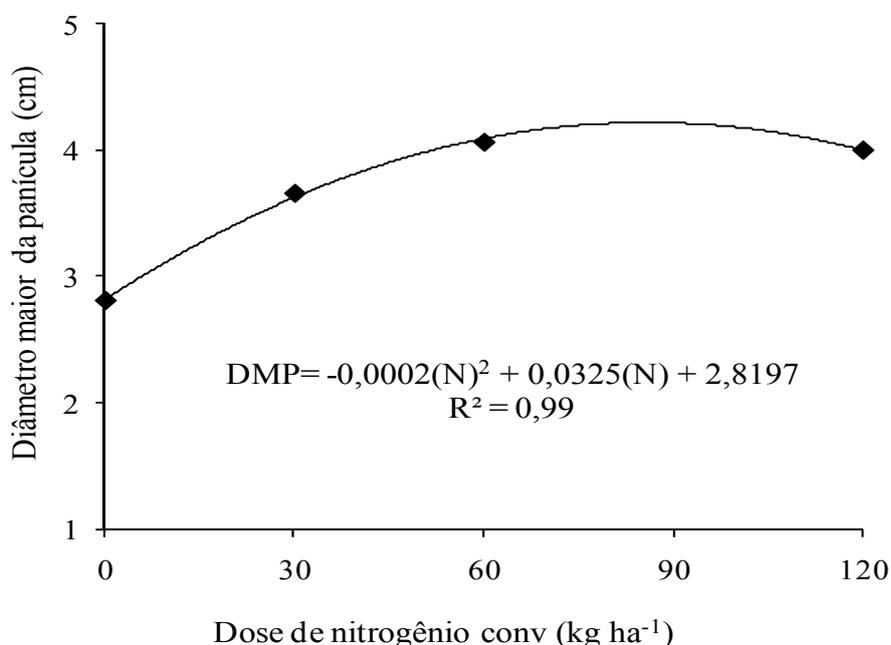


Figura 9 - Diâmetro maior da panícula do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.

Com relação ao comprimento da panícula, a análise de regressão ajustou-se ao modelo polinomial quadrático com coeficiente de determinação (R²) igual a 0,99 (Figura

10). A dose ótima foi de 80 kg ha⁻¹ de N resultando um comprimento da panícula máximo de 21,59 cm, a partir desse nível, o mesmo começou a declinar. Observou-se ainda, que o comprimento da panícula obtido com a dose ótima foi 32,29 % superior ao do tratamento testemunha.

Soratto et al. (2007) reportam que o comprimento da panícula apresentou crescimento linear com as doses de nitrogênio (0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹), no entanto, no presente experimento o maior comprimento da panícula teve ajustamento ao modelo polinomial quadrático, sendo maximizado numa dose de 80 kg ha⁻¹ de N. Enquanto, Oliveira et al. (2005), ao avaliarem cultivares de sorgo sob três doses de N (50; 75 e 100 kg ha⁻¹), em cobertura, concluíram que as cultivares BR 700 e CMSXS 762 apresentaram uma maior quantidade de panícula com aumento das doses de nitrogênio.

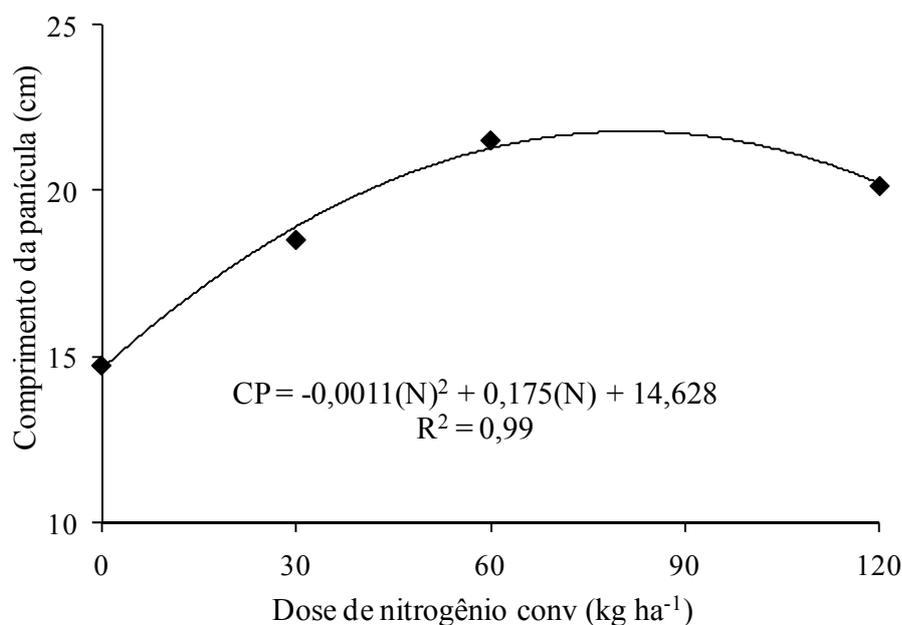


Figura 10 - Comprimento da panícula do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.

Para o peso da panícula, a análise de regressão resultou em um modelo polinomial quadrático com R² igual a 0,91 (Figura 11). A dose ótima de 72,76 kg ha⁻¹ proporcionou um peso da panícula de 55,28 g, portanto, a partir desse nível, o peso da panícula começou a diminuir. Além disso, constatou-se incremento de 64,19% para o peso da panícula na dose ótima, em relação ao obtido com a dose zero de nitrogênio.

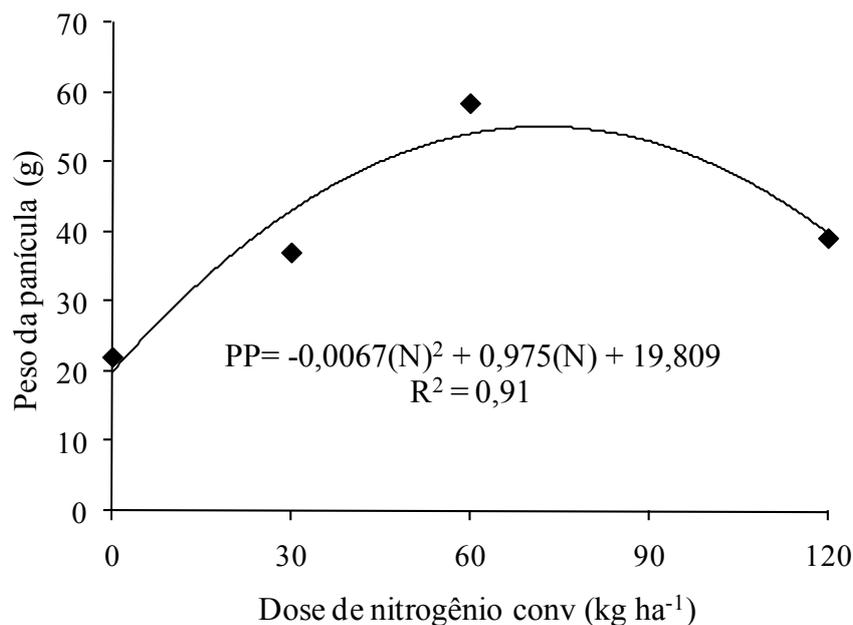


Figura 11 - Peso da panícula do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008

4.1.3 Adubação nitrogenada aplicada por fertirrigação.

A produtividade, o diâmetro maior, o comprimento e o peso da panícula foram avaliados por meio da análise de variância, e apresentaram diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos aplicados na cultura do sorgo granífero. Enquanto, para o peso de 100 sementes não foi constatada resposta significativa ($p > 0,05$) pelo teste F (Tabela 7).

Tabela 7 - Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100S}), produtividade (PROD), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP) e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		P_{100S} (g)	PROD (kg ha ⁻¹)	DMP (cm)	CP (cm)	PP (g)
Tratamento	3	0,69 ^{ns}	20.482.270*	2,15*	215,00 *	1360,9*
Bloco	3	0,20 ^{ns}	3.353.589 ^{ns}	0,31*	6,67 ^{ns}	234,43 ^{ns}
Resíduo	9	0,13	1.587.100	0,06	6,67	83,48
CV (%)		8,24	22,27	6,90	6,90	20,60
Média		4,42	5.655,78	3,73	18,86	44,34

*Significativo ao nível de 5% e ^{ns} não significativo pelo teste F.

Na análise de regressão, a produtividade em função de doses de nitrogênio (Figura 12) o melhor ajuste foi obtido com o modelo polinomial quadrático com coeficiente de determinação igual a 0,92. A dose ótima encontrada para adubação nitrogenada aplicada por fertirrigação foi 80,59 kg ha⁻¹, resultando numa produtividade máxima de 7.929 g ha⁻¹. Além disso, constatou-se que a produtividade máxima foi 67,52 % superior a obtida com o tratamento testemunha.

Provavelmente, essa superioridade na adubação nitrogenada por meio da fertirrigação, ocorreu em virtude do macronutriente N poder ser absorvido diretamente pela planta, não necessitando que ocorressem as reações de transformação no solo. Costa et al. (1994) ressaltam que o nitrogênio na forma sólida (exemplo: uréia e nitrato de amônio) é altamente solúvel em água, não apresentando problema na utilização via água de irrigação, e tem alta mobilidade no solo.

Os resultados da adubação nitrogenada por meio da fertirrigação na cultura do sorgo granífero são semelhantes aos reportados por Mendonça et al. (1999), que avaliaram a produtividade de milho com adubação nitrogenada. Os autores verificaram que a produtividade do milho cresceu até a dose de 262,60 kg ha⁻¹ de N, obtendo uma produtividade de 7.664 kg ha⁻¹. Pavinato et al. (2008), estudando o nitrogênio em milho irrigado, observaram que a máxima produtividade de grãos de milho sob irrigação por aspersão foi obtida com a aplicação entre 283 e 289 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

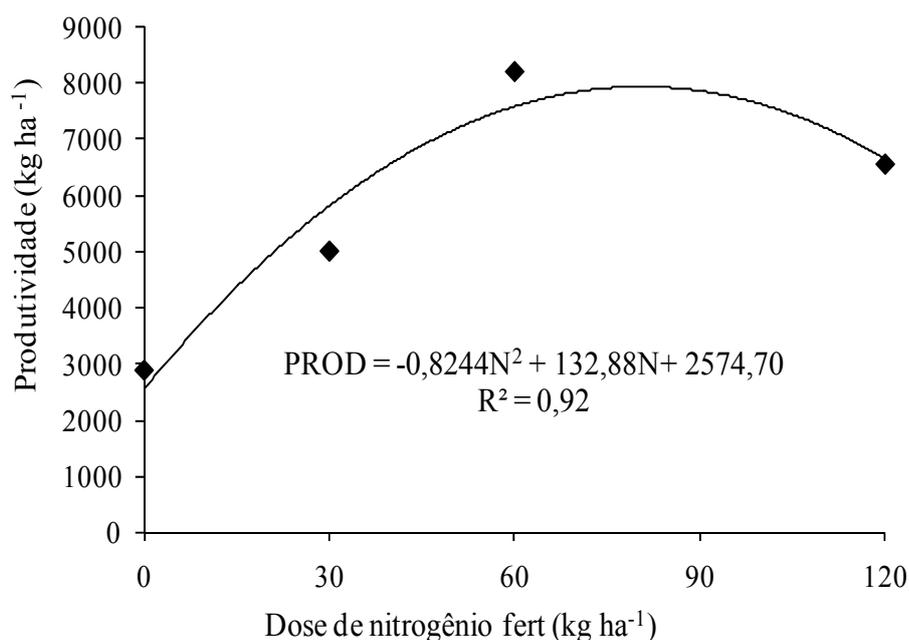


Figura12 - Produtividade do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.

Stone et al. (1999), avaliando o efeito de doses de nitrogênio aplicadas via aspersão em arroz, ajustaram uma curva de resposta de natureza quadrática para produtividade, a qual teve o valor maximizado (5.523 kg de grãos ha⁻¹), numa dose de 112,90 kg ha⁻¹ de N. Já Freitas et al. (2007), pesquisando as respostas de cultivares de arroz irrigado a adubação nitrogenada, verificaram respostas quadráticas para rendimento de grãos com casca e inteiros. A 'IAC 103' respondeu a doses maiores de N, sendo a dose de 218,00 kg ha⁻¹ de N, foi a que maximizou a produtividade, com rendimento de 6.790 kg ha⁻¹ de grãos de arroz com casca.

O resultado da análise de regressão para a variável DMP resultou em um modelo polinomial quadrático com coeficiente de determinação igual a 0,95 (Figura 13). A dose de 75 kg ha⁻¹ de N, proporcionou máximo DMP de 4,42 cm, a partir desse nível, essa variável, começou a reduzir. O valor máximo de DMP foi 38,26 % superior, ao obtido com o tratamento testemunha.

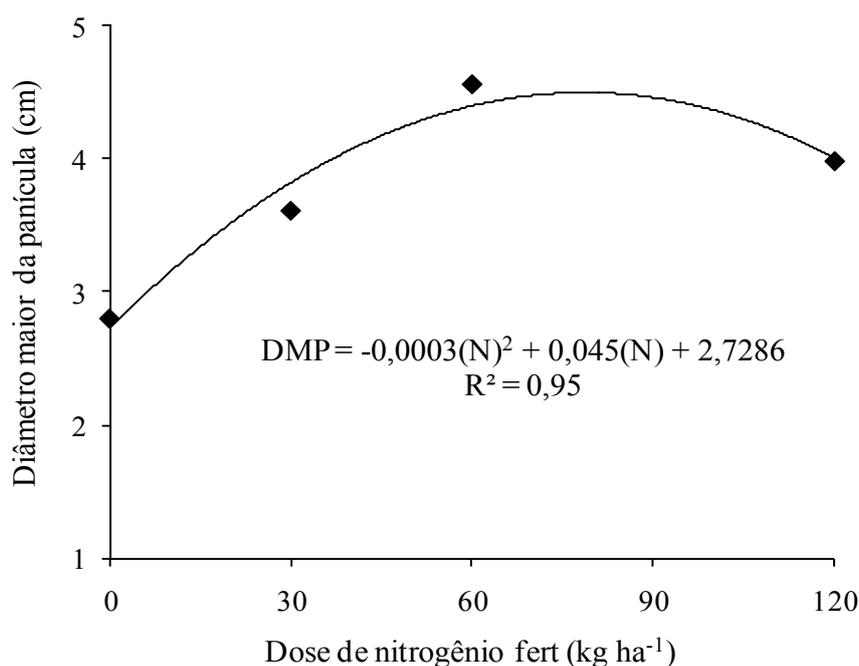


Figura 13 - Diâmetro maior da panícula do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.

Para o comprimento da panícula (CP), a análise de regressão teve ajustamento ao modelo polinomial quadrático com coeficiente de determinação igual a 0,99 (Figura 14). A curva de resposta para o CP em função das doses de N foi maximizada com a dose ótima de 85,06 kg ha⁻¹ propiciando um valor de 21,36 cm. Essa dose gerou um incremento de 30,47 % no comprimento da panícula em relação ao obtido com o tratamento testemunha.

Na Figura 15, observa-se a análise de regressão para o peso da panícula, que apresentou comportamento quadrático com coeficiente de determinação igual a 0,91. A dose 78,71 kg ha⁻¹ de nitrogênio proporcionou o maior valor para a variável de peso da panícula (62,76 g). O peso da panícula máximo foi 69,12 % superior ao obtido com tratamento testemunha, sendo também 4,93 % maior, quando confrontado ao método de adubação convencional, embora nesse caso não tenha apresentado diferença estatística.

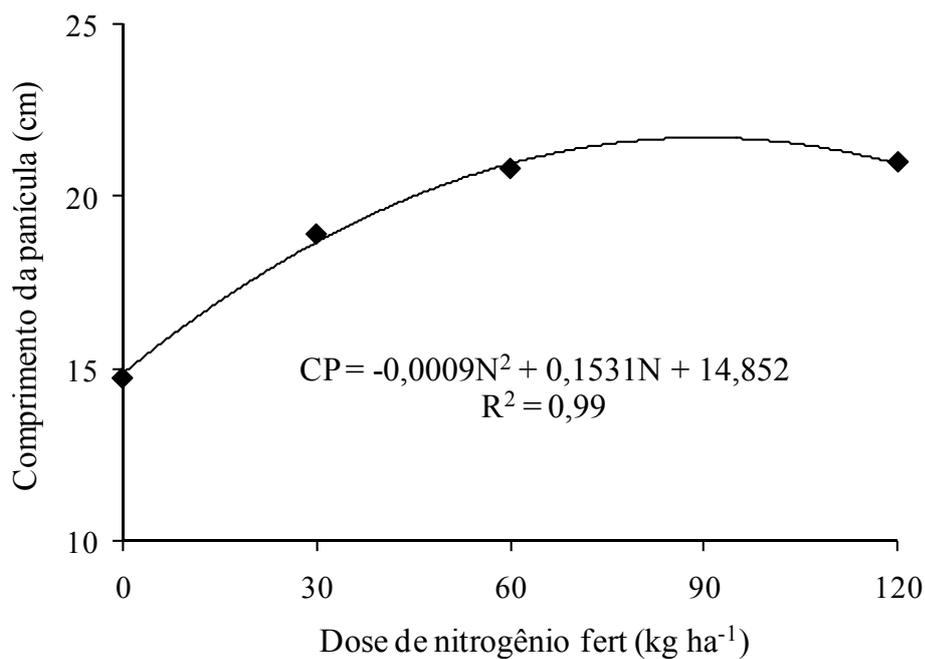


Figura 14 - Comprimento da panícula do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.

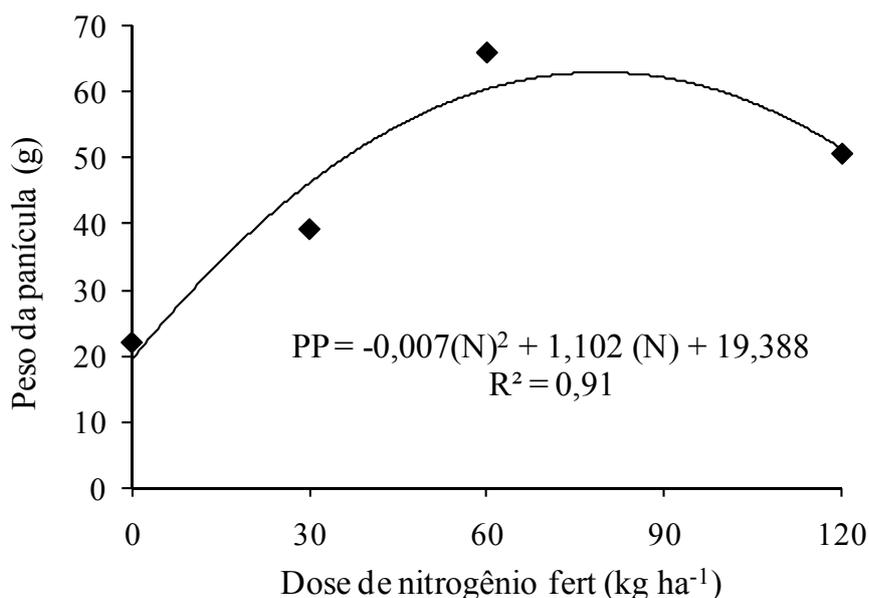


Figura 15 - Peso da panícula do sorgo granífero em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.

4.2 Experimento II: Adubação potássica

4.2.1 Adubação potássica aplicada pelo método convencional e por fertirrigação

Observou-se efeito significativo ($p \leq 0,05$) na análise de variância para a produtividade, diâmetro maior e comprimento da panícula. Entretanto, para o peso de 100 sementes e da panícula não houve efeito significativo ($p > 0,05$) pelo teste F (Tabela 8). Resposta desta natureza denota que o peso de 100 sementes e da panícula apresentaram baixa variabilidade em relação às doses de potássio aplicadas.

Tabela 8 - Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100S}), produtividade (PROD), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP) e peso da panícula (PP) do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		P_{100S} (g)	PROD (kg ha ⁻¹)	DMP (cm)	CP (cm)	PP (g)
Tratamento	6	0,27 ^{ns}	2.092.648 *	0,75 *	8,59 *	134,17 ^{ns}
Bloco	3	0,75 ^{ns}	5.085.902 *	1,10 *	4,72 ^{ns}	292,67 ^{ns}
Resíduo	18	0,34	769.841	0,22	2,26	58,06
CV(%)		13,28	30,80	16,17	9,86	33,14
Média		4,43	2.848,57	2,91	15,26	22,98

*Significativo ao nível de 5%, ^{ns} não significativo pelo teste F.

Para a produtividade, para o diâmetro maior e comprimento da panícula foram verificadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos aplicados na cultura do sorgo granífero EA 955, pelo teste de Tukey quando comparados com o tratamento testemunha (Tabela 9).

No resultado do teste de Tukey, para a produtividade, constatou-se diferença significativa ($p \leq 0,05$) quando se compara o tratamento 25 kg ha⁻¹ por fertirrigação (3.483,22 kg ha⁻¹) em relação ao tratamento testemunha (1.431,60 kg ha⁻¹). Observou-se ainda que os tratamentos 25, 50 e 100 kg ha⁻¹ do método convencional ou fertirrigado não diferiram para produtividade, ou seja, o incremento das doses não proporcionou aumento no rendimento de grãos do sorgo granífero.

Provavelmente, resposta deste tipo ocorreu em função de perda de potássio por lixiviação, já que esse elemento é bastante móvel no solo. Esse fato pode ter sido ocasionado pela precipitação pluvial que durante a condução do experimento, do final de março ao

início de julho, apresentou grande irregularidade, tanto na quantidade quanto na distribuição (1.073,3 mm, Tabela 1). Essa precipitação pluvial no período de condução do experimento foi superior a demanda hídrica da cultura do sorgo. Além disso, outro fator contribuinte para incrementar a perda do potássio foi o solo ser classificado como areia franca (Tabela 2). Sousa (2007) reporta que o consumo de água da planta de sorgo durante seu ciclo varia de 380 a 600 mm.

De acordo com Ernani et al. (2007), a lixiviação do K depende de sua presença em concentrações significativas na solução do solo, aumentando com a adição de fertilizantes potássicos e com a quantidade de água que percola no perfil. Os mesmos autores afirmam ainda que a lixiviação de parte dos íons potássicos é função do valor da CTC do solo e da quantidade de chuva.

Tabela 9 - Produtividade (PROD.), diâmetro maior da panícula (DMP) e comprimento da panícula (CP) do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008

Tratamentos	PROD (kg ha⁻¹)	DMP (cm)	CP (cm)
0	1.432 b	2,08 b	12,07 b
25 Conv	2.405 ab	2,69 ab	16,04 a
50 Conv	3.023 ab	3,07 ab	15,72 a
100 Conv	2.902 ab	2,82 ab	14,94 ab
25 Fert	3.484 a	3,17 ab	16,14 a
50 Fert	3.336 ab	3,38 a	16,01a
100 Fert	3.358 ab	3,18 a	15,94 a
Média	2.848	2,91	15,26

*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Resultados semelhantes foram encontrados por Pedroso Neto e Rezende (2005), trabalhando com quatro doses de adubação potássica na cultura da soja (40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de K₂O) e três modos de aplicação de K: plantio, cobertura aos trinta dias e parcelado (20 kg no plantio + 20 kg em cobertura, 40 kg no plantio + 40 kg em cobertura, 40 kg no plantio + 80 kg em cobertura e 40 kg no plantio + 120 kg em cobertura) e uma testemunha como tratamento adicional (zero de K₂O). Os autores observaram que para a aplicação do nutriente em cobertura houve resposta às doses avaliadas; no entanto, quando a adubação foi feita no plantio ou parcelada, não se observou respostas às doses de potássio aplicadas para a variável produção de grãos.

Para o diâmetro maior da panícula observou-se que as doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ aplicadas por fertirrigação mostraram comportamento diferenciado em relação ao tratamento testemunha, com aplicação do teste de separação de médias. Enquanto, para o comprimento da panícula ocorreu diferença estatística entre os tratamentos 25 e 50 kg ha⁻¹ aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação, e na dose 100 kg ha⁻¹ aplicado por fertirrigação, quando se compara com a testemunha. Os métodos de aplicação do macronutriente potássio por meio da fertirrigação e convencional não deferiram pelo teste de segregação de médias de Tukey ($p > 0,05$) para as variáveis diâmetro maior e comprimento da panícula.

4.2.2 Adubação potássica aplicada pelo método convencional

Na Tabela 10, encontra-se o resumo da análise de variância para produtividade, diâmetro maior, comprimento e peso da panícula na cultura do sorgo granífero, denotando-se efeitos significativos em nível de 5% de probabilidade pelo teste F, com exceção para o peso de 100 sementes, que não apresentou resposta significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 10 - Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100s}), produtividade (PROD), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP), e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		P _{100s} (g)	PROD (kg ha ⁻¹)	DMP (cm)	CP (cm)	PP (g)
Tratamento	3	0,46 ^{ns}	2.095.500 *	0,70*	13,08*	148,79*
Bloco	3	0,90 ^{ns}	1.117.900 ^{ns}	0,32 ^{ns}	3,04 ^{ns}	56,73 ^{ns}
Resíduo	9	0,48	301.968	0,12	2,39	27,32
CV(%)		15,53	22,51	13,01	10,51	26,25
Média		4,46	2.440,44	2,66	14,69	19,91

*Significativo ao nível de 5%,^{ns} não significativo pelo teste F.

A curva de resposta da produtividade do sorgo granífero em função das doses de potássio teve ajustamento ao modelo polinomial quadrático, apresentando um coeficiente de determinação igual 0,99. A cultivar de sorgo EA 955 respondeu as adubações com cloreto de potássio, maximizando a produtividade (3.170,01 kg ha⁻¹) na dose de 86,35 kg ha⁻¹ (Figura 16). Confrontando-se a produtividade obtida na dose ótima com o tratamento testemunha, constata-se uma superioridade de 55,09 %.

O assunto adubação potássica em grandes culturas apresenta importância capital, pois a nutrição é base da produtividade. Os resultados do presente trabalho estão em conformidades com os disponíveis na literatura. Pesquisas realizadas por Deparis et al. (2007), avaliando a adubação potássica em milho, verificaram aumento da produção de biomassa seca da parte aérea, embora a produtividade não tenha sido alterada. Os mesmos autores afirmaram ainda que doses acima de 30 kg ha^{-1} de K_2O resultaram em menor eficiência de uso dos fertilizantes potássicos.

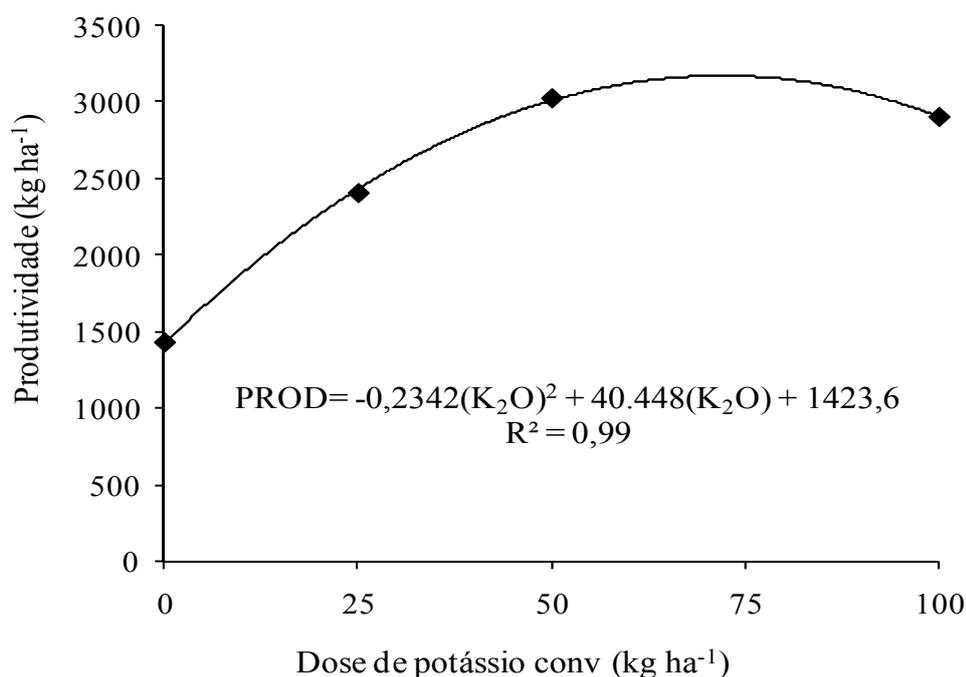


Figura 16 - Produtividade do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.

Mascarenhas et al. (2000), estudando as respostas da cultura da soja às adubações potássica, encontraram produtividades máximas de 2.384 e 1.786 kg ha^{-1} com as cultivares FT-2 e IAC-17 e doses de 450 e 370 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente. Enquanto Carvalho et al. (2000), pesquisando o rendimento do algodoeiro às aplicações de diferentes doses de potássio, estimaram uma produtividade máxima de 2.264 kg ha^{-1} de algodão em caroço, para a dose de 136 kg ha^{-1} de K_2O . Já Fernandes et al. (2005), trabalhando com a adubação potássica em duas cultivares de algodão, constataram que uma adubação de cobertura tardia ou precoce não alterou significativamente a produtividade.

No trabalho conduzido por Coelho e França (1995), com adubação potássica em cobertura em cultivos sucessivos de milho para produção de grãos e forragem, sob condições irrigadas, em Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, verificaram a redução da

produção, principalmente para os tratamentos testemunha e com aplicação de 60 kg ha^{-1} , sendo maior a redução, quando se cultivou milho visando à produção de forragem, o que demonstra a importância do potássio na manutenção da produtividade da cultura.

O resultado da análise de regressão para o diâmetro maior da panícula resultou num modelo polinomial quadrático com coeficiente de determinação igual a 0,99 indicando um ajustamento dos dados à equação estimada (Figura 17). A dose de potássio que proporcionou a maximização do diâmetro maior da panícula (2,95 cm) foi $66,25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$.

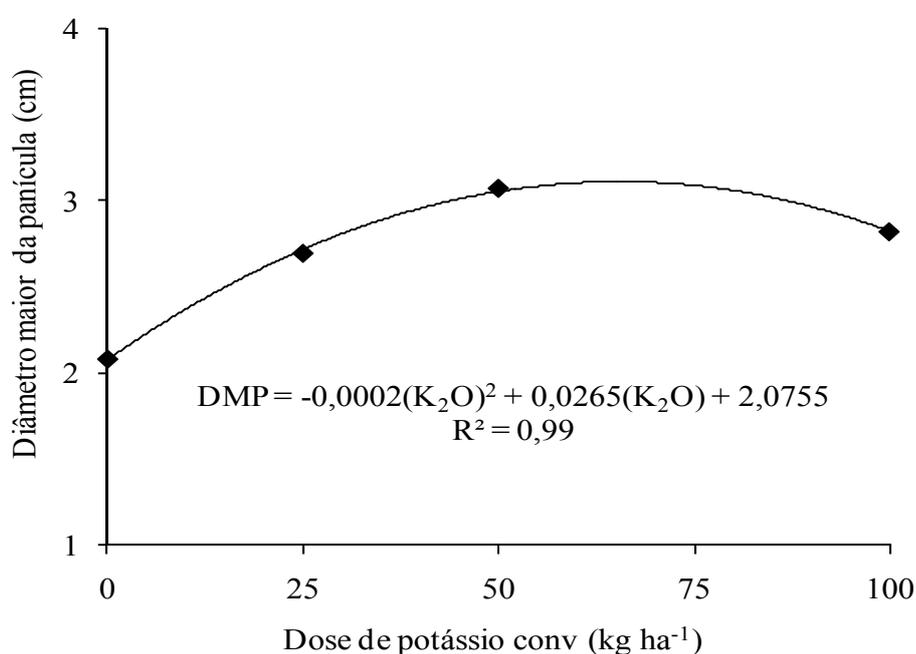


Figura 17 - Diâmetro maior da panícula do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.

Nas Figuras 18 e 19, pode-se observar a análise de regressão para o comprimento e peso da panícula, que apresentaram um comportamento polinomial quadrático, com coeficiente de determinação superior a 0,85. As doses de potássio que proporcionaram a maximização dos valores de comprimento (16,43 cm) e peso da panícula (25,97 g) foram respectivamente iguais a $70,75$ e $79,74 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O .

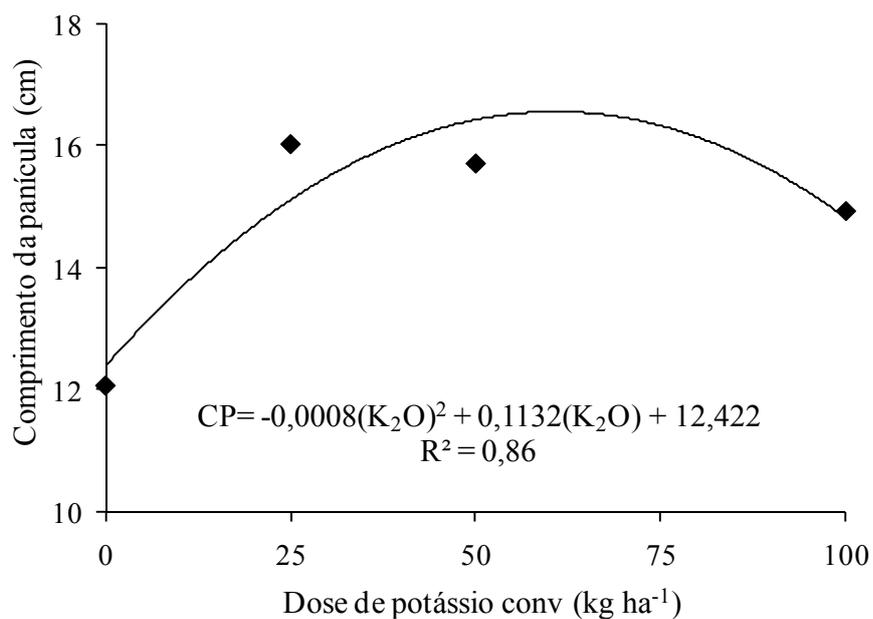


Figura 18 - Comprimento da panícula do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.

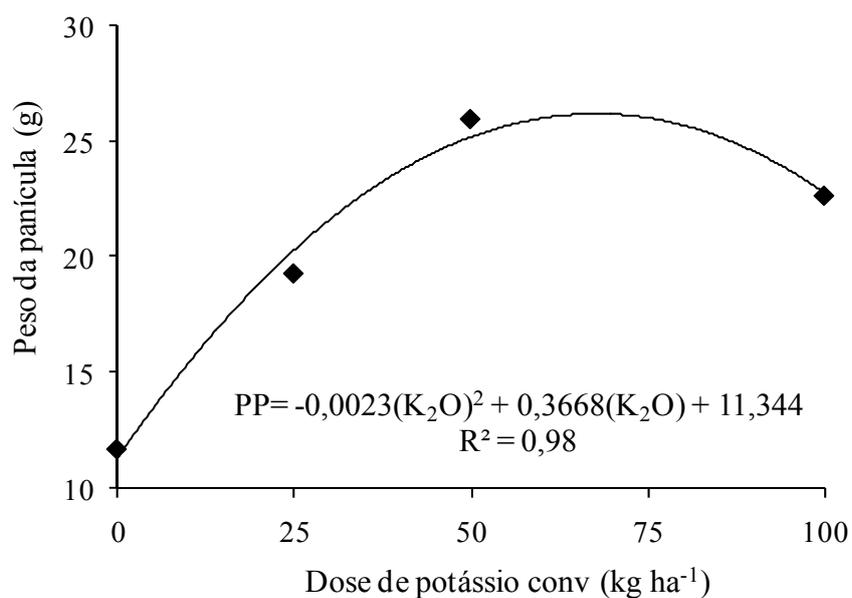


Figura 19 - Peso da panícula do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional. Fortaleza, Ceará, 2008.

4.2.3 Adubação potássica aplicada por fertirrigação

Observando-se o resumo da análise de variância para o diâmetro e para o comprimento da panícula constata-se diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$). Porém, para o peso de 100 sementes, a produtividade e o peso da panícula não se observa resposta diferenciada com $p > 0,05$ (Tabela 11).

Tabela 11 - Análise de variância dos dados de peso de 100 sementes (P_{100S}), produtividade (PROD.), diâmetro maior da panícula (DMP), comprimento da panícula (CP), e peso da panícula (PP) de sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		P_{100S} (g)	PROD (kg ha ⁻¹)	DMP (cm)	CP (cm)	PP (g)
Tratamento	3	0,11 ^{ns}	3.863,021 ^{ns}	1,40 *	15,68 *	238,29 ^{ns}
Bloco	3	0,21 ^{ns}	4.057,379 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,44 ^{ns}	262,95 ^{ns}
Resíduo	9	0,11	1.244,701	0,33	2,46	82,50
CV(%)		7,80	38,43	19,65	10,44	39,06
Média		4,33	2902,46	2,95	15,04	23,25

*Significativo ao nível de 5%, ^{ns} não significativo pelo teste F.

Apesar de não ter ocorrido significância ($p > 0,05$) na análise de variância para a produtividade do sorgo granífero cultivar EA 955, submetido a diferentes doses de K_2O (0; 30; 60 e 120 kg ha⁻¹) aplicadas por fertirrigação, a produção média foi de 2.902,46 kg ha⁻¹ (Tabela 9, tratamentos fertirrigados). O valor médio da produtividade obtido no presente experimento, para os tratamentos fertirrigados, foi inferior ao reportado por Pompeu et al. (2005), que encontraram uma produtividade de 4.432 kg ha⁻¹, com a mesma cultivar.

Esse fato, provavelmente ocorreu devido ao excesso de chuva (Tabela 1) durante a condução do experimento, que pode ter facilitado a lixiviação do K_2O no solo, ressaltando-se que o solo da área experimental apresenta 84% de areia e 7 % de argila (Tabela 2). Por ser um solo que tende para arenoso, pode ter sido facilitada a lixiviação do potássio para as camadas do solo abaixo do sistema radicular da planta dificultando absorção do K aplicado por fertirrigação. Efeito que pode ter sido evidenciado, devido ao fato dessa lixiviação possivelmente ter ocorrido durante a fase vegetativa da cultura, em que ocorre a maior absorção do K pela a planta de sorgo. Isso foi comprovado por Coelho et al. (2002), ao afirmarem que a maior absorção de K ocorre na fase vegetativa, cerca de 80%, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento. E, Coelho (2005) afirma

que o potencial de perdas do K por lixiviação está em função de sua mobilidade nos diferentes tipos de solos e as exigências do sorgo em relação à curva de absorção de nutrientes.

Resultados semelhantes foram constatados por Coelho (2005) em experimento conduzido com adubação potássica em milho irrigado com doses de 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O parceladas em duas e três vezes. O autor concluiu que não houve aumento significativo ($p > 0,05$) na produção de grãos em relação à aplicação de dose única no plantio. Esse autor encontrou com a dose zero de K₂O uma produtividade de 3.780 kg ha⁻¹ de milho, enquanto na dose 120 kg ha⁻¹ de K₂O essa produtividade aumentou para 6.240 kg ha⁻¹. O mesmo argumentou ainda que o parcelamento das doses de K₂O em três vezes tende a reduzir a produção de grãos de milho.

A análise de regressão para as variáveis diâmetro maior e comprimento da panícula resultaram num modelo polinomial quadrático com R² igual a 0,96 e 0,87 respectivamente (Figuras 20 e 21). As doses de potássio que maximizaram o diâmetro maior (3,82 cm) e o comprimento da panícula (17,11 cm) foram iguais a 91,78 e 81,79 kg ha⁻¹.

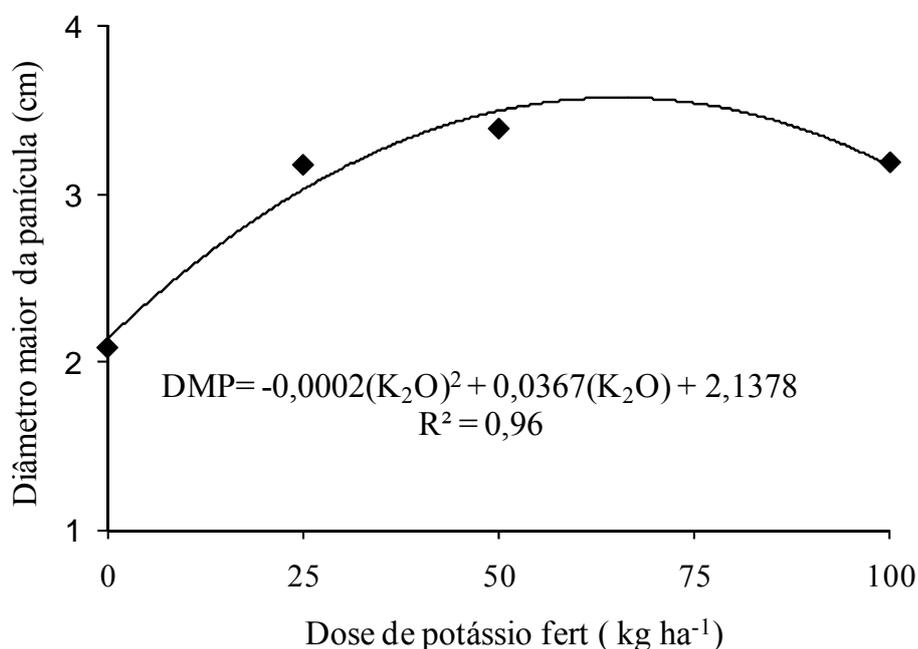


Figura 20 - Diâmetro maior da panícula do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.

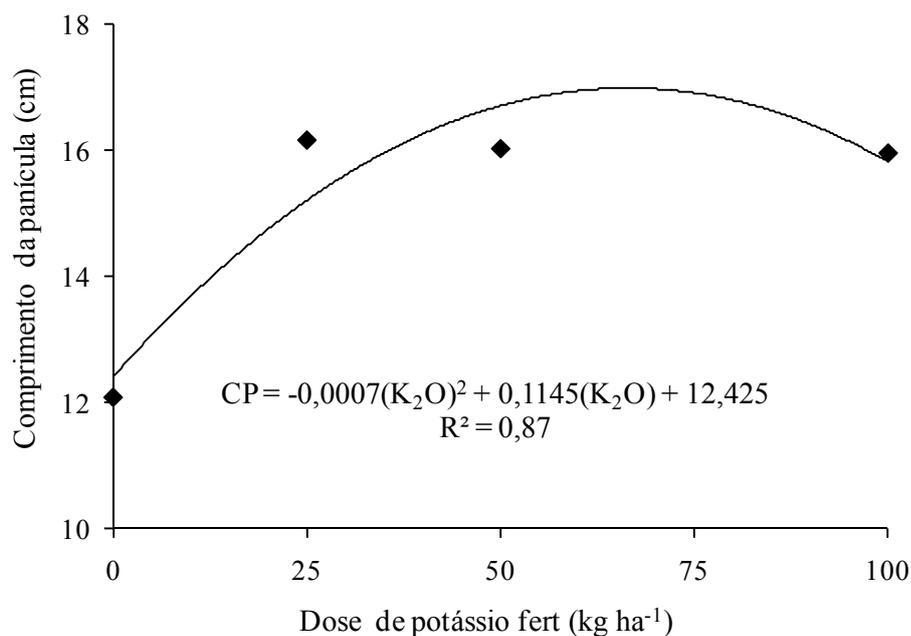


Figura 21 - Comprimento da panícula do sorgo granífero submetido a diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. Fortaleza, Ceará, 2008.

Para o peso da panícula não foi observado significância ($p > 0,05$) na análise de variância do sorgo granífero cultivar EA 955 submetido a diferentes doses de K_2O aplicadas por fertirrigação, tendo o peso da panícula média de 23,25 g, que pode ter sido causado devido à lixiviação do K_2O na fase vegetativa. Estes resultados corroboram com os constatados por Coelho et al. (2002), ao relatarem que a maior necessidade da planta de sorgo pelo potássio é na fase inicial de seu desenvolvimento, funcionando como um elemento de “arranque”.

5 CONCLUSÕES

Experimento I: Adubação nitrogenada

A adubação nitrogenada proporcionou aumentos na produtividade, no diâmetro, no comprimento e no peso da panícula.

A aplicação de diferentes doses de N pelos métodos convencional e por fertirrigação não diferiram entre si em nenhuma das variáveis analisadas

A dose de N aplicada pelo método convencional de 84,74 kg ha⁻¹ de N maximizou a produtividade em 7.240,82 kg ha⁻¹, enquanto, no método por fertirrigação a dose de 80,59 kg ha⁻¹ de N resultou em produtividade máxima de 7.929,23 kg ha⁻¹.

Experimento II: Adubação potássica

A aplicação de diferentes doses K₂O de forma convencional e por fertirrigação não diferiram entre si em nenhuma das variáveis analisadas.

A produtividade máxima estimada de 3.170,01 kg ha⁻¹ foi obtida com a dose de 86,35 kg ha⁻¹ de K₂O no método de adubação convencional.

No método de adubação por fertirrigação não houve influência das doses de K₂O na produtividade.

6 RECOMENDAÇÃO

Recomenda-se no cultivo do sorgo uma adubação nitrogenada de 60 kg ha⁻¹, e uma adubação potássica de 25 kg ha⁻¹ sob condições irrigadas.

7 REFÊRENCIAS

AGUIAR; P. A. A. Potencial anual de produção de sorgo granífero sob condições irrigadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, p.117-120, 1981.

ALMEIDA, R. E. **Espaçamento entre drenos de superfície e doses de nitrogênio em milho e sorgo granífero cultivados em solo de várzea**. 1999. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

ALVARENGA, M. A. R. **Crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em alface-americana (*Lactuca sativa* L.) sob doses de nitrogênio aplicadas no solo e de níveis de cálcio aplicado via foliar**. 1999. 117f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

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

ALVES, D. N. B.; FARIA, M. A.; LIMA, L. A.; SILVA, A. M. Desempenho da bomba injetora e do tanque de derivação de fluxo na aplicação de cloreto de potássio em microaspersores. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 22, Ilhéus-Bahia. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993, p. 2585-2597.

ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. **Métodos de irrigação e quimigação**. Sete Lagoas, MG, Dezembro, 2006.17p (Circular Técnica, 86)

ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.771-777, ago. 2004.

ARAÚJO, W. F; SAMPAIO, R. A.; MEDEIROS, R. D. Irrigação e adubação nitrogenada em milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba v.56. n. 4 out./dez.1999.

ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L. C.; STRIEDER, M.L.; FORSTHOFER, E.L.; SUHRE, E. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 4, n. 1-2, p. 27-34, 2003.

AVELAR, B. C. Aspectos climáticos. In: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa em Milho e Sorgo. **Recomendações técnicas para a cultura do sorgo**. Sete Lagoas, 1982. p.15-16 (Circular Técnica, 1).

AZEVEDO, H. M. Irrigação localizada. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, p. 40-53, 1986.

BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. **Aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2001. 8 p. (Circular Técnica, 49).

BASANTA, M. D. V.; NETO, D. D.; GARCÍA, A. G. Estimativa do volume máximo de calda para aplicação foliar de produtos químicos na cultura de milho. **Scientia Agrícola**, v.57, n.2, p.283-288, abr./jun. 2000.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6. Ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 657 p.

BOAS, R.L.V.; OLIVEIRA, M.V.A.M.; MOTA, P.R.A.; BETTINI, M.O. Agricultura fertirrigada avança no Brasil. **Agrianual**. p.54-57, 2005.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1983. 506 p.

CARVALHO, O. S.; ALENCAR, A. R.; MOULIN, M. C.; SILVA, O. R. R. F. da; SILVA, M. A. W.; PEREIRA, J. R.; SANTOS, J. W.; ARAÚJO, G. P.; MEDEIROS, J. C. Influência de níveis de fósforo e de potássio no rendimento do algodoeiro In: FERTBIO – BIODINÂMICA DO SOLO, 2000, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria: UFSM, 2000. p.102

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1942. 124p (Bulletin, 670).

COELHO, A. M. Nutrição e adubação. In: EMBRAPA Milho e Sorgo. **Cultivo do sorgo**. 2007. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/sorgo/cultivares.htm>>. Acesso em: 08 jul. 2008.

COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, 2005. cap. 22, p.613-652.

COELHO, A. M. Fertirrigação em culturas anuais produtoras de grãos. In: **Revista Trimestral da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem - ABID**. n.58, p. 44-54, 2003.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. Seja o Doutor do seu sorgo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v.100, p.1-24, 2002.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. G. Nutrição e adubação. In: **Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e Fósforo** (Ed.). Seja doutor do seu milho. 2. ed. Piracicaba, 1995. p. 1-19. (Arquivo agrônomo, 2).

COELHO, A. M. Fertirrigação. In: COSTA, E.F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Ed.) **Quimigação**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNMS, 1994. p.201-27.

COSTA, E. F. da; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 315 p.

CRUCIANI, D. E.; MAIA, P. C. S.; PAZ, V. P. S.; FRIZZONE, J. A. Fertirrigação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) por sistema de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.63-67, 1998.

CUNHA, J. P. A. R. **Irrigação: Água e químicos**. 2001. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/artigo.asp?id=252>>. Acesso em: 13 out. 2008.

DEPARIS, G. A.; LANA, M. C. E; FRANDOLOSO, J. F. Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. **Maringá**, v. 29, n. 4, p. 517-525, 2007.

DORENBOOS, J.; KASSAM, A. H., **Yield response to water**. FAO. Irrigation and Drainage Paper, n. 33. 193p. 1979.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa; Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. Cap.9, p.501-589.

FERNANDES, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; FERRARI, S.; FERRARI, J. V.; SANTOS, M. L. Parcelamento de potássio em algodoeiro para as cultivares IAC 24 e DELTAOPAL. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2005, Salvador. **Anais...** Salvador: Embrapa CNPA/Embrapa, 2005.

FILGUEIRA, H. J. A.; GUERRA, A. F.; RAMOS, M. M. Parâmetros de manejo de irrigação e adubação nitrogenada para o cultivo de cevada cervejeira no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.1, p.63-70, jan. 1996.

FRANÇA, L. V. **Efeitos da fertirrigação nitrogenada no carbono da biomassa microbiana do solo e nos componentes de produção de genótipos de cevada**. 2007. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/ Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

FREITAS, J. G.; CANTARELLA, H.; SALOMON, M. V.; MALAVOLTA, V. M. A.; CASTRO, L. H. S.; GALLO, P. B.; AZZIN, L. E. Produtividade de cultivares de arroz irrigado resultante da aplicação de doses de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.317-325, 2007.

GODERT, W. J. **Calagem e adubação** – Brasília: EMBRAPA-CPAC: EMBRAPA-SPI, 1995. 59 P. (Coleção saber, 1).

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1997. 390p.

GOMES, J. A.; NÓBREGA, A. C. Comportamento de cultivares e híbridos de bananeira na região produtora do Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.22, n.1, p.11- 3, 2000.

GONDIM, R. S.; AGUIAR, J.V. de; COSTA, R. N. T. Estratégias de manejo de água em Caupi irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n.1, p.14-18, 2000.

JOHNSON, A. W.; YOUNG, J. R.; THREADGILL, E. D.; DOWLER, C. C.; SUMMER, D. R. Chemigation for crop production management. **Plant Disease**, St. Paul, v. 70, n. 11, p. 998-1004, 1996.

KICHEL, A. N.; CORDEIRO, D. S.; BRAUNER, J. L. Resposta de três híbridos comerciais de sorgo granífero a diferentes níveis de adubação nitrogenada. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 11., 1982, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRPA-UEPAE Pelotas, 1982. p.69-76.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B. Produtividade e utilização de nitrogênio em aveia em função de épocas de aplicação do nitrogênio. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 8, n. 2, p. 117-121, mai./ago. 2002.

KOPPEN, W. **Dieklimate dererde-grundrib der kimakunde**. Berlin: Walter de gruy-ter verlag, 1923.

LANA, R. M. Q; HAMAWAKF, O. T; LIMA, L. M. L; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Resposta da soja a doses e modos de aplicação de potássio em solo de cerrado. **Bioscience Journal**, v.18, p. 17-23, 2002.

LARA, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de NNH_3 volatilizado para uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 345-352, 1990.

LEON NEW, L.I. Introduction: why chemigate? In: LEON NEW, L.; KNUTSON, A.; BEAN, B.W., MORRISON, W.P.; PATRICK, C.D.; HICKEY, M.G.; KAUFMAN, H.W.; LEE, T.; AMOSSON, S.H.; FIPPS, G.; SWEETEN, J. **Chemigation: workbook**. Texas: Agriculture Extension Service, 1990. p. I-1.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **Estudo do uso da água e energia elétrica para irrigação no Brasil**. Disponível em < <http://www.iica.org.uy/p2-5htm>>. Acesso em: 08 dez. 2007.

LUCENA, L. F.; OLIVEIRA, F. A.; IVANDRO, I. F.; ANDRADE, A. P. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.334-337, 2000.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo**. Sete Lagoas: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003. 4p (Comunicado Técnico, 87).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Ecofisiologia. In: EMBRAPA Milho e Sorgo. **Cultivo do sorgo**. 2007. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/sorgo/ecofisiologia.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2008.

MALAVOLTA E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: ed. Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. São Paulo, 3a ed. Ceres, 1981. 607p.

MALAVOLTA, E. Potássio é uma realidade - o potássio é essencial para todas as plantas. *Informações Agronômicas*, 549, **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.3, 542-549, maio/jun., 2001, Piracicaba, n.73, p.5-6, mar. 1996.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. revista atual, Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.

MAR, G. D.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.2, p.267-274, 2003.

MARIGUELE, K. H.; SILVA; P. S. L. Avaliação dos rendimentos de grãos e forragem de cultivares de sorgo granífero. **Caatinga**, Mossoró-RN, v.15, n.1/2, p.13-18, dez. 2002.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; CARMELLO, Q. A. C.; GALLO, P. B.; AMBROSANO, G. M. B. Calcário e potássio para a cultura de soja. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.445-449, jul./set. 2000.

MENDONÇA, F. C.; MEDEIROS, R. D.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Adubação nitrogenada do milho em um sistema de irrigação por aspersão em linha. **Scientia Agricola**, v.56, n.4, p.1035-1044, out./dez. 1999. Suplemento.

MENEGHETTI, A. M. **Manejo da irrigação para produção do minimilho através do tanque classe A**. 2006. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

NEVES, M.C.P. Interdependência fisiológica entre os componentes do sistema simbiótico *Rhizobium* leguminosas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5,p.79-92. 1981.

NOBRE, J. G. A. **Respostas da mamona à irrigação e à aplicação de potássio em argissolo vermelho-amarelo**. 2007. 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

NOGUEIRA, L. C.; GORNAT, B. Desempenho do gotejador autocompensante. **Ítem**, n.22, p.22-28, 1990.

OLIVEIRA, R. P.; FRANÇA, A. F. S.; RODRIGUES FILHO, O.; OLIVEIRA, E. R.; ROSA, B.; SOARES, T. V.; MELLO, S. Q. S. Características agronômicas de cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) moench) sob três doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.1, p.45-53, 2005.

PADILHA, W.A. **Curso internacional de fertirrigacion en cultivos protegidos**. Quito: Ecuador, 1998. 120p.

PARIZI, A. R. C. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e milho (*Zea mays* L.) na região de Santiago, RS**. 2007. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v.38, n.2, mar./abr. 2008.

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

PEDROSO NETO, J. C.; REZENDE, P. M. Doses e modos de aplicação de potássio na produtividade de grãos e qualidade de semente de soja [*glycine max* (l.) merril] **FAZU em Revista**, n. 2, p. 27-36, 2005.

PEREIRA, S.; MELO, B. **Fertirrigação, Adubação e Nutrição das culturas do Abacaxizeiro e Maracujazeiro**. Disponível em: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/fertirrigacao.htm>>, acesso em: 13 out. 2008.

PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; PEREIRA, J. R.; CHOUDHURY, E. N.; CHOUDHURY, M. M. Efeitos de períodos e de frequências da fertirrigação nitrogenada na produção do melão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n. 9, p. 1345-1350, 1994.

PITOMBEIRA, J. B. **Cultura do sorgo**. Notas de Aulas. Fortaleza. 2005. 41 p.

PITTA, G. V. E.; COELHO, A. M.; ALVES, V. M. C.; FRANÇA, G. E.; MAGALHÕES J. V. Adubação. In: EMBRAPA Milho e Sorgo. **Cultivo do sorgo**. 2007. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/sorgo/cultivares.htm>>. Acesso em: 08 jul. 2008.

PITTELLA, L. C. **Fertilização In: Bonsai Cube Morro Velho**, setembro de 2003. Disponível em: <http://www.bonsaimorrovelho.com.br/bcmv_mt_fertilizacao.html>. Acesso em: 21 abr. 2008.

PIZARRO, F. C. **Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación**. Madrid, España: Artes Gráficas Palermo, 1987. 461p.

POMPEU, R. C. F. F.; PITOMBEIRA, J. B.; OLIVEIRA FILHO, G. S.; COSTA, S. A.; NEIVA, J. N. M. S. Características agronômicas de cultivares de sorgo granífero no estado do Ceará. In: 42^a REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. Goiânia, 2005. **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005.

RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: **Potafos**. 343p, 1991.

RAPOSO, J. R. **A rega por arspersão**. Lisboa: Clássica, 1979. 339p.

REY, D. Quimigación: fertilización y control de malezas y plagas con el agua de riego. **Agricultura de las Américas**, v.12, p.14-18, 1981.

ROSA, R. C. C.; MONNERAT, P. H.; SANTOS, A. L.; PIRES, A. A.; PINHO, L. G. R.; MARTINS, A. O. Doses de nitrogênio e potássio em fertirrigação em maracujazeiro amarelo consorciado com coqueiro-anão verde, na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 113-116, abr. 2006.

SANS, L. M. A.; MORAIS, A. V. C.; GUIMARÃES, D. P. **Época de plantio de sorgo**. Sete Lagoas: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, nov. 2003. 4p (Comunicado Técnico, 80).

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

SANTOS, F. G. Cultivares de Sorgo. In: EMBRAPA Milho e Sorgo. **Cultivo do sorgo**. 2007. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/sorgo/cultivares.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2008.

SANTOS, F. G.; TARDIN, F. D. **Cultivares de sorgo**. Sete Lagoas, MG, 3p. nov. 2003. (Comunicado Técnico, 77).

SCHMIDT; F. M. OSAKI, F. Parâmetros fitotécnicos de uma cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) com adubação nitrogenada em cobertura, em Colombo – PR. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 63-69, jan./mar. 2007.

SECRETARIA DE AGRICULTURA DE ALAGOAS. Sorgo granífero: nova opção para produção de grãos no semi-árido de Alagoas, **Folder**, 2006.

SILVA, P. C. S.; LOVATO, C.; FIORI, R. A. et al. Efeito de parcelamento e época de aplicação de N em sorgo granífero em sistema de plantio convencional. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 48.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 31., 2003, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: EMATER/RS; FEPAGRO, 2003. 1 CD-Rom.

SILVEIRA, J. C. K.; BRITO NETO, J. Efeito de doses e modos de aplicação de uréia na produção de feijão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.50, n. 2, p. 254-260, jun./set. 1993.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. **Nutrição e adubação potássica em Eucalyptus**. Disponível em:
<[http://www.potafos.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf7252b8525693e0053ea70/d5fbc829a2f54298832569f8004695c5/\\$FILE/Encarte%201.pdf](http://www.potafos.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf7252b8525693e0053ea70/d5fbc829a2f54298832569f8004695c5/$FILE/Encarte%201.pdf)>. Acesso em: 29 mar. 2008.

SORATTO, R. P.; CARDOSO, S. M.; SILVA, A. H.; MINGOTTI, T. A.; COSTA, T. A.; PEREIRA, M.; CARVALHO, L. A. Doses e épocas de nitrogênio em cobertura na cultura painço (*Panicum miliaceum* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 31, n. 6, p. 1661-1667, nov./dez. 2007.

SOUSA, C. H. C. **Análise da tolerância à salinidade em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão**. 2007. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF. Embrapa, 2004, p.129- 145.

SOUZA, C. A.; MATSURA, E. E. Distribuição da água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento. Campina Grande, PA, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.7-15, 2004.

SOUZA, G. F. M. V. **Armazenamento de sementes de sorgo, colhidas com diferentes graus de umidade e submetidas a tempos de espera para secagem**. 2006. 47f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, 2006, p.215-252.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A.; YOKOYAMA, L. P. Adubação nitrogenada em arroz sob irrigação suplementar por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.34, n.6, p.927-932, jun. 1999.

TESINI, J. R. **Desempenho produtivo aos 21 dias de frangos de corte submetidos a dietas formuladas com grãos de sorgo de diferentes cultivares**. 2003. 21 p. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza, 1993. 248p.

VIANA, P. A.; BRITO, R. A. L.; PINTO, N. F. J. A.; PITTA, G. V. E.; KARAM, D. **Quimigação na Cultura do Milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002, 20p. (Circular Técnica, 18).

VIETS JUNIOR, F. G.; HUMBERT, R. P.; NELSON, C. E. Fertilizers in relation to irrigation practice. In: HAGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W. **Irrigation of agricultural lands**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p. 1009-1023.

VILELA, L. A. A. **Metodologia para o dimensionamento de um sistema de pulverização acoplável a pivô central**. 2002. 127 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C. **Cultura do sorgo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 76p. (Texto Acadêmico).

WAQUIL, J. M.; VIANA, P. A.; CRUZ, I. **Manejo de Pragas na Cultura do Sorgo**. Sete Lagoas, MG. 2003. 25p (Circular Técnica, 27).

WENDLING, A. **Recomendação de nitrogênio e potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2005. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade federal de santa Maria, Santa Maria, 2005.

ZANINI, J. R. Distribuição de água e do íon K^+ no solo, aplicados por fertirrigação em gotejamento. II - Teores de K^+ no bulbo molhado. **Item - Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.46, p.24-38, 1991.