

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

DENISE VIEIRA VASCONCELOS

**MANEJO DA CULTURA DO GIRASSOL SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE
IRRIGAÇÃO, DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E
POTÁSSIO**

FORTALEZA

2011

DENISE VIEIRA VASCONCELOS

**MANEJO DA CULTURA DO GIRASSOL SUBMETIDA A DIFERENTES NÍVEIS DE
IRRIGAÇÃO, DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E
POTÁSSIO.**

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

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

FORTALEZA

2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

V45m Vasconcelos, Denise Vieira.
Manejo da cultura do girassol submetida a diferentes níveis de irrigação, doses e formas de aplicação de nitrogênio e potássio / Denise Vieira Vasconcelos – 2011.
88 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2011.
Área de Concentração: Irrigação E Drenagem.
Orientação: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo.
Coorientação: Prof. Dr. Thales Vinícius de Aratijo Viana.

1. Helianthus annuus L. 2. Catissol. 3. Fertirrigação. 4. Evapotranspiração. I. Título.

DENISE VIEIRA VASCONCELOS

**MANEJO DA CULTURA DO GIRASSOL SUBMETIDA A NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO,
DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO.**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Aprovada em: 22 de agosto de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Thales Vinicius de Araújo Viana (Co-Orientador)

Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dra. Albanise Barbosa Marinho (Conselheira)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB

Pesquisador Dr. Luís Gonzaga Pinheiro Neto (Conselheiro)

Pesquisador PNP/DC/PROF/UFPA

Prof. Dr. Luís Gonzaga Medeiros de Figueiredo Júnior (Conselheiro)

Universidade Estadual do Piauí - UESPI

Prof. Dr. Luís de França Camboim Neto (Conselheiro)

Universidade Federal do Ceará - UFC

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, **Francisco Vasconcelos de Oliveira (Fran)** e **Sandra Vieira Vasconcelos**, pelo amor e por tudo que proporcionaram para que eu pudesse concluir meus estudos.

Ao meu irmão **Clezer**, pelo amor fraternal.

OFEREÇO

Aos meus grandes e verdadeiros amores,
minha amada filha **Fernanda**,
e meu marido **Benito**, por toda felicidade e carinho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por, nesta vida, me oferecer todas as oportunidades de ter família e amigos maravilhosos;

À Universidade Federal do Ceará, através do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa durante todo período do curso;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro ao projeto;

Aos meus queridos pais, por tudo que fizeram, sem medir esforços para dar uma boa educação;

A minha filha querida Fernanda, pela imensa alegria proporcionada todos os dias e por tudo que ela representa na minha vida;

Ao meu sobrinho Lucas, que chegou trazendo muita alegria para nossas vidas;

Ao orientador, Prof. Benito, pela amizade, orientação e conhecimentos para realização desta tese;

A pesquisadora Albanise, por toda ajuda e valiosa contribuição dadas na conclusão desse trabalho;

Ao professor e conselheiro Juan Manzano Juarez; por ser sempre muito atencioso e pelas contribuições;

Ao professor e conselheiro Thales Vinícius de Araújo Viana; por toda sua atenção dispensada a mim, por sua grande amizade e pela participação na banca examinadora;

Ao professor e conselheiro Luís Gonzaga Medeiros de Figueiredo Júnior; pela participação na banca examinadora;

Ao pesquisador e conselheiro Luís Gonzaga Pinheiro Neto; pela participação na banca examinadora;

Aos professores do curso de doutorado em irrigação e drenagem, pelo conhecimento repassado;

Aos meus queridos amigos, Paulo de Cairo e Júnior Bombom, que estão desde o início da graduação juntos comigo e a todos meus colegas do curso, pela agradável convivência e valiosa trocas de experiências e de conhecimentos;

Aos estudantes Newdmar e Erlanyson, e a Olienaide, pela imensa ajuda e dedicação na condução do meu experimento;

Ao amigo Guilherme, por sua amizade e ajuda sempre que necessária;

A todos os bolsistas do Prof. Benito e do Prof. Thales que juntos formam uma equipe e que estão sempre dispostos a ajudar;

As minhas tias Teresa, Kátia, Babi e Graça, que sempre dedicaram a mim e a minha filha todo carinho e atenção.

RESUMO

VASCONCELOS, Denise Vieira, Universidade Federal do Ceará. Agosto de 2011. **Manejo da cultura do girassol submetida a níveis de irrigação, doses e formas de aplicação de nitrogênio e potássio.** Co-orientador: Prof. Dr. Thales Vinicius de Araújo Viana. Conselheiros: Profa. Dra. Albanise Barbosa Marinho, Pesquisador Luís Gonzaga Pinheiro Neto, Prof. Dr. Luís Gonzaga Medeiros de Figueiredo Júnior, Prof. Dr. Luís de França Camboim Neto.

O trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de três doses de nitrogênio e de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação e testemunha – sem aplicação de N ou K. Também, foi avaliado os efeitos de seis lâminas de irrigação com base na ET_{OPM} de Penman-Monteith (ET_{OPM}), para que se possa definir um manejo adequado para a cultura do girassol, variedade Catissol 01. O experimento foi conduzido na área experimental da Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará, localizada no Campus do Pici, no município de Fortaleza, no período de março a julho de 2008 para os experimentos de adubação nitrogenada e potássica, e de agosto a dezembro de 2007 para o experimento de lâminas de irrigação. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições para adubação nitrogenada e potássica e de seis tratamentos e quatro repetições para lâminas de irrigação. As doses testadas no experimento de nitrogênio foram: 0; 30; 60 e 120 kg ha⁻¹ pelo método convencional e fertirrigado. Na fertirrigação as dosagens de nitrogênio foram parceladas em oito aplicações, sendo a primeira na semeadura e as demais aplicadas semanalmente, na adubação convencional as dosagens foram parceladas em duas aplicações, sendo 1/3 da dose no plantio e os outros 2/3 aos 30 dias após a germinação. No experimento com potássio as doses testadas foram: 0; 25; 50 e 100 kg ha⁻¹ pelo método convencional e fertirrigado. Na fertirrigação as dosagens de potássio foram parceladas com 1/3 no plantio e os outros 2/3 parcelados em cinco vezes durante o ciclo da cultura, na adubação convencional o potássio foi todo aplicado no plantio. No experimento de lâminas de irrigação foram testadas as lâminas com 25; 50; 75; 100; 125 e 150% ET_{OPM} . Foram analisadas as seguintes variáveis nos experimentos de adubação nitrogenada e potássica: produtividade, diâmetro do capítulo, peso do capítulo e peso de 100 sementes. No experimento de lâminas de irrigação foram analisadas: a produtividade, o diâmetro do capítulo e o peso do capítulo. A aplicação de nitrogênio pelo método convencional e por fertirrigação apresentaram respostas significativas para: produtividade, diâmetro do capítulo e peso do capítulo. A máxima produtividade (3.429 kg ha⁻¹) foi obtida com adubação convencional, com uma dose ótima estimada em 80,97 kg ha⁻¹ de N. A adubação potássica, aplicada pelo método convencional e fertirrigada, apresentou respostas significativas para todas as variáveis analisadas, sendo a maior produtividade (3.312,09 kg ha⁻¹) conseguida pelo método convencional, com uma dose estimada em 61,24 kg ha⁻¹ de K₂O. No experimento de lâminas de irrigação, foram obtidas diferenças significativas para as variáveis: produtividade e peso do capítulo, obtendo-se uma produtividade máxima de 3.357,18 kg ha⁻¹ com uma lâmina de irrigação estimada em 91,06 % ET_{OPM} .

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L. Catissol. Fertirrigação. Evapotranspiração.

ABSTRACT

VASCONCELOS, Denise Vieira, Universidade Federal do Ceará. August 2011. **Management of sunflower subjected to irrigation levels, doses and means of application of nitrogen and potassium.** Co-advisor: Prof. Dr. Thales Vinicius de Araújo Viana. Committee members: Prof. Dra. Albanise Barbosa Marinho, Researcher Dr. Luís Gonzaga Pinheiro Neto, Prof. Dr. Luís Gonzaga Medeiros de Figueiredo Júnior, Prof. Dr. Luís de França Camboim Neto.

The study aimed to evaluate the effects of three doses of nitrogen and potassium applied by the conventional method and by fertigation and witness - without application of N or K. We also evaluated the effects of six irrigation levels based on the Penman-Monteith ETo (EToPM), so that we can define an appropriate management for sunflower crop, variety Catissol 01. The experiment was conducted in the experimental area of the Meteorological Station of the Federal University of Ceará, located at the Campus do Pici, in the city of Fortaleza, from March to July 2008 for the experiments of nitrogen and potassium fertilization, and from August to December 2007 for the irrigation blades' experiment. The experimental design was of randomized blocks with seven treatments and four replications for nitrogen and potassium fertilization and six treatments and four replications for irrigation blades. The doses tested in the nitrogen experiment were 0, 30, 60 and 120 kg ha⁻¹ by conventional and fertigation method. In fertigation the nitrogen dosages were split into eight applications, the first of which was at sowing and the remaining were applied weekly. In conventional fertilization the dosages were split in two applications, being one third of the dose at planting and the other 2/3 at 30 days after germination. In the experiment with potassium the tested doses were 0, 25, 50 and 100 kg ha⁻¹ and fertilized by conventional and fertigation methods. In fertigation dosages of potassium were split with 1/3 at planting and the remaining 2/3 split in five times during the crop cycle. In the conventional method potash fertilizer was all applied at planting. In the experiment of irrigation blades were tested blades with 25, 50, 75, 100, 125 and 150% EToPM. We analyzed the following variables in the experiments of nitrogen and potassium fertilization: yield, capitulum diameter and weight as well as 100 seed weight. In the experiment of irrigation blades, the following were analyzed: productivity, inflorescence capitulum diameter and weight. The application of nitrogen by conventional method and fertigation showed significant responses to capitulum diameter and weight. The highest yield (3429 kg ha⁻¹) was obtained with conventional fertilization, with a great dose estimated at 80,97 kg ha⁻¹ of N. Potassium fertilizer applied by conventional method and fertigated showed significant responses for all analyzed variables, being the highest yield (3.312,09 kg ha⁻¹) achieved by the conventional method, with a dose estimated at 61,24 kg ha⁻¹ of K₂O. In the irrigation blades experiment, significant differences were obtained for the following variables: productivity and weight of the chapter, obtaining a maximum yield of 3.357,18 kg ha⁻¹ with an irrigation blade estimated in 91,06 % EToPM.

Keywords: *Helianthus annuus* L; Catissol; Fertigation; Evapotranspiration

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01 Localização da área experimental, Fortaleza, Ceará, 2008.....	34
Figura 02 Cabeçal de controle e o sistema de injeção de fertilizantes, Fortaleza, Ceará, 2008.....	39
Figura 03 Área experimental, Fortaleza, Ceará, 2008.....	40
Figura 04 Ponto de colheita do girassol.....	42
Figura 05 Visualização do sistema de irrigação no campo experimental, Fortaleza, Ceará, 2008.....	43
Figura 06 Análise de: Peso do capítulo (A); Diâmetro do capítulo (B); Separação das sementes pra ser feito peso total de sementes (C) e Peso de 100 sementes(D).....	50
Figura 07 Produtividade do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.....	54
Figura 08 Diâmetro do capítulo do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.....	55
Figura 09 Peso do capítulo do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.....	56
Figura 10 Produtividade do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.....	58
Figura 11 Diâmetro do capítulo do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.....	59
Figura 12 Peso do capítulo do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.....	60
Figura 13 Peso de 100 sementes do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.....	61
Figura 14 Produtividade do girassol em função da dose de potássio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.....	65
Figura 15 Diâmetro do capítulo do girassol em função da dose de potássio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.....	66
Figura 16 Peso do capítulo do girassol em função da dose de potássio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.....	67

Figura 17 Peso de 100 sementes do girassol em função da dose de potássio aplicada convencionalmente, Fortaleza, Ceará, 2008.....	68
Figura 18 Produtividade do girassol em função da dose de potássio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.....	70
Figura 19 Diâmetro do capítulo do girassol em função da dose de potássio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.....	71
Figura 20 Peso do capítulo do girassol em função da dose de potássio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.....	71
Figura 21 Peso de 100 sementes do girassol em função da dose de potássio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.....	72
Figura 22 Produtividade do girassol em função da lâmina de irrigação baseada na Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (ET_{OPM}), Fortaleza, Ceará, 2008.....	74
Figura 23 Peso do capítulo do girassol em função da lâmina de irrigação baseada na Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (ET_{OPM}), Fortaleza, Ceará, 2008.....	75

LISTA DE TABELAS

	Pág
Tabela 01 Análise inicial, físico-hídrica, do solo na profundidade de 0–0,2 m, da área experimental, Fortaleza, 2008.....	35
Tabela 02 Análise final, físico-hídrica, do solo na profundidade de 0–0,2 m, da área experimental, Fortaleza, 2009.....	36
Tabela 03 Análise química do solo da área experimental na profundidade de 0-0,2 m, Fortaleza, 2008.....	36
Tabela 04 Valores de precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar a 1,5 m de altura e velocidade do vento a 10 m de altura, Fortaleza, Ceará, 2008.....	37
Tabela 05 Esquema da análise de variância, Fortaleza, Ceará, 2008.....	38
Tabela 06 Doses e formas de aplicação de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2008.....	42
Tabela 07 Doses e formas de aplicação de potássio, Fortaleza, Ceará, 2008.....	44
Tabela 08 Percentuais de E_{TOPM} utilizados nos tratamentos de lâmina de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.....	45
Tabela 09 Quantidade de água, em mm, utilizada durante o experimento de lâmina de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.....	49
Tabela 10 Resumo da análise de variância para produtividade (PROD, em $kg\ ha^{-1}$), diâmetro do capítulo (DC, cm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose e formas de aplicação de nitrogênio na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.....	51
Tabela 11 Teste de médias para comparação da adubação nitrogenada convencional (CONV) e fertirrigada (FERT) para produtividade (PROD, em $kg\ ha^{-1}$), diâmetro do capítulo (DC, cm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose e forma de aplicação de nitrogênio na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.....	52
Tabela 12 Resumo da análise de variância para produtividade (PROD, em $kg\ ha^{-1}$), diâmetro do capítulo (DC, em mm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose de nitrogênio aplicada convencionalmente na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.....	53
Tabela 13 Resumo da análise variância para produtividade (PROD, em $kg\ ha^{-1}$), diâmetro do capítulo (DC, em cm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.....	57
Tabela 14 Resumo da análise de variância para produtividade (PROD, em $kg\ ha^{-1}$)	

¹), diâmetro do capítulo (DC, cm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose e forma de aplicação de potássio na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.....	62
Tabela 15 Teste de médias dos tratamentos da adubação potássica convencional (CONV) e fertirrigada (FERT) para produtividade (PROD, em kg ha ⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, cm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose e forma de aplicação de potássio na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.....	63
Tabela 16 Resumo da análise de variância para produtividade (PROD, em kg ha ⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, em mm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose de potássio aplicada convencionalmente na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.....	64
Tabela 17 Resumo da análise variância para produtividade (PROD, em kg ha ⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, em mm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose de potássio aplicada por fertirrigação na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.....	69
Tabela 18 Resumo da análise variância para produtividade (PROD, em kg ha ⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, em cm) e peso do capítulo (PC, em g) em função da lâmina de irrigação na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.....	73

LISTA DE EQUAÇÕES

	Pág.
Equação 01 Teste de uniformidade CUC.....	39
Equação 02 Tempo de irrigação.....	40
Equação 03 Calor latente.....	45
Equação 04 Calor latente de evaporação da água.....	46
Equação 05 Pressão de saturação do vapor d'água.....	46
Equação 06 Pressão parcial do vapor d'água do ar.....	47
Equação 07 Tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água.....	47
Equação 08 Resistência aerodinâmica a transferência de calor sensível e vapor d'água.....	47
Equação 09 Deslocamento do plano zero do perfil do vento.....	48
Equação 10 Comprimento de rugosidade equivalente da cultura para transferência de momento.....	48
Equação 11 Relação para o calculo do comprimento da rugosidade equivalente para transferência de calor sensível e calor latente.....	48
Equação 12 Relação para o calculo do comprimento da rugosidade equivalente para transferência de calor sensível e calor latente.....	48
Equação 13 Resistência da cobertura vegetal a transferência de vapor d'água.....	48
Equação 14 Índice de área foliar.....	49

SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1. A cultura do girassol	19
2.2. Manejo da irrigação	21
2.2.1. Evapotranspiração.....	24
2.2.2. Produtividade.....	28
2.3. Manejo da adubação	28
2.3.1. Nitrogênio.....	28
2.3.2. Potássio.....	30
2.3.3. Fertirrigação.....	31
3. MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1. Caracterização da área experimental	34
3.2. Delineamento experimental	37
3.3. Cultura	38
3.4. Sistema de irrigação	38
3.5. Práticas culturais	41
3.6. Experimentos	42
3.6.1. Experimento I: Adubação nitrogenada.....	42
3.6.2. Experimento II: Adubação Potássica.....	44
3.6.3. Experimento II: Lâminas de irrigação.....	45
3.7. Características Avaliadas	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1. Experimento I: Nitrogênio	51
4.1.1 Adubação Convencional e Fertirrigada.....	51
4.1.2. Adubação nitrogenada convencional.....	53
4.1.2.1. Produtividade.....	53
4.1.2.2. Diâmetro do capítulo.....	54
4.1.2.3. Peso do capítulo.....	55
4.1.3. Adubação nitrogenada fertirrigada.....	57
4.1.3.1. Produtividade.....	57
4.1.3.2. Diâmetro do capítulo.....	59

4.1.3.3. Peso do capítulo.....	59
4.1.3.4. Peso de 100 sementes.....	60
4.2. Experimento II: Potássio.....	62
4.2.1. Adubação convencional e fertirrigada.....	62
4.2.2. Adubação potássica convencional.....	64
4.2.2.1. Produtividade.....	64
4.2.2.2. Diâmetro do capítulo.....	65
4.2.2.3. Peso do capítulo.....	66
4.2.2.4. Peso de 100 sementes.....	67
4.2.3. Adubação potássica fertirrigada.....	69
4.2.3.1. Produtividade.....	69
4.2.3.2. Diâmetro do capítulo.....	70
4.2.3.3. Peso do capítulo.....	71
4.2.3.4. Peso de 100 sementes.....	72
4.3. Experimento III: Lâminas de Irrigação.....	73
4.3.1. Produtividade.....	73
4.3.2. Peso do capítulo.....	75
5. CONCLUSÕES.....	76
5.1. Experimento I: Adubação nitrogenada.....	76
5.2. Experimento II: Adubação Potássica.....	76
5.3. Experimento III: Lâminas de irrigação.....	76
6. REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

A produção comercial do girassol no Brasil começou no início do século XX, porém só se tornou mais sólida no final da década de 90. Na mesma época, várias indústrias de beneficiamento de grãos de soja, começaram a demonstrar interesse pelo grão do girassol para produção do óleo comestível, que possui varias qualidades nutricionais e organolépticas. Vale ressaltar que dos óleos vegetais comestíveis, o de girassol é o que possui o maior teor percentual de ácidos graxos poliinsaturados, dando-se destaque para o ácido linoléico, que é essencial ao ser humano, porém este não é capaz de sintetizá-lo (ACOSTA, 2009).

Biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, pode ser obtido através de diferentes processos, tais como: o craqueamento, a esterificação ou pela transesterificação. Ele pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais, sendo estes últimos os mais utilizados, já que no Brasil possui dezenas de espécies vegetais aptas para a produção do biodiesel como: mamona, girassol, dendê, pinhão manso, amendoim, entre outros.

O biodiesel pode substituir total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo. A classificação é feita de acordo com o percentual da mistura, por exemplo, o percentual mínimo exigido pelo Programa Nacional do Biodiesel é de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo, nesse caso é chamada de B2 e assim sucessivamente até chegar ao biodiesel puro que é o chamado de B100. A produção de oleaginosas entre elas o girassol, vem aumentando devido ao fato de que a cultura esta inserida no Programa Nacional do Biodiesel.

Devido ao seu alto teor de óleo nas sementes, a extração pode ser feita a frio. O girassol apresenta-se como uma boa alternativa para os produtores que desejam obter o óleo para produção de combustíveis, apenas para uso próprio, já que ele pode ser armazenado e transformado em combustível de acordo com o que se vai precisando durante o ano.

Avaliando-se a participação do Brasil no cenário mundial de produção do girassol, observa-se que a produção ainda é bastante limitada, mesmo o País tendo condições favoráveis para a produção dessa oleaginosa. Essa limitação pode ser devida à fatores econômicos, sociais e até tecnológicos.

Um dos fatores limitantes à produção agrícola na região Nordeste é a falta de regularidade na ocorrência das precipitações; dessa maneira, o uso das práticas de irrigação é indispensável. De acordo com Sanches e Dantas (1999) e Coelho *et al.* (2003), o suprimento

de água de maneira adequada pode ocorrer pela utilização da irrigação, possibilitando que a planta mantenha um fluxo de água e nutrientes contínuo do solo para as folhas, favorecendo positivamente o crescimento, a floração e a frutificação, e ainda, aumentando a produtividade.

O girassol extrai do solo grandes quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio. Porém, estes nutrientes retornam ao solo através da decomposição dos restos culturais que permanecem na área após a colheita.

O nitrogênio é o segundo nutriente mais requerido pela cultura do girassol, entretanto Blamey *et al.* (1997) afirmam que este mesmo nutriente é o que mais limita a produção da cultura, podendo chegar até 60 % a redução de produção, quando há deficiência do mesmo.

O potássio é o nutriente mais requerido pela cultura, uma vez que para cada tonelada de grão produzido é necessário 171 kg ha⁻¹ de K₂O na parte aérea (VILLALBA, 2008). O potássio é um elemento absorvido em elevada quantidade pelo girassol e desempenha funções essenciais na translocação de açúcares, aumenta a resistência da planta à seca, controla o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, sendo, também, ativador de inúmeras enzimas de capital importância no metabolismo das plantas.

Assim diante da necessidade de se estabelecer um manejo adequado de água e nutrientes para a cultura do girassol, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de doses e de formas de aplicação (convencional e fertirrigação) de nitrogênio e de potássio e de lâminas de irrigação com base na evapotranspiração de referência.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do girassol

O girassol é uma planta originária da América do Norte, porém atualmente já é cultivada nos cinco continentes, e estima-se que a área cultivada atinja cerca de 23 milhões de hectares. (VILLALBA, 2008). O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta dicotiledônea, ordem Asterales, família Asteraceae, subfamília Asteroideae e tribo Heliantheae.

O girassol é uma planta anual, de polinização cruzada, ciclo curto, com adaptação a diferentes climas e solos, além de boa resistência ao frio e períodos de seca. (CHONÉ, 1983). O ciclo da cultura varia de 90 a 130 dias, sendo o período de florescimento aproximadamente 60 dias após a semeadura, dependendo do cultivar, da data de semeadura e das condições ambientais características de cada região e ano.

Características da planta de girassol, como altura, tamanho do capítulo e circunferência do caule variam segundo o genótipo e as condições edafoclimáticas (CASTIGLIONI *et al.*, 1994), além da época de semeadura (MELLO *et al.*, 2006).

A cultura do girassol caracteriza-se por possuir sistema radicular profundo com raiz tipo pivotantes (CASTIGLIONI *et al.*, 1994). Jones (1984) e Cox e Jolliff (1986) afirmam que o sistema radicular do girassol possui um grande conjunto de raízes secundárias que podem alcançar cerca de 2 metros de profundidade, quando não há nenhum impedimento físico e/ou químico. A principal função das raízes pivotantes é de alcançar as camadas mais profundas, absorvendo água e nutrientes. Da mesma forma as raízes secundárias tem a função de sustentação lateral e também de absorção de água e nutrientes pelos pêlos absorventes.

A inflorescência é conhecida como capítulo, cuja forma pode variar em côncavo, convexo e plana, e o caule pode apresentar diferentes curvaturas que são expressas na maturação (CASTIGLIONI *et al.*, 1994).

A cultura do girassol geralmente apresenta-se como uma planta de haste única e uma inflorescência no seu ápice. Nas cultivares comerciais, o comprimento da haste situa-se entre 50 e 300 cm e seu diâmetro entre 01 e 10 cm. (UNGARO, 2000).

O número de flores por capítulo é variável, destacando-se os fatores ambientais e genéticos para variabilidade, porém o número está em torno de 1000 a 4000 flores férteis por capítulo (WEISS, 1983).

A inflorescência é formada por inúmeras flores, arranjada em arcos radiais. As flores do girassol podem ser de dois tipos: as liguladas, que são estéreis e tem geralmente a cor amarela, se situam na parte externa do capítulo e as tubulares, estas são férteis e ocupam todo centro do capítulo. A base do capítulo é chamada receptáculo, sobre o qual estão as brácteas e as flores, os sucessivos círculos, de um a quatro discos florais, abrem-se diariamente durante 5 a 10 dias, dependendo do tamanho do capítulo e da temperatura (UNGARO, 2000).

O girassol é uma planta de fecundação cruzada, promovida basicamente por abelhas (*Apis melífera*); apesar de já existirem híbridos com alto grau de autofecundação. A presença das abelhas nas lavouras ainda tem um papel fundamental no aumento da produção. De acordo com Glas (1988), o girassol possui um grão de pólen pegajoso e pesado, que dificulta que ele seja transferido com eficiência pelo vento, por isso as sementes dependem de insetos. No período da floração, a ocorrência das abelhas, nas lavouras, pode proporcionar um aumento na produção, uma vez que ocorre a polinização de um maior número de flores, possibilitando dessa forma uma melhor fecundação das inflorescências.

Há dois tipos de sementes de girassol: oleosas e não oleosas. As sementes oleosas tem um tamanho menor quando comparadas com as não oleosas, tem a coloração preta, são bem aderidas e representam cerca de 20 a 30 % do peso da semente. Já, as sementes não oleosas, são rajadas e apresentam a casca mais fibrosa e representam cerca de 40 a 45 % do peso da semente. De uma maneira geral, o fruto ou aquênio é conhecido como a semente do girassol (CARRAO-PINIZZI e MANDARINO, 2005).

Goyne *et al.* (1978); Goyne e Hammer (1982); Unger (1990); Massignam e Angelocci (1993); Sentelhas *et al.* (1994), afirmam que os elementos climáticos que tem maior influência no ciclo da cultura do girassol são: a temperatura do ar, a radiação solar, a precipitação e o fotoperíodo; e que a temperatura e o estresse hídrico possuem uma maior influência no rendimento da cultura (GOYNE *et al.*, 1978; ROBINSON, 1978; RAWSON e HIDMARSH, 1982), quando não há ocorrência do estresse hídrico na cultura a temperatura e a radiação tornam-se restritivas à produtividade (MONTEIH, 1990; CHAPMAN *et al.*, 1993). Ungaro (1986a) afirma também que no florescimento, quando ocorre excesso de chuvas e dias nublados, pode-se ter uma diminuição na produção.

Apesar de alguns cultivares se comportarem de maneira diferente, uns comportando-se como plantas de dias longos e outros como dias curtos, o girassol se adapta bem a diferentes ambientes. Apesar de ser cultivado, com frequência, sem irrigação, já que

apresenta uma tolerância à seca, essa condição limitada de disponibilidade hídrica causa prejuízos à cultura, uma vez que a produção dos grãos é bastante afetada, dessa forma o déficit hídrico se torna um o principal fator limitante para o desenvolvimento das culturas.

2.2 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação pode ser definido como a atividade de planejamento e a tomada de decisão que o agricultor deverá assumir durante o desenvolvimento da cultura. O momento em que a irrigação é necessária pode ser definido tanto pelos sintomas como pela medição da deficiência de água na planta; esse momento também pode ser estimado pela disponibilidade de água no solo, pela evapotranspiração real, pelo turno de rega e pelo balanço de água no solo (JANSEN, 1983).

Segundo Marengo e Lopes (2009), a água tem diversas funções dentro das plantas dentre as mais importantes estão: constituintes do protoplasma, solvente de substâncias, reagente de numerosas reações químicas e bioquímicas, produto da oxidação de substratos respiratórios, manutenção de estruturas moleculares, manutenção de turgidez e termorreguladora.

Rego *et al.* (2004) afirmam que o déficit hídrico provoca o fechamento dos estômatos, diminuindo assim a assimilação de CO₂ e conseqüentemente as atividades fisiológicas das plantas, principalmente a divisão celular. Por outro lado, (DOBASHI *et al.*, 1998; PIRES *et al.*, 2002) afirmam que o excesso de água pode causar a diminuição da concentração de oxigênio, dificultando a respiração radicular e assim acarretando outros problemas como a parada do processo ativo de absorção de nutrientes e a ocorrência de respiração anaeróbia pela planta e pelos microrganismos do solo.

De acordo com Bernardo *et al.* (2008), a irrigação localizada compreende os sistemas que aplicam a água no solo diretamente sobre a região radicular, em pequenas quantidades, porém em altas frequências, a fim de manter a umidade do solo sempre próxima da “capacidade do campo”. O autor afirma ainda que esse tipo de irrigação não deva ser vista apenas como uma técnica de suprimento de água, mas sim como parte do conjunto de técnicas agrícolas nos cultivos de determinadas culturas, sob condições controladas de umidade, adubação, salinidade, doenças e variedades selecionadas de modo que se tenha efeito significativo na produção por área e por água consumida.

Kramer (1983) verifica que, em relação às plantas, além da água estar na composição da grande parte da massa vegetal, ela também participa direta ou indiretamente dos processos fisiológicos nos vegetais.

A água é um dos principais insumos limitantes para o desenvolvimento agrícola, pois tanto a sua falta quanto o seu excesso afeta o crescimento, a sanidade e a produção das culturas (MIRANDA e PIRES, 2001). Os autores afirmam também que a irrigação é uma prática agrícola cujo propósito é manter o estado hídrico das plantas adequado, para assegurar o bom desenvolvimento e produtividade.

A quantidade de água a ser aplicada é normalmente calculada pela necessidade hídrica da cultura, podendo ser estimada através da evapotranspiração ou por meio da tensão de água no solo. Para se determinar o momento da irrigação, além dos parâmetros mencionados, pode-se utilizar outras medidas de avaliação de água no solo, como o turno de irrigação, ou considerar os sintomas de deficiência de água nas plantas (SOUSA *et al.*, 2001). Após estimar a necessidade de água da cultura, a quantidade de água a aplicar por irrigação requer o conhecimento da precipitação pluviométrica e da ascensão capilar (REICHARDT, 1990).

Para Bernardo (1995) e Miranda e Pires (2001), o conhecimento da evapotranspiração da cultura em uma determinada região reveste-se como um pressuposto básico para o planejamento e o manejo da água na agricultura irrigada, de forma que a evapotranspiração de uma cultura é o efeito combinado de evaporação da água do solo e de transpiração das plantas (GOMES, 1999).

A evapotranspiração da cultura (necessidade hídrica) depende de diversos fatores do solo, da planta e do clima. Os fatores do solo estão relacionados, principalmente, com a caracterização química e física; os fatores da planta incluem: espécie, albedo, área foliar, altura da planta e profundidade do sistema radicular; e os fatores climáticos, relacionam-se com: saldo de radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento (GUIDOLIN, 1995).

De acordo com Silva *et al.* (2007), a irrigação é uma prática que, além de incrementar a produtividade, pode proporcionar a obtenção de um produto com uma melhor qualidade e com isso ter melhores preços no mercado. No entanto, essa perspectiva promissora da adoção da irrigação deve ser estudada e analisada de forma detalhada no que se refere ao planejamento, dimensionamento, manejo e desenvolvimento da cultura. Os autores acreditam também que a prática da irrigação pode ajudar muito os agricultores. Porém, os

riscos da adoção de uma agricultura irrigada devem ser criteriosamente planejados, objetivando sempre que a receita líquida seja positiva.

A irrigação é mais frequentemente usada para viabilizar a exploração agrícola em regiões de clima semiárido e com secas regulares ou esporádicas, os chamados veranicos, pois com a utilização dessa prática minimizam os efeitos adversos provocados pela deficiência hídrica nas culturas (MIRANDA e PIRES, 2001).

O sistema de irrigação localizado, por gotejamento, tem a característica de aplicar água na forma de gotas, permitindo fornecer água em pequenas quantidades, próximo às raízes, dessa forma o consumo de água é reduzido em comparação aos outros sistemas de irrigação (FONTES, 2002).

Flagella *et al.* (2000) mostraram a, na cultura do girassol, importância da suplementação hídrica na germinação e no florescimento, com consequente aumento no diâmetro de capítulo, número e peso de sementes, diminuição da superfície estéril do capítulo e no teor de ácido linoleico.

Andrade (2000) afirma que, para a cultura do girassol, o período de florescimento é o mais sensível ao déficit hídrico, seguido do período de formação das sementes, esse déficit hídrico pode causar reduções severas tanto no rendimento das sementes quanto no teor de óleo. Dessa forma, Erdem e Delibas (2003) consideram que o florescimento é a fase mais sensível ao déficit hídrico, e se ocorrer fornecimento limitado de água, a irrigação deve ser programada para que a cultura receba maior quantidade de água durante esse período.

Carter (1978) afirma que a necessidade de água para a cultura do girassol vai aumentando com o desenvolvimento da planta, com valores ao redor de 0,5 a 1,0 mm por dia durante as fases de semeadura e emergência, para um máximo de 6,0 a 7,0 mm dia⁻¹ na floração e no enchimento de grãos, decrescendo após esse período.

Castro e Farias (2005) afirmam que a necessidade de água para o girassol aumenta conforme a planta vai se desenvolvendo, iniciando com 0,5 a 0,7 mm dia⁻¹ durante as fases de semeadura e emergência, chegando ao máximo de 6,0 a 8,0 mm dia⁻¹ na floração e enchimento dos grãos, ocorrendo um decréscimo após essa fase, até a maturação fisiológica. Estes mesmos autores consideram ainda que de 400 a 500 mm de água se forem bem distribuídos ao longo do ciclo da cultura resultam em rendimentos próximos ao potencial máximo, e que mesmo sendo uma cultura tolerante a seca, se for exposta a uma condição onde há limitação na disponibilidade de água, a produção de grãos pode ser afetada drasticamente.

As culturas têm como principal fator limitante para seu desenvolvimento o déficit hídrico, e quando este ocorre tem como consequência uma grande variabilidade de grão de um ano para outro.

Sarmento (2011), em estudo, não observou influência na produção de grãos com lâminas variando de 75% a 125 % da ETo.

Silva et al., (2007) estudando o crescimento e a produtividade do girassol, na entressafra, com diferentes lâminas de água (117,20; 350,84, 428,70 e 522,14 mm) relataram que o aumento da produtividade e do diâmetro do capítulo foi linear em relação as lâminas de água aplicadas.

Bessa (2010), avaliando cinco diferentes níveis de irrigação, sob as condições climáticas do Vale do Curu, Ceará, com a variedade CATISSOL, que foram 50; 75; 100; 125; 150% da ECA (evaporação de água no tanque Classe “A”), observou que a massa média de aquênios por capítulo e a produtividade foram influenciadas significativamente pelos diferentes níveis de irrigação, apresentando comportamento linear.

2.2.1 Evapotranspiração

O conceito de evapotranspiração potencial (ETP) foi introduzido por Thornthwaite (1948), e pode ser definido como sendo a perda d'água por uma superfície de solo úmido suficientemente grande, com suprimento contínuo e adequado de água, coberto completamente por vegetação de baixo porte em crescimento ativo, de tal modo que possa tornar desprezível o efeito advectivo. A evapotranspiração depende, de forma significativa, da capacidade do ar em remover vapor d'água, da natureza da vegetação, da natureza do solo, especialmente da disponibilidade de água na zona do sistema radicular e do suprimento externo de energia para a superfície evaporante, principalmente pela radiação solar.

O consumo de água numa comunidade vegetal pode ser totalizado pela componente evapotranspiração. Segundo Tanner (1960), Chang (1971), Rosenberg (1974), Ometto (1981) e Sedyama (1988), evapotranspiração é a soma dos processos de evaporação da água de uma superfície com a transpiração pelas plantas em uma área cultivada, sendo praticamente impossível separar os dois fenômenos. Com exceção de uma desprezível quantidade de água utilizada pelas plantas nos processos metabólicos, os termos evapotranspiração e uso consuntivo podem ser considerados sinônimos. Blaney e Criddle (1952) definiram o termo uso consuntivo como sendo a soma dos volumes de água

consumidos na transpiração e na formação de tecidos da planta com aquele evaporado, sendo normalmente expresso em milímetros de altura de água, e relacionado aos estágios da cultura.

A ETo (Evapotranspiração de referência) pode ser considerada um parâmetro climático, sendo assim dependente exclusivamente do clima. Desta forma, Hargreaves (1974) definiu a evapotranspiração real (ETR) como o uso real de água pelas culturas, incluindo a evaporação direta a partir da umidade do solo e da vegetação. Ela depende do clima, do solo, da cultura e da umidade do solo na zona do sistema radicular. Enquanto os fatores climáticos determinam a taxa de ETP, os fatores da cultura são influenciados pela percentagem da cobertura vegetal, altura da cultura, área foliar, estágio de desenvolvimento, albedo, resistência estomática ao fluxo de vapor d'água, entre os principais. Assim sendo, durante períodos de total cobertura vegetal e máximo crescimento vegetativo, a maioria das culturas evapotranspira mais que as gramíneas de pequeno porte.

Segundo Aubertini e Peter (1961), a taxa de evapotranspiração é governada, principalmente, pelo saldo de radiação e pela quantidade de água presente no solo. Os autores observaram ainda que, para maiores densidades de plantio de milho, em condições de deficiência hídrica, uma eficiente captação de radiação solar pode conduzir a um aumento da transpiração e, conseqüentemente, a um murchamento das plantas.

Mukand e Bruce, citados por Chang (1971), apresentam que a importância relativa da radiação sobre a evapotranspiração potencial é de 80%, da umidade do ar é de 6% e da velocidade do vento é de 14%, aproximadamente.

Em uma lavoura irrigada, a água contida no solo está em movimento constante, em vários regimes e direções, e de maneira similar há um fluxo constante de energia. Assim, como a lei da conservação de massa permite calcular o balanço de água no campo, a lei da conservação de energia pode ser aplicada para calcular o balanço de energia no campo. Os dois balanços não são interdependentes, pois o destino da energia que atinge o solo é fortemente influenciado pelo conteúdo de água, pelo seu estado e pelo seu movimento, e vice-versa. O processo afetado de maneira mais significativa é a evaporação, sendo o principal consumidor, no campo, tanto de energia quanto de água. Como a evaporação é, basicamente, um processo de transferência de energia, é possível a aplicação do princípio da conservação de energia para estimar a transferência de água para a atmosfera em forma de vapor, Berlato e Molion (1981). Uma grande quantidade de calor é absorvida pela água que evapora do solo e da vegetação, sendo chamado de calor latente, estimando esta quantidade de calor, ter-se-á a

noção do regime evapotranspirativo, sem que seja necessário medir diretamente o teor de água do solo e os seus fluxos.

A evapotranspiração é menor em uma área seca que circunda uma área irrigada, sendo que na interface destas superfícies a evapotranspiração é representativa de uma situação de oásis. Esta situação representa o efeito varal, onde a evapotranspiração aumenta exageradamente (Pereira *et al.*, 1997).

A estimativa dos fluxos turbulentos de calor latente (LE) e sensível (H), sobre uma superfície pode ser realizada, caso se conheça:

Rn - saldo de radiação;

G - fluxo de calor sensível no solo;

$\Delta T'$ - diferença entre as temperaturas indicadas nos termômetros de bulbos úmidos de dois níveis ($T'_2 - T'_1$);

ΔT - diferença entre as leituras dos termômetros de dois níveis ($T_2 - T_1$);

S - tangente à curva de tensão de saturação de vapor d'água no ponto de temperatura média úmida, i.e., o valor médio de T'_2 e T'_1 ;

$\gamma = \frac{c_p \cdot P}{0,622 \cdot \lambda}$, é o coeficiente psicrométrico;

P - pressão atmosférica local;

c_p - calor específico do ar seco a pressão constante ($1.005 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$);

λ - calor latente de evaporação ($2,45 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$);

ρ - massa específica do ar seco ($1,26 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

É comum e aceito admitir-se que, durante o tempo de medida, λ e ρ permanecem constantes numa pequena camada de ar estudada.

Os métodos de estimativa da evapotranspiração que se baseiam no balanço de energia são dos mais confiáveis. A metodologia consiste em determinar o balanço de energia sobre a superfície, depois se procura avaliar a fração da energia que é utilizada no processo de evapotranspiração. Desde que os fluxos verticais de calor sensível, calor latente e de momento sejam do tipo convectivo forçado (fluxo turbulento em condições de atmosfera neutra), Villa Nova (1973) e Pereira (1996) consideram que eles podem ser calculados em função dos gradientes médios da: temperatura do ar (T), umidade específica do ar (q) e velocidade de vento.

No Boletim nº 24 da FAO, Doorenbos e Pruitt (1990) consideraram o modelo de Penman como o mais preciso na estimativa da ETo, seguido do método do tanque Classe "A".

O método de Penman foi amplamente empregado, graças as facilidades apresentadas para a compreensão dos processos físicos da evaporação de água em superfícies naturais. Além disso, é um método que requer informações meteorológicas de apenas um nível acima da superfície evaporante (THOM e OLIVER, 1977; BRUTSAERT, 1982; LUCHIARI Jr, 1988).

Smith (1991) apresenta os objetivos e procedimentos propostos, após ampla revisão realizada pela FAO. É uma proposta que demandará tempo e trabalho para ser alcançada, devendo ser implementada em duas etapas. Na primeira, a grande inovação será a utilização do modelo de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965) como padrão na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), mas a evapotranspiração das culturas continuaria sendo estimada através de coeficientes de cultura e da ET_o. Na segunda etapa, a evapotranspiração das culturas passaria a ser estimada diretamente pelo método de Penman-Monteith, com o emprego de valores adequados para a resistência aerodinâmica e do dossel de cada cultura estudada.

Monteith (1965) supôs um dossel representado por uma grande folha para estimar a evapotranspiração, e esta suposição pode ser aplicada na estimativa da evapotranspiração de referência. Isso significa assumir-se que todas as folhas do dossel estão expostas, da mesma maneira, as mesmas condições ambientais. Esta suposição tem como objetivo estimar a resistência da cobertura vegetal à difusão de vapor d'água. Desta maneira, o autor admite um valor médio representativo do dossel.

O modelo de Penman-Monteith é de fácil entendimento, embora tenha uma formulação teórica rigorosamente física. O método requer, para seu emprego, informações climatológicas, normalmente coletadas em estações meteorológicas padrões. Devido às dificuldades de se obter valores confiáveis e representativos para a resistência da cobertura vegetal, sua aplicação prática tem sido limitada (MONTEITH, 1985; VILLA NOVA e REICHARDT, 1989; OKE, 1992). Alguns autores, como Ben-Asher *et al.* (1989), consideram que o modelo de Penman-Monteith apresentará pouco valor prático, caso a resistência da cobertura vegetal não venha a ser parametrizada a partir de propriedades conhecidas e de fácil mensuração da planta, do solo e da atmosfera.

Devido às dificuldades operacionais, este modelo tem sido utilizado como uma ferramenta para estimar a resistência da cobertura vegetal, quando a evapotranspiração é conhecida. O proposto pelo autor seria o caminho inverso do que vem sendo realizado por diversos pesquisadores (MONTEITH, 1985). Mas, quando são estabelecidos valores adequados para a resistência da cobertura vegetal, o modelo de Penman-Monteith tem se

mostrado superior aos demais métodos combinados na estimativa da evapotranspiração, para uma ampla variedade de climas, localidades e culturas (ALLEN *et al.*, 1989).

2.2.2 Produtividade

Delgado *et al.* (2010) afirmam que a produtividade de uma cultura agrícola está condicionada a vários fatores referentes ao solo, a planta e ao clima. Dentre estes, a água e o nitrogênio são fatores essenciais e seu manejo racional é imperativo na otimização da produção agrícola. Estes recursos proporcionam maiores variações na produtividade da cultura e na qualidade do produto, em função de seus níveis utilizados. Atualmente, a utilização racional dos recursos utilizados na agricultura é uma necessidade, de modo a garantir suas disponibilidades para uso futuro.

Biscaro *et al.* (2008), estudando quatro diferentes doses de nitrogênio, 0; 20; 40 e 80 kg ha⁻¹, observaram que a máxima produtividade que foi de 2.101 kg ha⁻¹ de aquênios, obtida com uma dose de 51,7 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Santos *et al.* (2002) testaram quatro diferentes doses de nitrogênio, 0; 30; 60 e 90 kg ha⁻¹, e duas cultivares de girassol: uma tardia e outra precoce, no município de Alagoinha, Paraíba, e observou que a resposta da cultivar, em termos de rendimento, depende muito da distribuição da precipitação e de suas características.

2.3 Manejo da adubação

A cultura do girassol extrai grandes quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio do solo. Entretanto, grande parte destes nutrientes retorna ao solo, após a colheita, através da folha, caule, capítulo, além das raízes que se decompõe. Dessa forma, a grande extração, com posterior reposição dos nutrientes, pode ser considerada entre outras, uma explicação para o melhor desenvolvimento e produção da maioria das culturas que sucedem o girassol, que se beneficiam dessa mobilização de nutrientes (CASTRO *et al.*, 1997).

2.3.1 Nitrogênio

O nitrogênio é o nutriente mineral mais exigido pelas plantas, sendo os fertilizantes nitrogenados os mais consumidos no mundo. Entretanto, é um dos nutrientes que

mais se perde no perfil do solo, essa perda pode ocorrer através de remoção das culturas, erosão, lixiviação, volatilização e desnitrificação.

Para evitar que haja essa perda de nitrogênio, a providência imediata que é utilizada é o parcelamento da dose recomendada do fertilizante nitrogenado, devendo-se observar o parcelamento, de forma que a dose principal coincida com o período de maior exigência da cultura.

Quando ocorre deficiência de nitrogênio no solo, as plantas podem aparecer com atrofiamento e com a copa amarelecida, uma vez que ocorre a translocação do N das partes mais velhas para as mais novas (SANTOS, 2004). Já, o excesso de N no solo, provoca o crescimento excessivo do girassol, tornando as folhas mais sensíveis, pode causar suculência nas folhas, favorecendo assim o ataque de pragas e doenças, além de ainda causar problemas de acamamento (VRANCEANU, 1977).

O nitrogênio é considerado como elemento essencial das plantas, já que faz parte da composição de biomoléculas, como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e de inúmeras enzimas (MIFLIN e LEA, 1976). Quando se aplica o nitrogênio de forma adequada, observa-se que a vegetação torna-se mais exuberante, estimulando a formação das gemas floríferas e frutíferas, e ocorre um maior perfilhamento; o contrario acontece quando o nutriente é aplicado de forma a causar seu excesso e tem-se como consequência o atraso no florescimento, prejudicando assim a maturação e deixando as plantas mais susceptíveis a doenças e ataques de pragas.

Normalmente, menos de 50% do nitrogênio aplicado sob a forma de fertilizante é utilizado pelas culturas, às perdas no solo são devido aos processos que nitrogênio está sujeito. A perda de nitrogênio ocorre principalmente pela lixiviação de nitrato, volatilização de amônia e emissão de N_2 , N_2O e outros óxidos de nitrogênio (ANGHINONI, 1986). Dessa forma os fertilizantes nitrogenados devem ser conduzidos de forma a diminuir essas perdas para que a planta possa absorver ao máximo o nutriente. É importante ressaltar que por razão de ocorrerem essas perdas não há efeito residual dos fertilizantes nitrogenados no solo.

Nas oleaginosas, o nitrogênio determina o equilíbrio nos teores de proteínas acumuladas e produção de óleos, já que influencia o metabolismo de síntese do composto de reserva nas sementes. Quando se tem excesso na adubação nitrogenada, os teores desse nutriente se tornam elevados nos tecidos reduzindo assim a síntese de óleos, favorecendo dessa forma a rota metabólica de acúmulos de proteínas nos aquênios (CASTRO *et al.*, 1999).

O nitrogênio desempenha uma importante função no metabolismo e nutrição da cultura do girassol. A sua deficiência pode causar uma desordem nutricional, isso porque o nitrogênio é o nutriente que mais limita a produção. Da mesma forma, o seu excesso pode ocasionar decréscimo na porcentagem de óleo e podem aumentar a incidência de pragas e doenças, afetando assim a produção de grãos (SMIDERLE, 2000).

A quantidade de nitrogênio também pode interferir no número de aquênios, se não for bem suprido na fase de diferenciação floral, que ocorre nos primeiros estágios do desenvolvimento do girassol. O número potencial de flores é determinado muito cedo e afeta o número de aquênios, que afeta também o diâmetro do capítulo (ZAGONEL e MUNDSTOCK, 1991).

Uma das características morfológicas mais afetadas pela adição de nitrogênio é o diâmetro do capítulo, observando-se aumentos mesmo com pequenas doses (SAMENI *et al*, 1976). Entretanto, o aumento não é contínuo com o incremento do N (SFREDO *et al*, 1984).

2.3.2 Potássio

O potássio não faz parte de nenhum composto orgânico dentro da planta, dessa forma sua função não é estrutural. Quando a planta é nutrida de potássio, ela absorve mais água e sua retenção pelas células também é maior, uma vez que a presença desse nutriente aumenta a pressão osmótica no interior da célula, aumentando assim a absorção e retenção da água; também resistem mais a doenças, pois as paredes celulares estão bem mais formadas, devido ao eficiente transporte de carboidratos. Segundo Ajudarte *et al.* (1997), o K é sempre citado como o nutriente que influencia no controle de pragas e doenças. Römheld (2005) afirma que altas doses de potássio aplicadas as plantas causam resistência às doenças, independente do tipo de patógeno.

De acordo com Malavolta e Crocomo (1982); Marschner (1995), o potássio desempenha várias funções tanto bioquímicas quanto fisiológicas na planta, principalmente o processo de fotossíntese, transporte e armazenamento de fotoassimilados. Silveira e Malavolta (2006), afirmam que o suprimento inadequado de potássio ocasiona um funcionamento inadequado no processo de abertura e fechamento dos estômatos, podendo assim diminuir a assimilação de CO₂ e a taxa fotossintética, e conseqüentemente a produção de fotoassimilados, podendo haver prejuízos na produção. Entretanto, o excesso desse nutriente

pode inibir a absorção de Ca e Mg, podendo causar a deficiência desses dois nutrientes, provocando queda da produção.

Aquino (2003) afirma que o excesso de adubo potássico pode provocar uma lixiviação do cátion K^+ , provocando um efeito salino no solo e um desequilíbrio catiônico no complexo de trocas do solo afetando principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Devido à mobilidade do K^+ na planta, quando se tem deficiência desse nutriente os sintomas tendem a aparecer primeiramente nas folhas mais velhas, sendo estes a queima das pontas e margens das folhas, a diminuição e queda dos frutos. O fenômeno de acamamento ocorre em solos deficientes em K e bem supridos de N e água, isso ocorre devido ao crescimento rápido das plantas, no entanto as paredes celulares não estão bem formadas, devido à falta de um eficiente transporte de carboidratos até as paredes celulares.

As práticas de manejo que são aplicadas aos solos brasileiros, geralmente carentes dos minerais potássicos, facilmente intemperizáveis, concorrem para que o balanço de K^+ no sistema solo-planta seja, em muitas situações, negativo. Frequentemente as perdas caudas por erosão, lixiviação e exportação desse nutriente pelas culturas é maior que a adição feita no momento da adubação, podendo comprometer assim o processo produtivo (MALAVOLTA, 2006). O potássio pode se perder no solo pela remoção das colheitas, por lixiviação e por erosão.

Os fertilizantes potássicos também sofrem perdas por lixiviação e erosão, como foi dito anteriormente, e essas perdas são maiores quanto menor for a CTC. Quando se utiliza os fertilizantes potássicos, deve-se ter atenção especial ao cloreto de potássio (o mais utilizado), devido ao elevado índice de salinidade que ele apresenta.

2.3.3 Fertirrigação

A aplicação de fertilizantes simultaneamente com a água de irrigação às culturas tem grande importância, tanto do ponto de vista técnico como econômico. Burt *et al.* (1998) e afirmam que a fertirrigação constitui um avanço na agricultura irrigada, requerendo maior capacitação de técnicos e agricultores e seu uso está relacionado com uma série de vantagens econômicas quando comparadas com os métodos tradicionais de adubação.

É necessário o bom conhecimento do comportamento dos nutrientes no solo, para que seja possível um melhor aproveitamento do sistema no uso da fertirrigação.

Em termos de aplicação de água, pode-se utilizar qualquer sistema de irrigação para aplicar fertilizantes. Todavia, os localizados são os mais apropriados, por suas características e forma de aplicação de água pontual, junto à zona de concentração das raízes das plantas, destacando-se a irrigação por gotejamento como a mais adequada para se aplicar fertilizantes (BRESLER, 1977). Essas características possibilitam a aplicação dos produtos quando necessário, onde é requerido e em quantidade correta, o que permite a economia de fertilizantes e mão-de-obra, e mantêm a planta com níveis ótimos de umidade e nutrição (DASBERG e BRESLER, 1985; FRIZZONE *et al.*, 1985). Isto ocorre devido à redução das perdas dos nutrientes por lixiviação, melhorando o controle da concentração de nutrientes no solo (BRESLER, 1977), e conseqüentemente o aumento da eficiência do uso dos fertilizantes pelas plantas (PHENE *et al.*, 1979).

O princípio de aplicação da fertirrigação, é quando se faz o uso de fertilizantes solúveis em água e equipamentos específicos para injetar a solução nas linhas de irrigação. Deve-se ter atenção na escolha dos fertilizantes a serem utilizados na fertirrigação, principalmente, no que se refere à solubilidade dos mesmos. Para determinação das quantidades necessárias a serem utilizadas na fertirrigação, deve-se levar em conta as análises do solo, da água de irrigação e foliar, bem como a extração dos nutrientes pelas raízes (RAIJ, 1991). No entanto, as recomendações com base nas pesquisas experimentais sobre as doses de nutrientes a se usar são as mais práticas e seguras.

No Brasil, os fertilizantes aplicados via água de irrigação são, quase sempre, sólidos solúveis em água e aqueles adquiridos no estado fluído, sendo a primeira forma a mais predominante (AGRIANUAL, 2002).

A alta solubilidade é muito importante uma vez que esta é necessária para garantir que a quantidade aplicada é igual a que foi calculada, a fim também de evitar entupimentos nos emissores, principalmente nos gotejadores.

Guerra *et al.* (2004) afirmam que o potássio juntamente com o nitrogênio são os nutrientes frequentemente mais aplicados via água de irrigação. Eles enquadram-se perfeitamente a esta técnica, devido a alta mobilidade no solo e a alta solubilidade em água. Na fertirrigação é possível fazer o parcelamento das aplicações dos fertilizantes nitrogenados e potássicos de acordo as necessidades da cultura. O parcelamento faz com que, no caso das adubações potássica e nitrogenada, aumentem a eficiência dos nutrientes já que não haverá perdas por lixiviação (COELHO, 1994).

Cruciani *et al.* (1998), em estudos realizados com feijão fertirrigado com adubo nitrogenado, no município de Piracicaba, São Paulo, constataram que as maiores produções foram obtidas com a adubação nitrogenada aplicada parceladamente via água de irrigação, em relação a adubação aplicada manualmente de uma só vez. Em estudos realizados com tomateiro fertirrigado com adubo potássico, Sampaio *et al.* (1999) constataram que as maiores produções foram obtidas com aplicação do K via fertirrigação, em relação a aplicada convencionalmente.

Estudando tomateiro fertirrigado com adubo potássico, em Viçosa, Minas Gerais, foi observado que as maiores produções foram obtidas com a aplicação do K através da fertirrigação, em relação à aplicação convencional (SAMPAIO *et al.*, 1999).

Costa *et al.* (2000a) realizaram estudos para comparação da adubação fertirrigada e convencional na bananeira, em solo argiloso, no perímetro irrigado do Gorutuba, Minas Gerais, concluíram que as plantas que receberam a adubação via fertirrigação apresentaram maiores produtividade em relação aquelas adubadas convencionalmente. Em trabalho semelhante, Costa *et al.*, (2000b), também comparando a adubação fertirrigada e convencional na bananeira, no entanto conduzido em solo arenoso, obtiveram resultados semelhantes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado na Estação Meteorológica na Universidade Federal do Ceará, localizada no Campus do Pici, no município de Fortaleza, no estado do Ceará, com coordenadas geográficas: 3° 44' de latitude sul, 38° 33' de longitude oeste e altitude de 19,5m (Figura 1). O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho e Amarelo (EMBRAPA, 2006).



Figura 1 – Localização da área experimental, Fortaleza, Ceará, 2008.

Foram realizadas duas análises de solos para características físico-hídricas, uma no início dos trabalhos (Tabela 01) e outra no final (Tabela 02) e uma para característica química (Tabela 03). As análises foram realizadas no Laboratório de Água e Solos da Universidade Federal do Ceará.

Tabela 01 - Análise inicial físico-hídrica, do solo na profundidade de 0,0 – 0,2 m, da área experimental, Fortaleza, 2008.

Característica físico-hídrica	Profundidade (m)
	0,0 – 0,2
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 ($\text{g } 100^{-1} \text{ g}^{-1}$)	57
Característica textural	Areia Franca
Massa específica (kg dm^{-3})	1,42
Massa específica das partículas (kg dm^{-3})	2,66
Capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,187
Ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,056
Umidade de saturação ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,430

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

Tabela 02 – Análise final físico-hídrica, do solo na profundidade de 0,0 – 0,2 m, da área experimental, Fortaleza, 2009.

Característica físico-hídrica	Profundidade (m)
	0,0 – 0,2
Areia grossa (g kg ⁻¹)	470
Areia fina (g kg ⁻¹)	380
Silte (g kg ⁻¹)	60
Argila (g kg ⁻¹)	90
Argila natural (g kg ⁻¹)	30
Grau de flocculação (g 100 ⁻¹ g ⁻¹)	70
Característica textural	Areia Franca
Massa específica (kg dm ⁻³)	1,50
Massa específica das partículas (kg dm ⁻³)	2,62
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 Água e Solos da Universidade Federal do Ceará

Tabela 03 – Análise química do solo da área experimental, na profundidade de 0,0 – 0,2 m, Fortaleza, 2008.

pH	Complexo Sortivo (cmol _c dm ⁻³)							Al ³⁺ cmol _c dm ⁻³	P mg dm ⁻³	M.O g kg ⁻¹
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ²⁺	T	V(%)			
1:0,25										
7,2	17,0	7,0	0,43	1,0	6,6	32,0	79,4	0,0	6,0	6,7

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

O clima da microrregião de Fortaleza, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw', definido como tropical chuvoso, ou seja, a temperatura média do mês mais frio é igual ou superior a 18°C e a precipitação do mês mais seco menor que 30 mm, e a época mais seca ocorre no inverno e o máximo de chuvas no verão e outono (AGUIAR *et al.*, 2004), com predominância de chuvas no período de fevereiro a maio, sendo a precipitação anual média de 1.642 mm, a temperatura do ar média anual de 26,7°C e a umidade relativa do ar média 79%.

Os dados climáticos necessários para a execução do experimento foram obtidos na estação meteorológica automática do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, localizada no Campus do Pici (Tabela 05).

Tabela 04 – Valores de precipitação e dados médios mensais de temperatura do ar, 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
Maio	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

3.2. Delineamento experimental

Foram conduzidos três experimentos, um deles referente à adubação nitrogenada aplicada de forma convencional e por fertirrigação. O outro, com adubação potássica também aplicada de forma convencional e fertirrigação, e o terceiro e último com lâminas de irrigação, onde foram aplicados 25, 50, 75, 100, 125 e 150% da ET_{OPM} (Evapotranspiração de Penman-Monteith).

Para os experimentos de nitrogênio e de potássio foi utilizado o delineamento estatístico de blocos ao acaso, com sete tratamentos e quatro repetições, totalizando 28 unidades experimentais. Para o experimento de lâminas de irrigação foi utilizado o delineamento estatístico de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância de acordo com a tabela 6, utilizando o valor máximo a 5% de significância pelo Teste F. A partir dos resultados da análise de variância, os dados de natureza qualitativa foram submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$) e, os dados de natureza quantitativa foram submetidos a análises de regressão.

Para as análises estatísticas foi usado o software SAEG 9.0 (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas) da Universidade Federal de Viçosa, software Sisvar (Programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos) e planilhas do Microsoft Excel.

Tabela 05 – Esquema da análise de variância, Fortaleza, Ceará, 2008.

FV	GL	SQ	QM	F	F>1 (5%)
Bloco (B)	r-1	SQ _B	SQ _B /GL _B	QM _B /QM _R	F _{Tabelado}
Tratamento (T)	t-1	SQ _T	SQ _T /GL _T	QM _T /QM _R	F _{Tabelado}
Resíduo (R)	(t-1)(r-1)	SQ _R	SQ _R /GL _R	-	-

3.3. Cultura

A cultura utilizada foi o girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar CATISSOL 01- Pirai sementes, lote 001/2007 com pureza de 98% e germinação de 80% da safra de 06/07.

3.4. Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi localizado, tipo gotejamento. O conjunto moto-bomba trabalhava de forma submersa em um poço profundo, próximo a área do experimento na Estação Meteorológica da UFC.

No início da área experimental e protegido por um abrigo de alvenaria estava o cabeçal de controle e o sistema de injeção de fertilizante (Figura 02). O cabeçal de controle era constituído por um filtro de disco de 2'', registro de gaveta, manômetro de glicerina, calibrado em kgf cm⁻²; já no sistema de injeção de fertilizantes havia um sistema by-pass, contendo um injetor, tipo Venturi, e uma moto-bomba auxiliar com a função de acelerar o fluxo de água, permitindo injetar os fertilizantes com uma maior eficiência.

A linha principal era de PVC, com diâmetro nominal de 50 mm, 20 m de comprimento, situada entre a moto-bomba e o cabeçal de controle. As linhas de derivação ou linhas secundárias eram de polietileno, no total de três, com diâmetro nominal de 25 mm e 43 m de comprimento cada uma. No início de cada linha de derivação, foi instalado um registro de gaveta de 25 mm de diâmetro com o objetivo de controlar a pressão, e a lâmina de irrigação por experimento.



Figura 02 – Cabeçal de controle e o sistema de injeção de fertilizantes, Fortaleza, Ceará, 2008.

Foram instaladas 43 linhas laterais em cada linha de derivação, com diâmetro nominal de 16 mm e comprimento de 4 m. As linhas laterais foram espaçadas de 1 m entre si, nelas tinham gotejadores autocompensantes, espaçados de 0,5 m com vazão de 2 L h^{-1} a uma pressão de 1 kgf cm^{-2} . No início de cada linha lateral foram instalados registros de gaveta de 16 mm de diâmetro com finalidade de controle das doses de fertilizantes e as lâminas de irrigação para cada tratamento em cada experimento (Figura 03).

Depois de instalado o sistema de irrigação, foi realizado o teste de uniformidade (CUC). A metodologia utilizada foi a Christiansen (1942), que permite analisar a distribuição de água na área irrigada, de acordo com a equação 01.

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum [X_i - \bar{X}]^2}{n \cdot \bar{X}} \right) \cdot 100 \quad (01)$$

Onde:

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

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

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

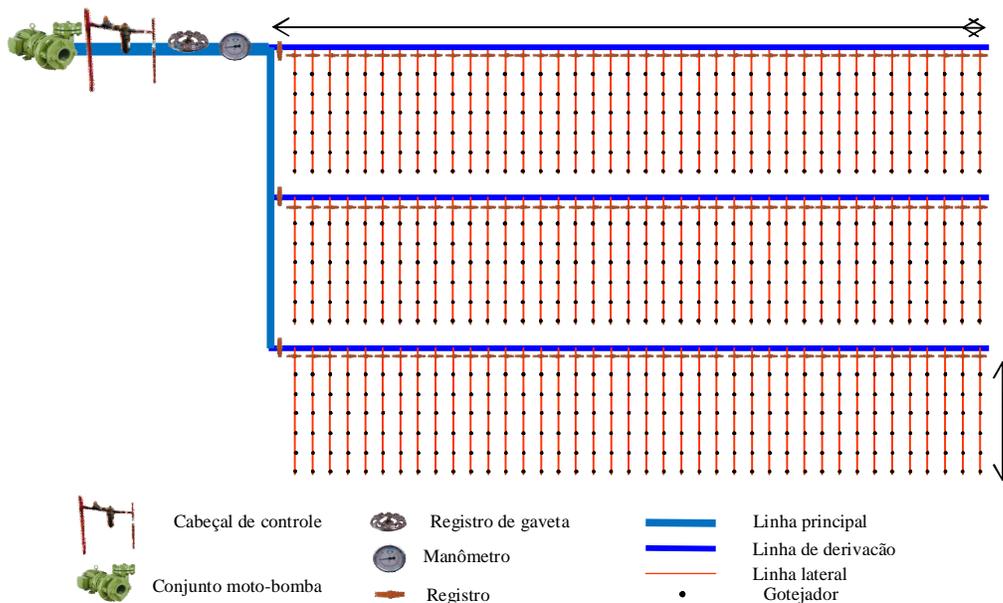


Figura 03 - Área experimental, Fortaleza – Ceará, 2008.

Após a realização dos testes de avaliação no sistema, pôde-se verificar que a uniformidade do sistema apresentava uniformidade de 90%. Dessa forma, o sistema estava pronto para o início da aplicação de água e fertilizantes na cultura do girassol.

Tempo de irrigação utilizado em cada experimento foi quantificado de acordo com a equação 02.

$$T_i = \frac{L_i * E_L * E_g * F_c}{E_i * q_g} \quad (02)$$

Onde:

T_i é o tempo de irrigação em horas;

L_i é a lâmina de irrigação a ser aplicada em (mm dia^{-1});

E_L é o espaçamento entre as linhas laterais (m);

E_g é o espaçamento entre os gotejadores (m);

F_c é o fator de cobertura do solo (adimensional), que foi igual a 1;

E_i é a eficiência de irrigação (adimensional);

q_g é a vazão do gotejador (L h^{-1}).

3.5. Práticas culturais

Para o preparo da área foram realizadas uma aração e duas gradagens cruzadas. Posteriormente, a área foi uniformizada com auxílio de enxadas, para permitir a instalação do sistema de irrigação.

A semeadura se deu de forma manual, colocando-se duas sementes de girassol, da variedade Catisol 01, em covas de 4 a 5 cm de profundidade, posteriormente cobertas com uma fina camada de solo. As covas apresentavam espaçamento de 0,20 m.

Após cinco dias da semeadura, cerca 90 % das sementes estavam germinadas caracterizando o 1º dia após a germinação (DAG), quando se fez o replantio. E aos 15 DAG foi realizado o raleamento, deixando-se a planta mais vigorosa na cova.

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

Aos 115 DAG, foi realizada a colheita do girassol de forma manual quando aos capítulos haviam atingido o ponto de colheita. Esse ponto é determinado em função da maturação fisiológica, do teor de umidade do aquênio (sementes) e da mudança de coloração do dorso do capítulo, sendo o melhor momento da colheita aquele em que o dorso do capítulo apresenta a coloração amarelada e bráctea marrom (Figura 04).

A adubação foi realizada de acordo com a interpretação da análise de solo da área experimental. Nas parcelas onde não ocorressem tratamentos com doses de fertilizantes, foi utilizado o NPK, na fórmula de 60-70-50 kg ha⁻¹, respectivamente. Os fertilizantes utilizados foram: uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio. É importante ressaltar que o cloreto de potássio utilizado no experimento foi o de coloração branca, por possuir um menor índice salino e uma maior solubilidade, em comparação ao vermelho.



Figura 04 – Ponto de colheita do girassol.

3.6. Experimentos

3.6.1. Experimento I: Adubação Nitrogenada

Nesse experimento, foram avaliados os efeitos de doses de nitrogênio aplicadas de duas formas: convencional e por fertirrigação (tabela 06).

Tabela 06- Doses e formas de aplicação de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2008.

Tratamento	Dose (kg ha ⁻¹)
N ₀	0
N _{conv30}	30
N _{conv60}	60
N _{conv120}	120
N _{fert30}	30
N _{fert60}	60
N _{fert120}	120

N_{conv} – Nitrogênio aplicado na forma convencional,

N_{fert} – Nitrogênio aplicado por fertirrigação.

A lâmina de irrigação utilizada para o experimento foi a necessária para manter o solo sempre em condições ótimas de umidade, para que o fator água não interferisse no tratamentos.

O adubo nitrogenado utilizado foi ureia, tanto para o experimento convencional quanto para o fertirrigado.

A semeadura foi realizada no dia 26 de março de 2008, e no dia 31 de março de 2008, caracterizou-se o primeiro dia após a germinação (DAG).

Os tratamentos foram constituídos das doses de 0; 30; 60 e 120 kg ha⁻¹ de N, aplicados na forma convencional, com a adubação sendo aplicada parceladamente: foram aplicados 1/3 no plantio e 2/3 aos 30 dias após a germinação (DAG).

As mesmas doses foram aplicadas por fertirrigação, nesse caso, a adubação foi dividida em 08 (oito) aplicações, sendo a primeira realizada na semeadura e as demais aplicadas semanalmente aos 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 e 70 DAG.

A área total do experimento foi de 200 m², com área útil 56 m². Uma vez que, cada parcela experimental foi constituída por uma área de 2 m², com 10 plantas úteis, totalizando 40 plantas úteis por tratamentos (Figura 05).

Na adubação de fundação, empregou-se fósforo (70 kg ha⁻¹) e potássio (50 kg ha⁻¹), aplicados de uma única vez.



Figura 05 – Visualização do sistema de irrigação no campo experimental, Fortaleza, Ceará, 2008.

3.6.2. Experimento II: Adubação Potássica

Os tratamentos empregados foram: 0 (controle), 25 (metade da dose recomendada), 50 (dose recomendada) e 100 kg ha⁻¹ de K (dobro da dose recomendada), aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação (tabela 07).

Tabela 07 - Doses e formas de aplicação de potássio, Fortaleza, Ceará, 2008.

Tratamento	Dose (kg ha ⁻¹)
K ₀	0
K _{conv25}	25
K _{conv50}	50
K _{conv100}	100
K _{fert25}	25
K _{fert50}	50
K _{fert100}	100

K_{conv} – Potássio aplicado de forma convencional;

K_{fert} – Potássio aplicado por fertirrigação.

A lâmina de irrigação utilizada para o experimento foi a necessária para manter o solo sempre em condições ótimas de umidade, para que o fator água não interferisse no tratamentos.

O adubo potássico utilizado na fertirrigação foi cloreto de potássio branco.

A semeadura foi realizada no dia 26 de março de 2008, e no dia 31 de março de 2008, caracterizou-se o primeiro dia após a germinação (DAG).

A adubação de fundação foi realizada com aplicação de dose única de fósforo (70 kg ha⁻¹) e 1/3 do nitrogênio (20 kg ha⁻¹). Os outros 2/3 de nitrogênio (40 kg ha⁻¹) foram aplicados em cobertura, aos 30 (DAG).

A adubação potássica ocorreu da seguinte forma: nos tratamentos fertirrigados foram aplicados 1/3 no plantio e os outros 2/3 foram divididos em cinco aplicações semanais, aos 21, 28, 35, 42 e 49 DAG. Nos tratamentos de adubação convencional, as doses foram aplicadas de uma única vez no plantio.

3.6.3. Experimento III: Lâminas de irrigação

Nesse experimento, estudou-se efeitos das lâminas de irrigação equivalentes a: 25, 50, 75, 100, 125 e 150 % ET_{OPM} (Evapotranspiração de Penman-Monteith) de acordo com a tabela 08.

Tabela 08 – Percentuais da ET_{OPM} utilizados nos tratamentos de lâmina de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2007.

Tratamentos	ET_{OPM} (%)
L ₂₅	25
L ₅₀	50
L ₇₅	75
L ₁₀₀	100
L ₁₂₅	125
L ₁₅₀	150

As lâminas de irrigação foram aplicadas de acordo com a evapotranspiração de referência (ET_{OPM}), obtida pela metodologia de Penman-Monteith e o tempo de irrigação calculado pela equação 05, descrita anteriormente.

A semeadura foi realizada no dia 18 de agosto de 2007, e no dia 24 de agosto cerca de 90 % das sementes já estavam germinadas, caracterizando o primeiro dia após a germinação (DAG).

A área útil do experimento era de 48 m², pois cada uma das 24 parcelas possuía 2 m², com 10 plantas úteis, totalizando 40 plantas por tratamento.

Para emprego do método de Penman-Monteith utilizou-se a equação proposta por Monteith (1965), que pode ser expressa da seguinte maneira, possibilitando a utilização de unidades internacionais:

$$LE = \frac{S \cdot (R_n - G) + \frac{\rho \cdot c_p \cdot \Delta e}{ra}}{S + \gamma \cdot \left(1 + \frac{rc}{ra}\right)} \quad (03)$$

Onde:

LE é o fluxo de calor latente de evaporação (W m⁻²);

R_n é o saldo de radiação ($W m^{-2}$);

G é o fluxo de calor sensível no solo ($W m^{-2}$);

ρ é a massa específica do ar atmosférico ($kg m^{-3}$);

c_p é o calor específico do ar a pressão constante ($J kg^{-1} ^\circ C^{-1}$);

Δe é o déficit de vapor d'água a temperatura do ar, $e_s - e_a$ (kPa);

r_c é a resistência da cobertura vegetal ($s m^{-1}$);

r_a é a resistência aerodinâmica à transferência de calor sensível e calor latente de evaporação ($s m^{-1}$);

γ é o coeficiente psicrométrico $\cong 0,0626 kPa ^\circ C^{-1}$;

S é a inclinação da tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água, no ponto dado pela temperatura do ar ($kPa ^\circ C^{-1}$).

Os parâmetros climáticos foram calculados de acordo com a padronização proposta pela FAO/1991 (Smith, 1991; Pereira *et al.*, 1997), devido sua grande aceitação e facilidade de utilização. Além disso, alguns parâmetros foram considerados como constantes, embora apresentando alguma variação, graças à aceitação científica e a fraca variabilidade durante o período das estimativas. Como exemplos, podem ser citados o valor da massa específica do ar atmosférico (ρ) considerada como $1,26 kg m^{-3}$ e o calor latente de evaporação da água (λ) considerado, nesse estudo, igual a $2.450.000 J kg^{-1}$, visto que λ é uma função muito fraca no intervalo de variação da temperatura das condições experimentais. Embora, λ possa ser obtido com a equação (04) (Pereira *et al.*, 1997).

$$\lambda = 2.497 - 2,37 \cdot T \quad (04)$$

Onde:

λ é o calor latente de evaporação da água ($J g^{-1}$);

T é a temperatura do ar ($^\circ C$).

Para calcular a pressão de saturação do vapor d'água em função da temperatura do ar, pode-se utilizar a equação a seguir:

$$e_s = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) \quad (05)$$

Onde:

e_s é a pressão de saturação do vapor de água (kPa);

A equação (06) pode ser empregada no cálculo da pressão atual de vapor d'água.

$$e_a = e_s \cdot \frac{UR}{100} \quad (06)$$

Onde:

e_a é a pressão parcial do vapor d'água do ar (kPa);

UR é a umidade relativa do ar (%).

O valor da tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água foi calculado pela equação (07):

$$S = \frac{4098 \cdot e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (07)$$

A resistência aerodinâmica à transferência de calor sensível e vapor d'água pode ser estimada pela equação (08), utilizada por Allen (1989).

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right) \cdot \ln\left(\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right)}{K^2 \cdot u_z} \quad (08)$$

Onde:

r_a é a resistência aerodinâmica a transferência de calor sensível e vapor d'água ($s \cdot m^{-1}$);

z_m é a altura de medida da velocidade do vento (m);

d é a deslocamento do plano zero do perfil do vento (m);

z_{om} é o comprimento de rugosidade equivalente da cultura para transferência de momento (m);

z_h é a altura de medida da temperatura e da umidade relativa do ar (m);

z_{oh} é o comprimento da rugosidade equivalente da cultura para transferência de calor sensível e de calor latente (m);

K é a constante de von Karman (0,41);

uz é a velocidade do vento medida na altura z (m s^{-1}).

O valor do deslocamento do plano zero do perfil do vento (d) foi estimado através da equação (09), segundo recomendação de Brutsaert (1982).

$$d = \frac{2}{3} \cdot hc \quad (09)$$

onde:

hc = altura média da vegetação (m).

Já o comprimento de rugosidade equivalente para transferência de momento (zom) foi obtido com o emprego da equação (10).

$$zom = 0,123 \cdot hc \quad (10)$$

Ele propôs, também, que o valor do comprimento da rugosidade equivalente para transferência de calor sensível e calor latente (zoh) fosse obtido através de uma das relações a seguir:

$$zoh = 0,1 \cdot zom \quad (11)$$

$$zoh = 0,0123 \cdot hc \quad (12)$$

A proposta da FAO/1991, de utilizar a equação de Penman-Monteith para estimar a evapotranspiração diária, requer algumas parametrizações com o intuito de representar uma cultura hipotética. Sendo, então, uma metodologia recomendada para estimar a evapotranspiração na escala diária, diferentemente da proposta original de Monteith (1965). Para a escala recomendada pela FAO/1991, Allen *et al.* (1989) sugerem que rc seja calculada pela equação:

$$rc = \frac{RF}{0,5 \cdot IAF} \quad (13)$$

Onde:

RF é a resistência estomática média diária de uma folha ($s\ m^{-1}$);

IAF é o índice de área foliar (superfície de folhas, m^2 / superfície do terreno, m^2).

Para uma superfície gramada, ao se utilizar a equação (13), pode-se adotar $RF = 100\ s\ m^{-1}$. E, se a altura média do gramado (hc) se encontrar no intervalo de 0,10 a 0,15 m, pode-se assumir que:

$$IAF = 24. hc \quad (14)$$

Considerando uma cultura hipotética com $hc = 0,12\ m$, obtém-se com a equação 14 um valor de $IAF = 2,88$. Desta maneira, estima-se, com a equação (13), que o valor de rc seja igual a $69\ s\ m^{-1}$, para uma cultura hipotética.

A quantidade de água utilizada no experimento de lâminas de irrigação, durante o período que ele foi conduzido pode ver visto na Tabela 10.

Tabela 09 – Quantidade de água, em mm, utilizada durante o experimento de lâminas de irrigação.

% ET_{OPM}	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
	mm de água					
25	15,87	35,99	40,57	37,71	16,41	146,56
50	31,75	71,99	79,04	77,52	32,83	293,11
75	47,62	107,98	118,55	116,28	49,24	439,67
100	63,49	143,97	158,07	155,04	65,65	586,22
125	79,36	179,96	197,59	193,80	82,06	732,78
150	95,24	215,96	237,11	232,56	98,48	879,33

3.7 Características avaliadas

Nos experimentos I e II (doses de N e K – adubação convencional versus fertirrigação), foram avaliadas as seguintes características: produtividade (PROD), peso de 100 sementes (P100), diâmetro do capítulo (DC) e peso do capítulo (PC). No experimento III (lâminas de irrigação), foram avaliados: o diâmetro do capítulo (DC), peso do capítulo (PC) e produtividade (PROD).

O diâmetro do capítulo (cm) foi medido com auxílio de um paquímetro. O peso do capítulo (g), peso de 100 sementes (g), para essa variável do total produzido pela planta foi separada uma amostra e desta contadas 100 sementes as quais foram pesadas, e peso total das sementes (g), é o peso do total de sementes produzidas pela planta, foram medidos com uma balança digital com precisão de duas casas decimais (Figura 06). A produtividade, em seguida, foi extrapolada para uma área de um hectare (1 ha), podendo ser expressa, portanto em kg ha^{-1} .



Figura 06 – Análise de: Peso do capítulo (A); Diâmetro do capítulo (B); Separação das sementes para ser feito o peso total de sementes (C) e Peso de 100 sementes (D).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I: Nitrogênio

4.1.1 Adubação Convencional e Fertirrigada

Na Tabela 10 está apresentado o resultado da análise de variância da produtividade (PROD), diâmetro do capítulo (DC), peso do capítulo (PC) e peso de 100 sementes (P100). Nota-se que todas as variáveis analisadas, com exceção do peso de 100 sementes (P100) foram influenciadas pelas doses e formas de aplicação de nitrogênio ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 10 – Resumo da análise de variância para produtividade (PROD, em kg ha⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, cm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose e da forma de aplicação de nitrogênio na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		PROD	DC	PC	P100
Tratamento	6	2061755*	10,8687*	14010,18*	2,436848 ^{ns}
Bloco	3	58274,61 ^{ns}	0,5791 ^{ns}	579,117 ^{ns}	0,57989 ^{ns}
Resíduo	18	324580,2	1,4985	2278,57	1,21465
CV(%)		21,322	9,341	24,964	15,011
Média		2671,939	13,1050	191,209	7,34179

O resultado do teste de média para a produtividade, diâmetro do capítulo, peso do capítulo e peso de 100 sementes está apresentado na Tabela 11. Observa-se que a não aplicação de nitrogênio (0 kg ha⁻¹) resultou na menor produtividade, menor diâmetro do capítulo e menor peso do capítulo, embora esses valores tenham sido estatisticamente semelhantes às doses de 30 kg ha⁻¹ de N, aplicados de forma convencional e por fertirrigação. A dose de 60 kg ha⁻¹ de N aplicado de forma convencional proporcionou a maior produtividade (3.568,78 kg ha⁻¹), porém essa dose não diferiu estatisticamente das doses de 30 e 120 kg ha⁻¹ de N aplicados de forma convencional nem das doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ de N aplicadas por fertirrigação. Resultados semelhantes, no feijoeiro, foram obtidos por Cruciani

et al. (1998), que também não encontraram diferenças entre os métodos de aplicação (convencional e fertirrigado) em solo de textura argilosa.

Tabela 11- Teste de médias para comparação da adubação nitrogenada convencional (conv) e fertirrigada (fert) para produtividade (PROD, em kg ha⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, cm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose e da forma de aplicação de nitrogênio na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.

Tratamento (kg ha ⁻¹)	PROD	DC	PC	P100
0	1.542,43 c	10,39 c	101,29 c	6,29
N _{conv30}	2.259,20 abc	12,23 abc	145,59 bc	7,17
N _{conv60}	3.568,78 a	14,85 a	259,51 a	7,10
N _{conv120}	2.913,15 ab	13,61 ab	198,85 abc	8,49
N _{fert30}	2.111,58 bc	11,88 bc	153,68 abc	7,12
N _{fert60}	3.203,08 ab	14,27 ab	239,44 ab	8,30
N _{fert120}	3.105,38 ab	14,53 ab	240,11 ab	6,93
Média	2671,94	13,11	191,21	7,34

Duenhas *et al.* (2005), testando fertirrigação e adubação convencional na produtividade de laranja, sendo os tratamentos T₁- adubação convencional sem irrigação; T₂- adubação convencional com irrigação; T₃- fertirrigação com 100 % da dose recomendada; T₄- fertirrigação com 1/2 da dose recomendada e T₅- fertirrigação com 1/3 da dose recomendada, apresentaram resultados que não sofreram influência dos tratamentos adotados.

O maior peso do capítulo foi obtido com a dose de 60 kg ha⁻¹ de N (259,51 g), no entanto, esse valor não diferiu estatisticamente das doses de 120 kg ha⁻¹ de N aplicado de forma convencional e das doses de 30, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N aplicadas por fertirrigação. O peso médio de 100 sementes foi de 7,34 g, não foi observada diferença significativa entre as doses de N e as formas de aplicação.

4.1.2 Adubação Nitrogenada Convencional

Também foi realizado estudo com as doses de N aplicadas por cada uma das formas utilizadas. Assim, na Tabela 12, podem ser observados os resultados da análise de variância da produtividade (PROD), do diâmetro do capítulo (DC), do peso do capítulo (PC) e do peso de 100 sementes (P100). Verificou-se que todas as variáveis, exceto o peso de 100 sementes (P100), foram influenciadas significativamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F, pelas doses aplicadas convencionalmente.

Tabela 12- Resumo da análise de variância para produtividade (PROD, em kg ha⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, em mm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose de nitrogênio aplicada convencionalmente na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		PROD	DC	PC	P100
Tratamento	3	3023743*	14,63*	18668,44*	3,34 ^{ns}
Bloco	3	55678 ^{ns}	0,725 ^{ns}	405,81 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Resíduo	9	473849	1,98	3160,58	1,31
CV(%)		26,76	11,02	31,87	15,74
Média		2570,89	12,77	176,31	7,26

4.1.2.1 Produtividade

A produtividade média foi de 2.570,89 kg ha⁻¹. A partir da análise de regressão, obteve-se um modelo polinomial, com coeficiente de determinação (R²) de 0,8976 (Figura 07), com a produtividade podendo ser estimada pela equação: $PROD = -0,3087N^{2**} + 49,997N^{**} + 1404,6$, sendo N a dose de nitrogênio aplicada, em kg ha⁻¹ e Prod. a produtividade, em kg ha⁻¹.

Utilizando a equação gerada pela regressão, foi possível estimar, a partir da derivação, a dose de nitrogênio (80,97 kg ha⁻¹ de N) para estimar a produtividade máxima de 3.429,10 kg ha⁻¹.

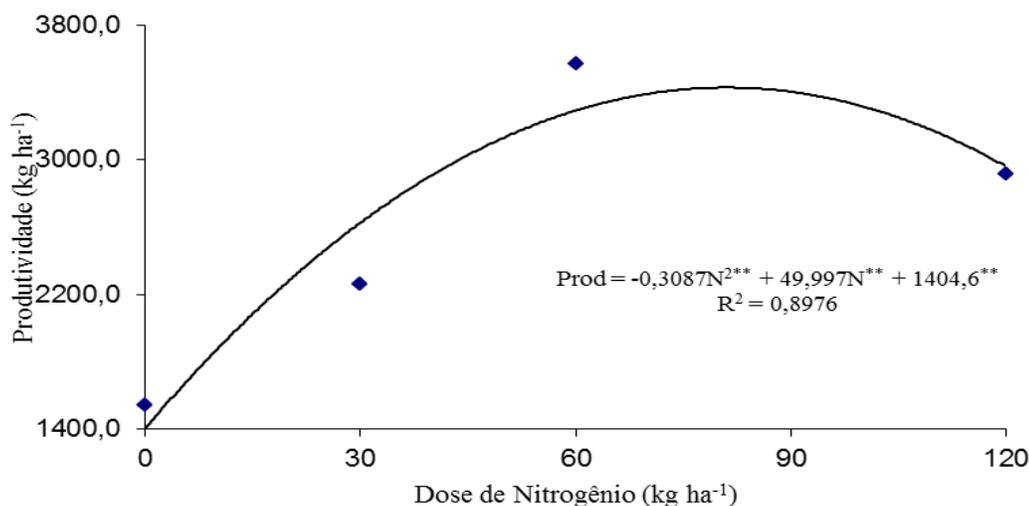


Figura 07- Produtividade do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.

Villalba (2008), em estudos com adubação nitrogenada sob plantio direto, obteve rendimento máximo de 2.440 kg ha⁻¹ com a dose de 75 kg ha⁻¹ de N. Enquanto Biscaro *et al.* (2008), estudando quatro doses de nitrogênio: 0, 20; 40 e 80 kg ha⁻¹, observaram que a máxima produtividade (2.101 kg ha⁻¹) foi obtida com uma dose de 51,7 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Sachs *et al.* (2006), em estudos com girassol verificaram que para produtividade máxima a dose de nitrogênio que proporcionou a melhor resposta foi a de 55 kg ha⁻¹ de N.

Oliveira (2008) adubando a cultura do sorgo com doses crescentes de nitrogênio, de forma convencional, também observou uma queda após um ponto de máxima produção na cultura.

Almeida (1999) em estudos com a cultura do milho e sorgo granífero, submetido à irrigação, testou três doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (50, 100 e 150 kg ha⁻¹) o autor verificou que houve um aumento no rendimento da cultura do milho, com o incremento da dose de nitrogênio. Já para cultura do sorgo esse comportamento não foi observado.

4.1.2.2 Diâmetro do capítulo

O valor médio para o diâmetro do capítulo encontrado foi de 12,77 cm. Na análise de regressão, obteve-se um modelo polinomial de 2^a ordem, com coeficiente de determinação (R²) de 0,9354 (Figura 08), que permite estimar o diâmetro do capítulo pela equação:

$DC = -0,0007N^{2**} + 0,111N^{**} + 10,149$, sendo N a dose de nitrogênio aplicada, em kg ha^{-1} , e DC o diâmetro do capítulo (cm).

Utilizando a equação descrita acima, tem-se que o diâmetro máximo do capítulo foi estimado 14,55 cm a partir da dose de $79,28 \text{ kg ha}^{-1}$ de N.

Braga (2009), em experimento com girassol, testou 04 diferentes doses de nitrogênio, na forma de nitrato de amônio, (75 %, 100 %, 125 % N e 150 % de N) e não obteve diferença significativa entre os tratamentos para o diâmetro do capítulo.

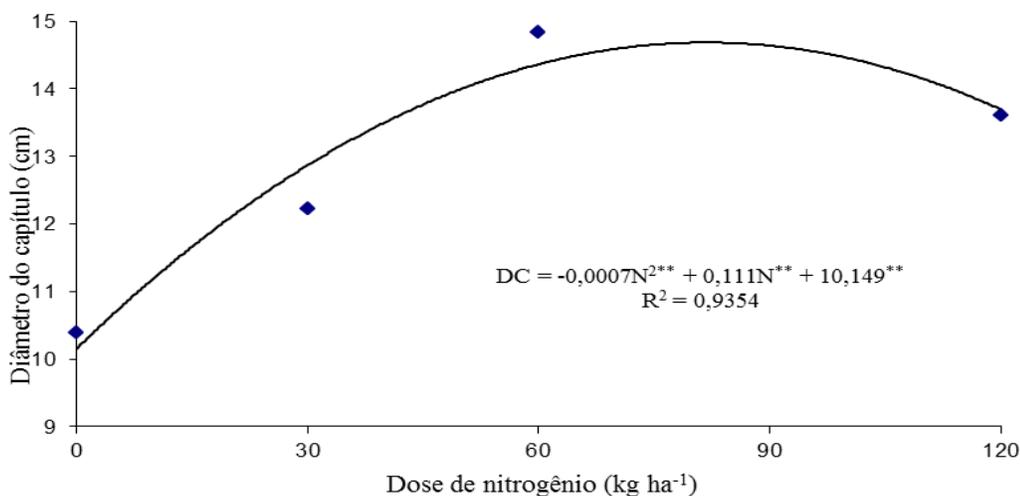


Figura 08 – Diâmetro do capítulo do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.

4.1.2.3 Peso do capítulo

O peso médio do capítulo encontrado foi de 176,31 g.

Com a análise de regressão, também, se observou um modelo polinomial de 2ª ordem, com coeficiente de determinação de 0,8394 (Figura 09), que permite estimar o peso do capítulo pela equação: $PC = -0,0241N^{2**} + 3,858N^{**} + 87,728$, sendo N a dose de nitrogênio aplicada, em kg ha^{-1} , e PC o peso do capítulo (g).

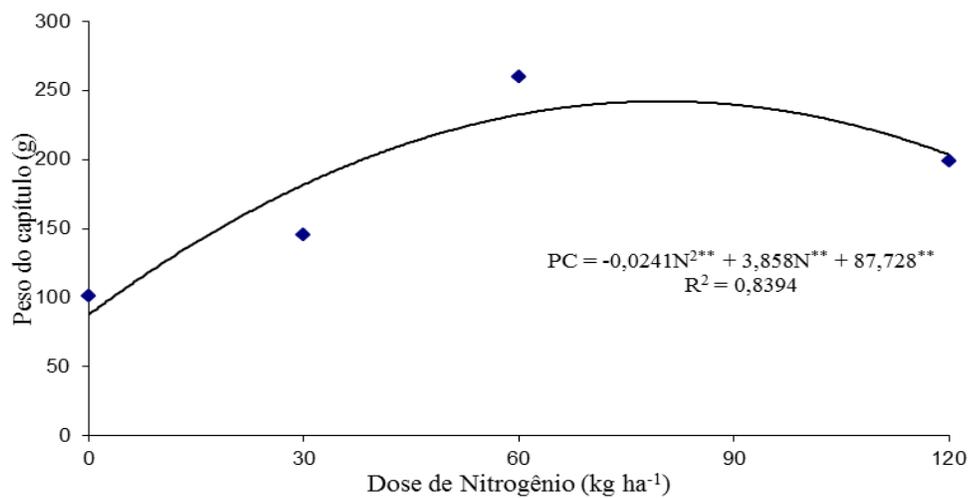


Figura 09 - Peso do capítulo do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.

A partir da equação gerada pela análise de regressão, pôde-se estimar o peso máximo do capítulo de 242,13 g, com a dose de 80,04 kg ha⁻¹ de N.

4.1.3 Adubação nitrogenada fertirrigada

Na Tabela 13, é apresentada a análise de variância da produtividade (PROD), do diâmetro do capítulo (DC), do peso do capítulo (PC) e do peso de 100 sementes (P100). Pode-se observar que todas as variáveis foram influenciadas significativamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F, pela dose de N aplicada por fertirrigação.

Tabela 13 - Resumo da análise de variância para produtividade (PROD, em kg ha⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, em cm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		PROD	DC	PC	P100
Tratamento	3	2571020*	15,71*	18641,64*	2,810123*
Bloco	3	71263,97 ^{ns}	0,31 ^{ns}	449,83 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Resíduo	9	200646,1	1,17	1514,33	1,01
CV(%)		17,99	8,47	21,19	14,08
Média		2490,61	12,76	183,63	7,157

A aplicação de nitrogênio por fertirrigação proporcionou os maiores e os menores valores de cada variável analisada. E, diferente da aplicação convencional, onde os maiores valores sempre foram obtidos com a dose de 60 kg ha⁻¹ e os menores valores com a dose de 0 kg ha⁻¹.

4.1.3.1 Produtividade

A produtividade média encontrada nessa forma de aplicação (fertirrigação) da adubação nitrogenada foi de 2.490,61 kg ha⁻¹.

Com análise de regressão, obteve-se um modelo polinomial quadrático, coeficiente de determinação (R²) de 0,9302 (Figura 10) e equação para estimar a produtividade: $PROD = -0,1956Nf^{2**} + 37,666Nf^{**} + 1437,5$, onde PROD é a produtividade em kg ha⁻¹ e Nf a dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, em kg ha⁻¹.

Calculou-se, a partir da equação acima a produtividade máxima estimada ($3.250,80 \text{ kg ha}^{-1}$), obtida com a dose de $96,28 \text{ kg ha}^{-1}$ de N.

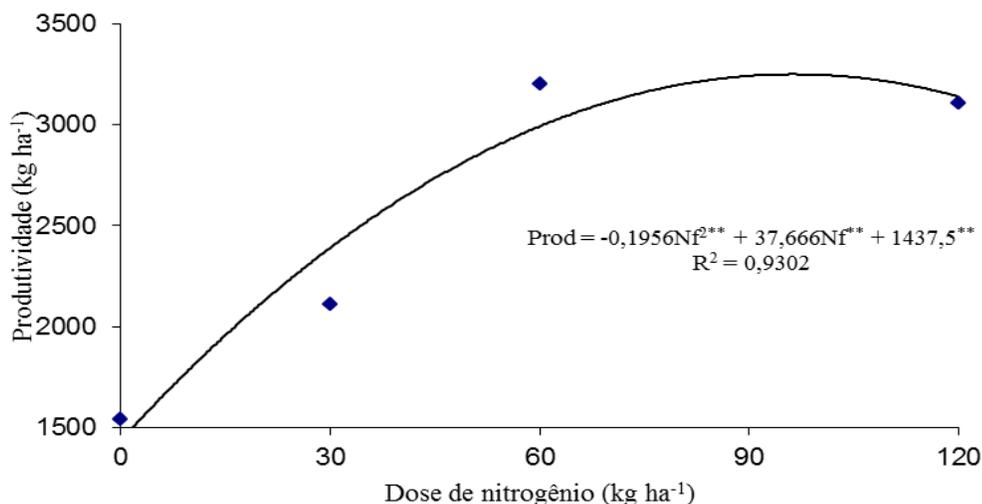


Figura 10 - Produtividade do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.

A produtividade máxima encontrada, com adubação nitrogenada aplicada por fertirrigação, por Mendonça *et al.* (1999) e Pinto (2008) com milho foi de 7.664 kg ha^{-1} , com uma dose de $262,6 \text{ kg ha}^{-1}$ e com sorgo de 7.929 kg ha^{-1} , com uma dose de $80,59 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente.

Andrade Júnior *et al.* (2006), realizaram experimento com diferentes doses de nitrogênio de (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha^{-1}), em melancia, observaram que a produção total, a produção comercial, o número de frutos total e comercial, aumentaram significativamente com os níveis crescentes de nitrogênio, seguindo um modelo quadrático de resposta. No entanto os autores afirmam que os parâmetros de qualidade dos frutos não foram afetados pela dose de nitrogênio aplicada via fertirrigação.

Em estudos com pimentão fertirrigado, com doses crescentes de nitrogênio, Araújo *et al.* (2009) observaram que o comprimento dos frutos e o número de frutos não comerciais não foram influenciados pelas doses de nitrogênio, no entanto, o diâmetro, peso médio e número de frutos total comercial foram influenciados de forma linear e positiva pelas

doses de nitrogênio, no entanto o número de frutos por planta não comerciais foi influenciado pelas doses de nitrogênio porém de forma quadrática.

4.1.3.2 Diâmetro do capítulo

O valor médio encontrado para o diâmetro do capítulo foi de 12,76 cm. O melhor modelo apresentado pela análise de regressão foi o polinomial quadrático, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9596 (Figura 11). A equação obtida para estimar o diâmetro do capítulo que foi: $DC = -0,0004Nf^{2**} + 0,0859Nf^{**} + 10,193$, onde DC é diâmetro do capítulo, em cm e Nf a dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, em $kg\ ha^{-1}$.

O diâmetro do capítulo máximo estimado foi de 14,80 cm, com a dose de nitrogênio de $107,36\ kg\ ha^{-1}$ de N.

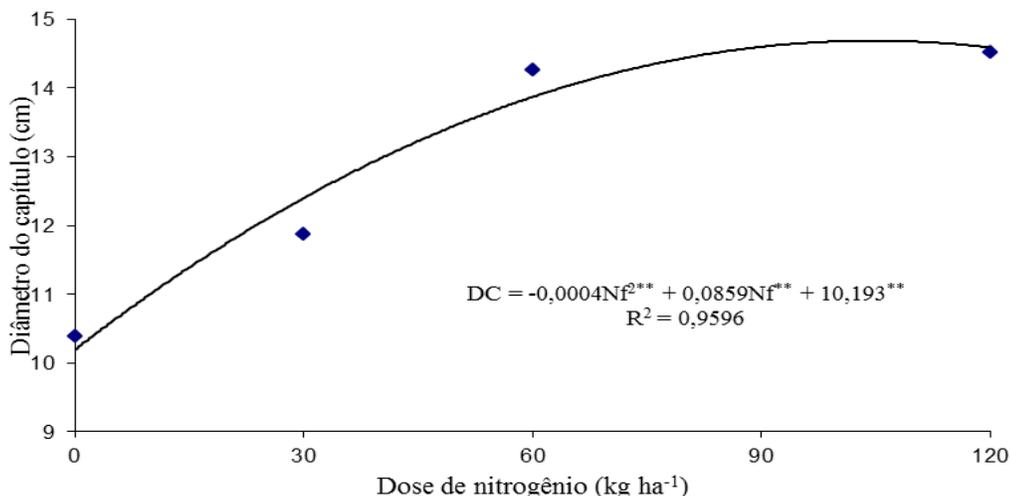


Figura 11 - Diâmetro do capítulo do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.

4.1.3.3 Peso do capítulo

O valor médio encontrado para o peso do capítulo foi de 183,63 g. O melhor modelo apresentado, dentre os testados pela análise de regressão, foi o polinomial quadrático, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9522 (Figura 12). A equação obtida com a análise de regressão para estimar o peso do capítulo: $PC = -0,0157Nf^{2**} + 3,1197Nf^{**} + 93,901$,

onde PC é o peso do capítulo, em g e Nf a dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, em kg ha^{-1} .

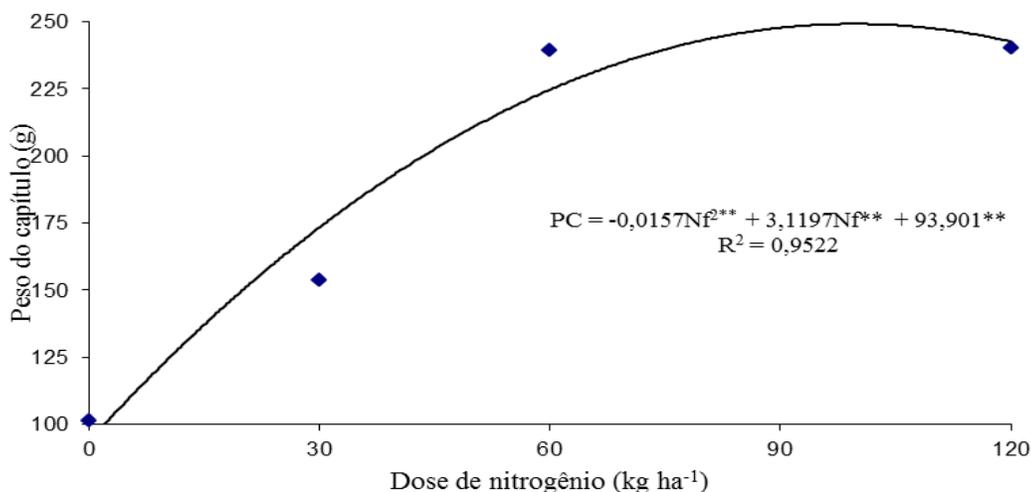


Figura 12 - Peso do capítulo do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.

O peso do capítulo máximo estimado foi de 245,87 g, que seria obtido com a dose de nitrogênio de 99,35 kg ha^{-1} de N.

4.1.3.4 Peso de 100 sementes

O valor médio encontrado para o peso de 100 sementes foi de 7,16 g.

Pela análise de regressão, o melhor modelo foi o polinomial quadrático, com R^2 de 0,9018 (Figura 13). Com a equação: $P100 = -0,0004Nf^{2**} + 0,0558Nf^{**} + 6,1548$, onde P100 é o peso de 100 sementes, em g e Nf a dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, em kg ha^{-1} . Pode-se estimar o valor máximo para o peso de 100 sementes (8,10 g), com a dose de nitrogênio de 69,75 kg ha^{-1} de N.

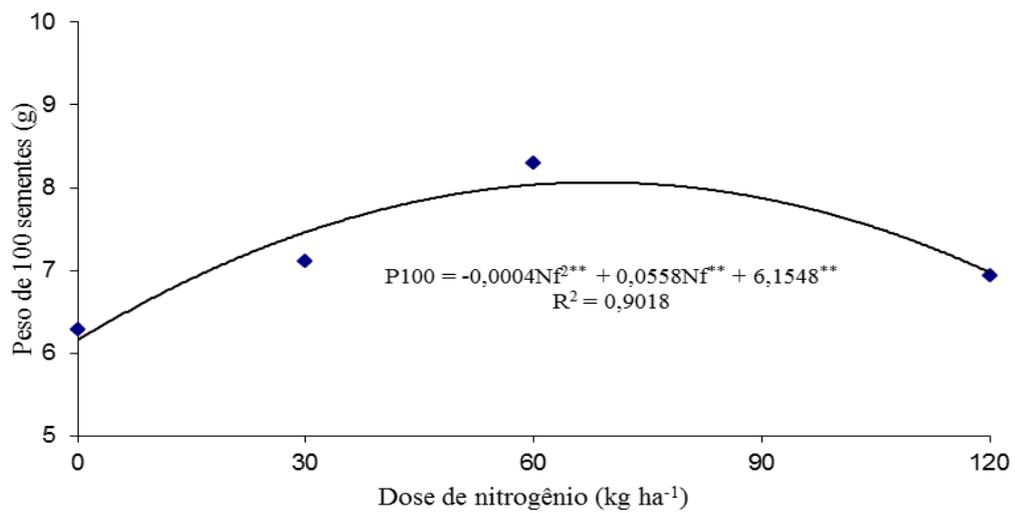


Figura 13 - Peso de 100 sementes do girassol em função da dose de nitrogênio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.

4.2 Experimento II: Potássio

4.2.1. Adubação convencional e fertirrigada

Na Tabela 14, apresenta-se o resumo da análise de variância da produtividade (PROD), do diâmetro do capítulo (DC), do peso do capítulo (PC) e do peso de 100 sementes (P100), sendo possível observar que todas as variáveis foram influenciadas significativamente, ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F, pela dose e forma de aplicação do potássio.

Tabela 14 – Resumo da análise de variância para produtividade (PROD, em kg ha⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, em cm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose e da forma de aplicação de potássio na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		PROD	DC	PC	P100
Tratamento	6	2144882,53*	12,09*	5021,89*	4,975*
Bloco	3	34313,31 ^{ns}	0,5707 ^{ns}	1411,08 ^{ns}	5,012*
Resíduo	18	471220,13	1,84	1008,17	1,68
CV(%)		28,92	10,96	18,82	19,56
Média		2.373,38	12,37	168,73	6,63

O resultado do teste de média para a produtividade, diâmetro do capítulo, peso do capítulo está apresentado na Tabela 15. Observa-se que a não aplicação de potássio (0 kg ha⁻¹) resultou na menor produtividade, menor diâmetro do capítulo e menor peso do capítulo, e esses valores diferiram estatisticamente das demais doses de K₂O estudadas, aplicados de forma convencional e por fertirrigação. A dose de 50 kg ha⁻¹ de K₂O aplicado de forma convencional proporcionou a maior produtividade (3.303,98 kg ha⁻¹), no entanto essa dose não diferiu estatisticamente das demais doses aplicadas tanto de forma convencional quanto por fertirrigação.

Na Tabela 15, observa-se, também, que os tratamentos com dose de 50 kg ha⁻¹ de K₂O, tanto de forma convencional quanto por fertirrigação, foram os únicos que diferiram do controle.

Tabela 15- Teste de médias dos tratamentos da adubação potássica convencional (conv) e fertirrigada (fert) para produtividade (PROD, em kg ha⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, em cm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose e da forma de aplicação de potássio na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.

Tratamento (kg.ha ⁻¹)	PROD	DC	PC	P100
0	1.040,54b	8,79b	105,26b	4,35b
K _{conv25}	2.411,25ab	12,75a	162,05ab	7,33ab
K _{conv50}	3.303,98a	14,22a	217,18a	7,64a
K _{conv100}	2.376,45ab	12,25a	169,23ab	6,73ab
K _{fert25}	2.184,18ab	12,68a	154,48ab	6,50ab
K _{fert50}	3.088,00a	13,64a	198,32a	7,45a
K _{fert100}	2.209,28ab	12,30a	153,09ab	6,43ab
Média	2.206,78	11,92	158,11	6,35

A cultura do girassol possui uma grande capacidade de absorver os principais macronutrientes, quando comparado com outras culturas, como: milho, soja e trigo. Segundo Sfredo *et al.* (1984), o girassol extrai e exporta 40 % mais potássio que o milho e o trigo. Dessa forma, para que se tenha uma boa produtividade com a cultura do girassol, a disponibilidade de potássio no solo deve ser de média a alta, já que a demanda desse nutriente para cada tonelada de grão produzido é elevada, estando em torno de 171 kg ha⁻¹ de K₂O na parte aérea.

Blamey *et al.* (1987) afirmaram que não encontraram resposta do girassol à adubação em solos com alto valor de K disponível, e que somente haveria probabilidade de resposta a adubação potássica em solos com teores menores que 98 mg dm⁻³ de K₂O.

4.2.2. Adubação potássica convencional

Analisando-se separadamente a forma de aplicação (convencional e por fertirrigação) sobre os efeitos das diferentes doses de potássio, foram obtidos os resultados apresentados a seguir.

Assim, na Tabela 16 está apresentado o resultado da análise de variância da produtividade (PROD), do diâmetro do capítulo (DC), do peso do capítulo (PC) e do peso de 100 sementes (P100). Pode-se observar que as variáveis foram influenciadas significativamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F, pelas doses aplicadas convencionalmente.

Tabela 16 - Resumo da análise de variância para produtividade (PROD, em kg ha⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, em mm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose de potássio aplicada convencionalmente na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		PROD	DC	PC	P100
Tratamento	3	3481703,67*	21,19*	8409,94*	8,89*
Bloco	3	135475,56 ^{ns}	0,078 ^{ns}	1161,24 ^{ns}	3,82 ^{ns}
Resíduo	9	431147,41	2,487	1262,64	2,00
CV(%)		28,76	13,14	21,74	21,73
Média		2.283,05	12,00	163,43	6,51

4.2.2.1. Produtividade

A produtividade média encontrada com a aplicação convencional de potássio foi de 2.283,05 kg ha⁻¹.

Feita análise de regressão, obteve-se um modelo polinomial quadrático, com coeficiente de determinação (R²) de 0,9943 (Figura 14) e equação para estimar a produtividade: $PROD = -0,6149K^{2**} + 75,318K^{**} + 1005,7$, onde PROD é a produtividade em kg ha⁻¹ e K é a dose de potássio aplicada convencionalmente, em kg ha⁻¹.

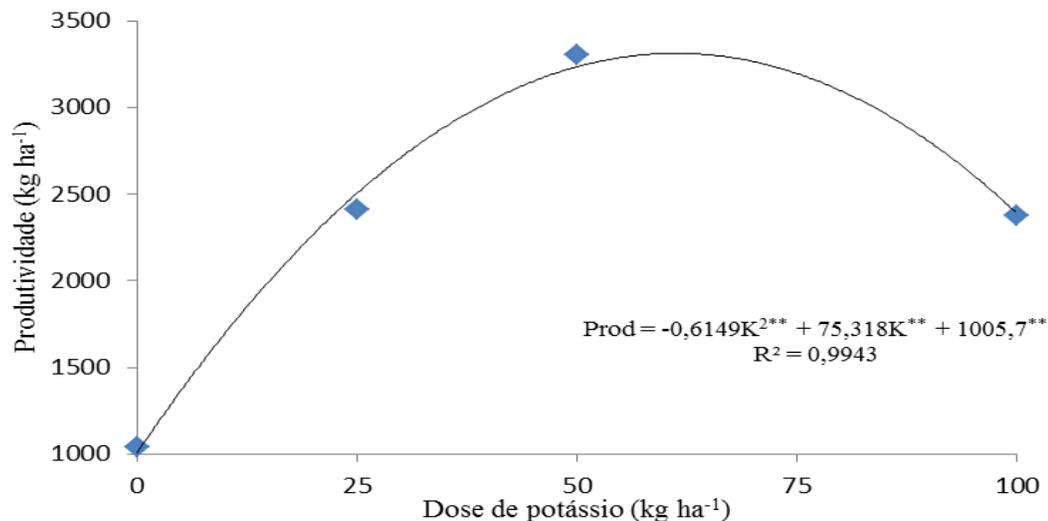


Figura 14 – Produtividade do girassol em função da dose de potássio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.

Calculou-se, a partir da equação apresentada, a produtividade máxima estimada ($3.312,09 \text{ kg ha}^{-1}$), que seria obtida com a dose de $61,24 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O .

Uchôa *et al.* (2011) obtiveram uma produtividade máxima de $2.083,3 \text{ kg ha}^{-1}$ com a dose de $83,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O .

Hahn *et al.* (2007) testaram 06 diferentes doses de potássio na cultura do girassol, em duas regiões diferentes, obtendo rendimento máximo (2.129 kg ha^{-1}) para uma das regiões com a dose de 120 kg ha^{-1} de K_2O . A variação de produtividade foi de 1.428 a 2.501 kg ha^{-1} para o solo de Missiones, Paraguai, que é de textura média.

Sachs *et al.* (2006), em estudos com girassol, encontraram a dose de potássio (41 kg ha^{-1} de K_2O) estimada pela equação, para a máxima produtividade.

Oliveira *et al.*, (2012), testando quatro diferentes doses de K_2O , que foram 30 ; 60 ; 90 e 120 kg ha^{-1} , aplicadas convencionalmente, verificaram que não houve diferença significativa nas doses testadas para a produtividade do pinhão manso.

4.2.2.2. Diâmetro do capítulo

O valor médio encontrado para o diâmetro do capítulo foi de 12 cm. Na análise de regressão, obteve-se um modelo polinomial de 2ª ordem, com coeficiente de determinação de 0,9962 (Figura 15), que permite estimar o diâmetro do capítulo pela equação: $DC = -0,0015K^{2**} + 0,1865K^{**} + 8,8552$, sendo K a dose de potássio aplicada, em kg ha^{-1} , e DC o diâmetro do capítulo, em cm.

Utilizando a equação descrita anteriormente, tem-se que o diâmetro máximo do capítulo foi estimado em 14,65 cm, a partir da dose de 62,16 kg ha^{-1} de K_2O .

Uchôa *et al.* (2011), testando cinco diferentes doses de potássio na cultura do girassol, aplicados em cobertura, observaram que as plantas atingiram um diâmetro de capítulo de 12,51 cm (dose entre 65,6 e 78,6 kg ha^{-1} de K_2O).

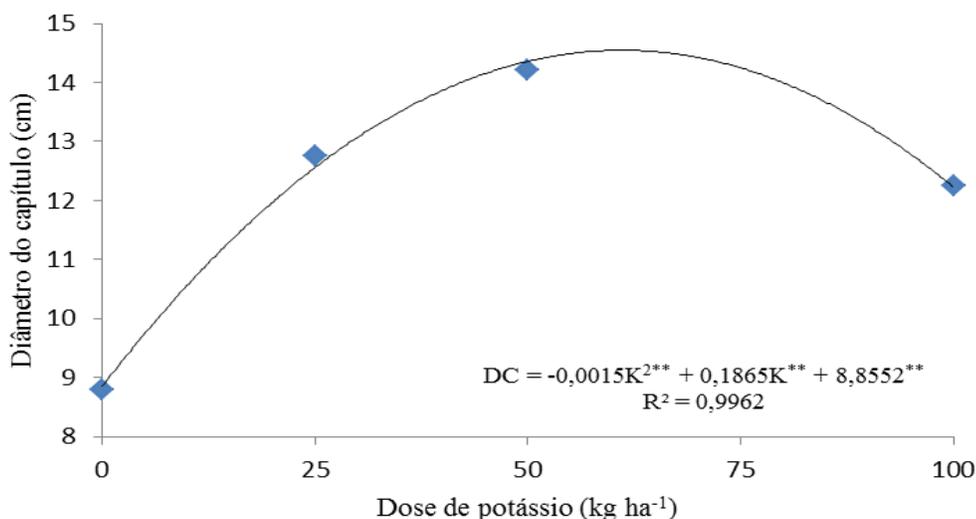


Figura 15 – Diâmetro do capítulo do girassol em função da dose de potássio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.

4.2.2.3. Peso do capítulo

O valor médio encontrado para o peso do capítulo foi de 163,43 g. O melhor modelo apresentado, dentre os testados pela análise de regressão, foi o polinomial quadrático, com coeficiente de determinação de 0,9662 (Figura 16). A equação obtida com a análise de regressão para estimar o peso do capítulo foi: $PC = -0,0292K^{2**} + 3,614K^{**} + 101,08$, onde PC é o peso do capítulo, em g e K a dose de potássio aplicada convencionalmente, em kg ha^{-1} .

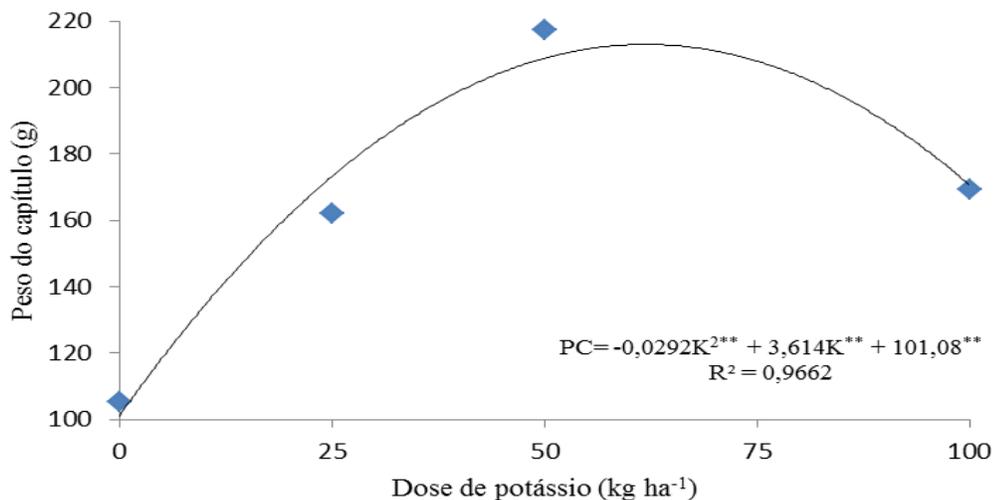


Figura 16 - Peso do capítulo do girassol em função da dose de potássio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.

O peso do capítulo máximo estimado foi de 212,90 g, que seria obtido com a dose de nitrogênio de 61,88 kg ha⁻¹ de K₂O.

4.2.2.4. Peso de 100 sementes

O valor médio encontrado para o peso de 100 sementes foi de 6,51 g. Pela análise de regressão, o melhor modelo dentre os testados foi o polinomial quadrático, com R² de 0,9434 (Figura 17), e equação: $P100 = -0,001K^{2**} + 0,1174K^{**} + 4,5238$, onde P100 é o peso de 100 sementes, em g e K a dose de potássio aplicada convencionalmente, em kg ha⁻¹. Pode-se estimar o valor máximo para o peso de 100 sementes (7,97 g), com a dose de potássio de 58,7 kg ha⁻¹ de K₂O.

Para a maior massa de mil aquênios, Sachs *et al.* (2006) estimaram uma dose ótima de K₂O de 54 kg ha⁻¹, com a aplicação de 104 kg ha⁻¹ de N.

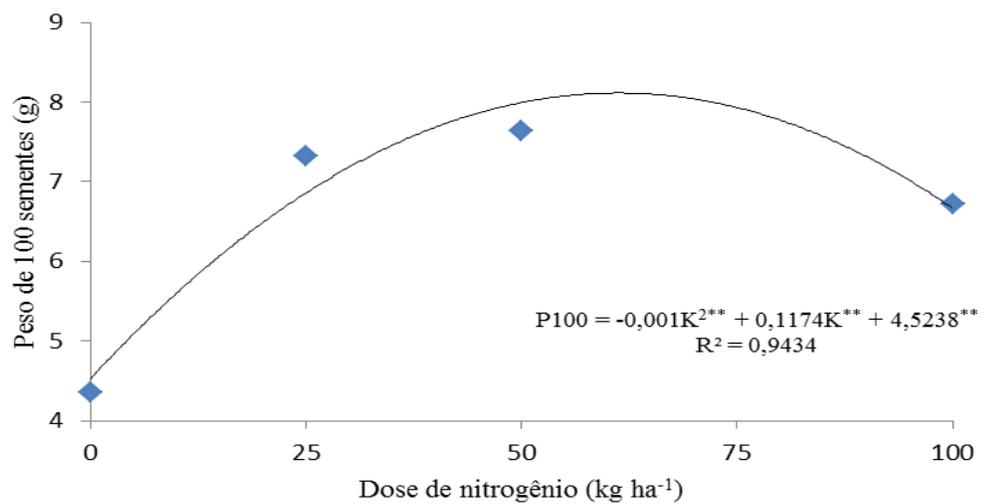


Figura 17 – Peso de 100 sementes de girassol em função da dose de potássio aplicada de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2008.

4.2.3. Adubação potássica fertirrigada

Na Tabela 17 é apresentada a análise de variância da produtividade (PROD), do diâmetro do capítulo (DC), do peso do capítulo (PC) e do peso de 100 sementes (P100).

Nesse caso, também foi possível verificar que as variáveis foram influenciadas significativamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F, pelas doses aplicadas a partir da fertirrigação.

Tabela 17- Resumo da análise variância para produtividade (PROD, em kg ha⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, em cm), peso do capítulo (PC, em g) e peso de 100 sementes (P100, em g) em função da dose de potássio aplicada por fertirrigação na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		PROD	DC	PC	P100
Tratamento	3	2818540,74*	17,96*	5778,80*	6,86*
Bloco	3	260795,07 ^{ns}	1,52 ^{ns}	724,45 ^{ns}	1,60 ^{ns}
Resíduo	9	391171,34	1,06	305,25	1,29
CV(%)		29,36	8,70	11,44	18,36
Média		2.130,50	11,85	152,79	6,18

4.2.3.1. Produtividade

A produtividade média encontrada com as diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação foi de 2.130,50 kg ha⁻¹.

Com a análise de regressão, obteve-se um modelo polinomial quadrático, com coeficiente de determinação (R²) de 0,9834 (Figura 18), e com a seguinte equação para estimar a produtividade: $PROD = -0,5495Kf^{2**} + 67,35Kf^{**} + 986,9$, onde PROD é a produtividade em kg ha⁻¹ e Kf é a dose de potássio aplicada por fertirrigação, em kg ha⁻¹.

Calculou-se, a partir da equação apresentada, a produtividade máxima estimada em 3.050,60 kg ha⁻¹, obtida com a dose de 61,28 kg ha⁻¹ de K₂O.

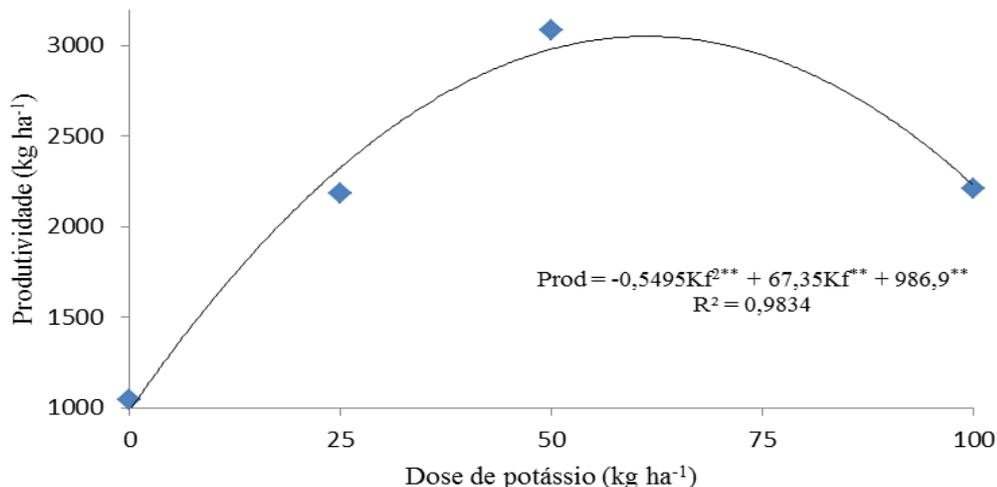


Figura 18 – Produtividade do girassol em função da dose de potássio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.

Sousa *et al.* (2010), trabalhando com melão e quatro diferentes doses de potássio, aplicadas através da água de irrigação, observaram que a produtividade não foi influenciada significativamente pelas doses de potássio.

Nobre *et al.* (2010), aplicando diferentes doses de potássio via água de irrigação, concluíram que a dose de 31,8 kg ha⁻¹ foi a que proporcionou a maior produtividade na mamoneira (3.341,2 kg ha⁻¹).

Mesquita (2010) em estudos com a cultura do gergelim, afirma que a dose de potássio, aplicada via água de irrigação, que maximizou a produtividade em 656,26 kg ha⁻¹ foi de 170,7 kg ha⁻¹ de K₂O.

4.2.3.2. Diâmetro do capítulo

O valor médio encontrado para o diâmetro do capítulo foi de 11,85 cm. Na análise de regressão, obteve-se um modelo polinomial de 2^a ordem, com coeficiente de determinação de 0,9795 (Figura 19), que permite estimar o diâmetro do capítulo pela equação: $DC = -0,0013Kf^{2**} + 0,167Kf^{**} + 8,9352$, sendo Kf a dose de potássio fertirrigada, em kg ha⁻¹, e DC o diâmetro do capítulo, em cm.

Utilizando a equação descrita anteriormente, estima-se que o diâmetro máximo do capítulo em 14,30 cm, a partir da dose de 64,23 kg ha⁻¹ de K₂O.

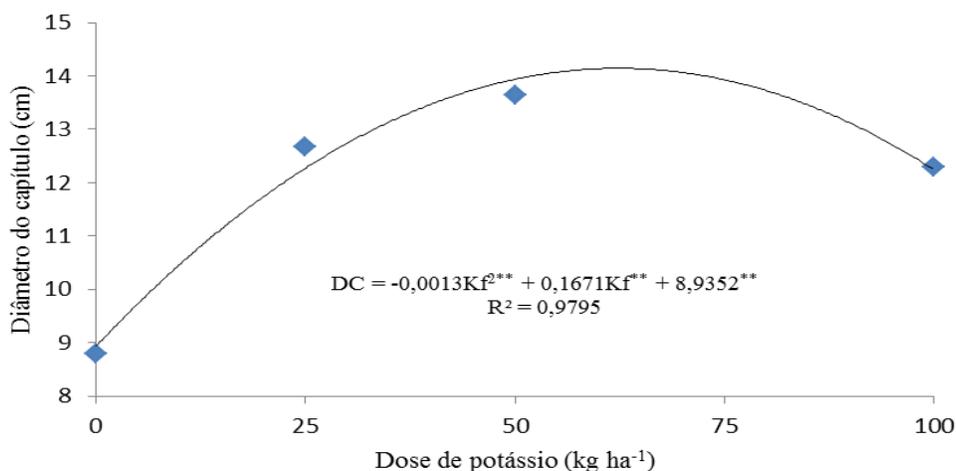


Figura 19 – Diâmetro do capítulo do girassol em função da dose de potássio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.

4.2.3.3. Peso do capítulo

O valor médio encontrado para o peso do capítulo foi de 152,79 g. O melhor modelo apresentado, dentre os testados pela análise de regressão, foi o polinomial quadrático, com coeficiente de determinação de 0,9714 (Figura 20). A equação obtida com a análise de regressão para estimar o peso do capítulo foi: $PC = -0,0255Kf^{2**} + 3,074Kf^{**} + 102,08$, onde PC é o peso do capítulo, em g e Kf a dose de potássio fertirrigada, em $kg\ ha^{-1}$.

O peso do capítulo máximo estimado foi de 194,72 g, que seria obtido com a dose de 60,27 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O .

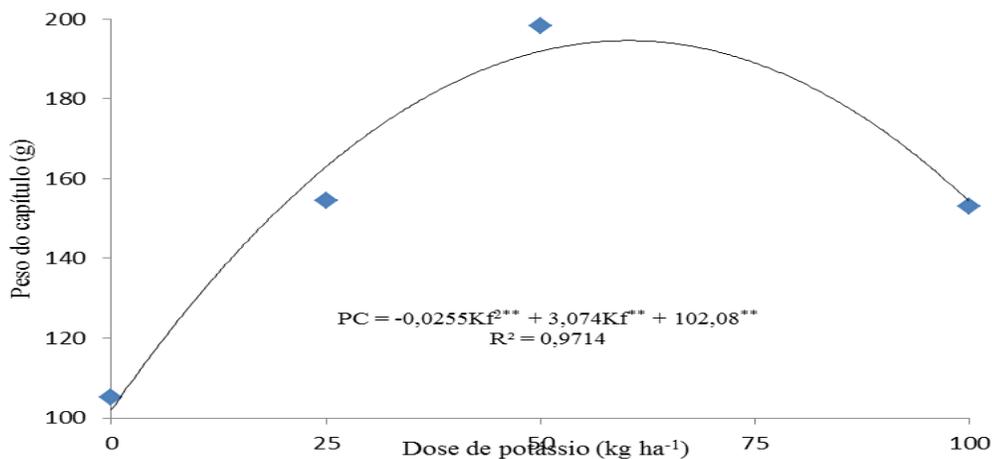


Figura 20 – Peso do capítulo do girassol em função da dose de potássio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.

4.2.3.4. Peso de 100 sementes

O valor médio encontrado para o peso de 100 sementes foi de 6,18 g. Pela análise de regressão, o melhor modelo, dentre os testados, foi o polinomial quadrático, com R^2 de 0,9991 (Figura 21).

Com a seguinte equação, obtida na análise de regressão: $P100 = -0,0008Kf^{2**} + 0,1043Kf^{**} + 4,3669$, onde P100 é o peso de 100 sementes, em g e Kf a dose de potássio fertirrigada, em $kg\ ha^{-1}$.

O valor máximo estimado para o peso de 100 sementes foi de 7,77 g, com a dose de $65,19\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O .

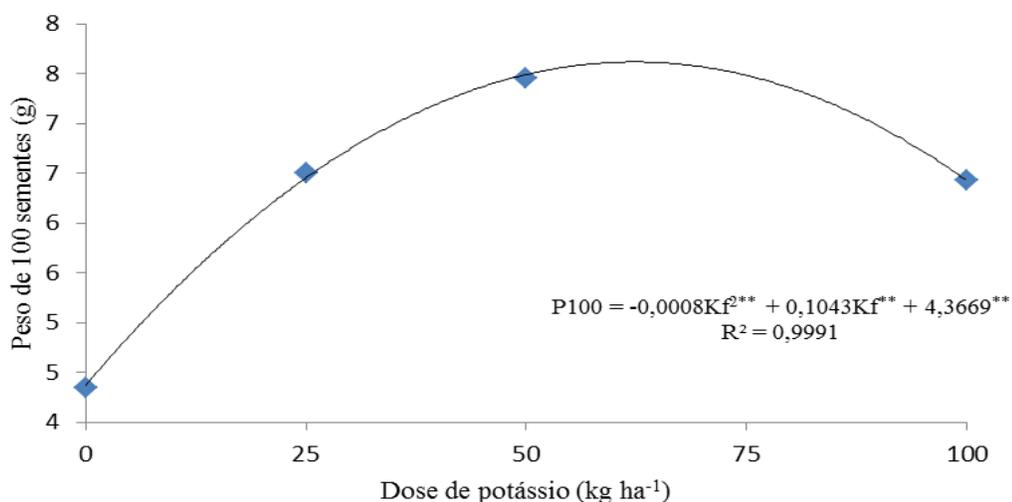


Figura 21 – Peso de 100 sementes do girassol em função da dose de potássio aplicada por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2008.

4.3. Experimento III: Níveis de irrigação

Na Tabela 18, apresenta-se o resumo da análise de variância para produtividade (PROD, em kg ha⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, em mm) e peso do capítulo (PC, em g), bem como os coeficientes de variação e suas respectivas médias. Assim, pode-se notar que as variáveis de produtividade e peso do capítulo foram influenciadas significativamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F, e que a variável diâmetro do capítulo não sofreu influência significativa em relação ao nível de irrigação.

Tabela 18- Resumo da análise de variância para produtividade (PROD, em kg ha⁻¹), diâmetro do capítulo (DC, em cm) e peso do capítulo (PC, em g) em função do nível de irrigação na cultura do girassol, Fortaleza, Ceará, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		PROD	DC	PC
Tratamento	5	1792069*	2,04 ^{ns}	198,19*
Bloco	3	149881,4 ^{ns}	0,24 ^{ns}	52,27 ^{ns}
Resíduo	15	67539,00	0,89	23,68
CV (%)		9,74	11,34	12,60
Média		2.668,99	8,31	38,63

4.3.1. Produtividade

A produtividade média encontrada foi de 2.668,99 kg ha⁻¹. Por meio da análise de regressão, obteve-se um modelo polinomial quadrático, com coeficiente de determinação (R²) de 0,9574 (Figura 22). A equação encontrada foi: $Prod = -0,3764LI^2 + 68,549LI + 239,19$, onde Prod é a produtividade em kg ha⁻¹ e LI é a lâmina de irrigação aplicada, % ETo_{PM}.

Utilizando-se a equação obtida, pode-se estimar a produtividade máxima (3.357,18 kg ha⁻¹), que seria obtida com a lâmina de irrigação correspondente a 91,06 % da ETo_{PM}.

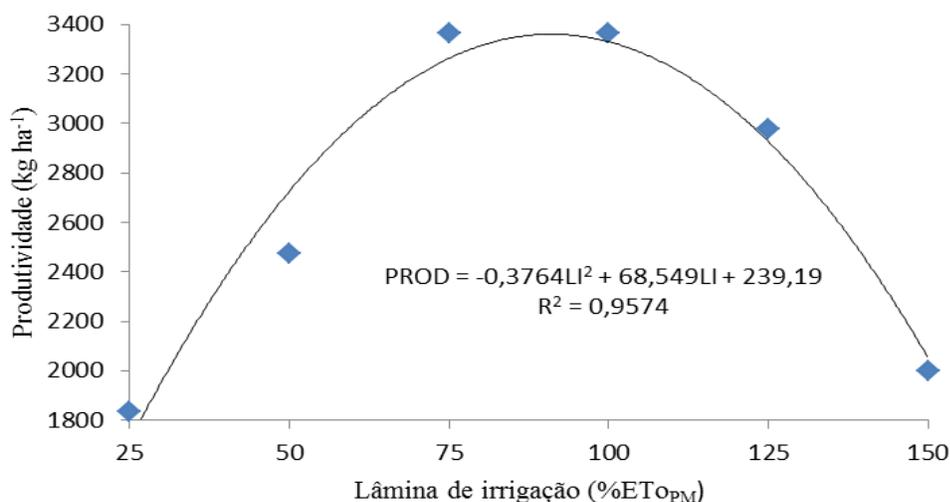


Figura 22 – Produtividade do girassol em função do nível de irrigação baseado na Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (ET_{OPM}), Fortaleza, Ceará, 2008

Silva *et al.* (2007), trabalhando com a cultura do girassol, no município de Lavras, Minas Gerais, testaram quatro diferentes lâminas de água, sendo L₁ (0,75 ETc), L₂ (1,00 ETc), L₃ (1,30 ETc) e a testemunha L₀ (sem irrigação). A quantidade de água recebida por cada tratamento foi de 117,20; 350,84; 428,70 e 522,14 mm de água, para as lâminas L₀, L₁, L₂, L₃, respectivamente. Os autores verificaram que a L₃ foi a que apresentou a maior produtividade, alcançando 2.863,12 kg de sementes por hectare.

Gondim *et al.* (2009) testaram 04 diferentes lâminas de água (5,3; 7,9; 10,5 e 13,1 mm), com 4 plantas por cova, a produtividade do maracujazeiro amarelo, e verificou-se que a maior produtividade foi obtida com a lâmina de 10,5 mm dia⁻¹.

Lima (2011), testando diferentes lâminas com a cultura do girassol, cultivar CATISSOL, no município de Limoeiro, Ceará, observou que ocorreu um aumento linear da produtividade em relação às lâminas testadas, proporcionando a maior produtividade (1.634,38 kg ha⁻¹) com a lâmina de 125% ECA (evaporação de água no tanque Classe “A”) correspondente a 807,1 mm.

Bessa (2010), também em trabalho realizado com a cultura do girassol, cultivar CATISSOL, na região do Vale do Curu, no município de Pentecoste, Ceará, obteve a maior produtividade de 1.807,88 kg ha⁻¹, com a maior lâmina de irrigação estudada que foi de 150% ECA (evaporação de água no tanque Classe “A”) correspondente a 762,1mm.

Sousa (2011) testando diferentes níveis de irrigação, verificou que a produtividade foi influenciada pela elevação da quantidade de água aplicada, estimando a produtividade máxima em $1.134,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ com nível de irrigação de $106,66\% \text{ ET}_{0\text{PM}}$ (408 mm).

Mesquita (2010) em estudos com diferentes lâminas de irrigação, na cultura do gergelim, também encontrou um modelo polinomial quadrático onde a lâmina que maximizou a produtividade foi de $116,5\% \text{ ET}_{0\text{PM}}$.

Moreira et al (2009) em estudos com a cultura da mamoneira, verificaram que os fatores de produção, como produtividades de racemos de 2ª e 3ª ordens e produtividade total, foram influenciadas pelas lâminas de irrigação. Os autores afirmam ainda que nas condições climáticas do Nordeste brasileiro, cultivos de oleaginosas com o uso de irrigação têm sua produtividade aumentada.

4.3.2. Peso do capítulo

O peso médio do capítulo foi de $32,62 \text{ g}$. Com a análise de regressão, obteve-se um modelo polinomial quadrático, apresentando o coeficiente de determinação (R^2) com valor de $0,5789$ (Figura 23). Foi obtida a seguinte equação: $PC = -0,003LI^2 + 0,4782LI + 24,773$, para estimar o peso do capítulo (PC, em g) em função da lâmina de irrigação aplicada (LI, $\% \text{ ET}_{0\text{PM}}$).

A partir da equação obtida foi possível estimar o peso do capítulo máximo ($43,83 \text{ g}$), que seria obtido com a lâmina de irrigação correspondente a $79,7\%$ da $\text{ET}_{0\text{PM}}$.

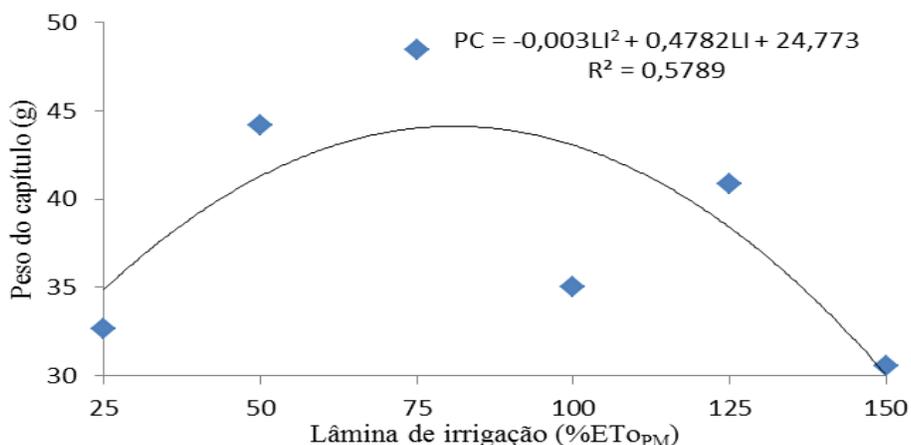


Figura 23 – Peso do capítulo do girassol em função do nível de irrigação baseado na Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith ($\text{ET}_{0\text{PM}}$), Fortaleza, Ceará, 2008.

5 CONCLUSÃO

6.1 – Experimento I: Adubação nitrogenada

Os resultados obtidos indicam que, nas condições de estudo, os produtores podem selecionar a forma de aplicação de nitrogênio (adubação convencional ou fertirrigação), visto que as variáveis analisadas não diferiram entre si.

Indica-se que os produtores, podem aumentar a dose de N a ser aplicada, em relação à dose recomendada (60 kg ha^{-1}), pois a dose de N aplicada pelo método convencional que maximizou a produtividade ($3.429, 10 \text{ kg ha}^{-1}$) foi estimada em $80,97 \text{ kg ha}^{-1}$.

6.2 – Experimento II: Adubação potássica

Com base nos resultados obtidos, os produtores podem selecionar a forma de aplicação de potássio (adubação convencional ou fertirrigação), visto que as variáveis analisadas não diferiram entre si.

Os produtores podem aumentar a dose de K_2O a ser aplicada, em relação à dose recomendada (50 kg ha^{-1}), pois a dose de K_2O aplicada pelo método convencional que maximizou a produtividade ($3.312,09 \text{ kg ha}^{-1}$) foi estimada em $61,24 \text{ kg ha}^{-1}$.

6.3 – Experimento III: Lâminas de irrigação

Houve diferença significativa para as variáveis de produtividade e peso do capítulo em função das diferentes lâminas de irrigação.

Os produtores podem aplicar uma lâmina de, aproximadamente 90 % da Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (ET_{OPM}), que foi a lâmina de irrigação estimada que maximizou a produtividade ($3.357,18 \text{ kg ha}^{-1}$) do girassol nessas pesquisas.

6 REFERÊNCIAS

ACOSTA, J. F. **Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da chapada do Apodi – RN** (Dissertação de mestrado). Campina Grande, Paraíba. 56 p, 2009.

AGUIAR, M. de J. N.; VIANA, T. V. de A.; AGUIAR, J. V. de; JÚNIOR, R. R. C.; AQUINO, F. C. de; JÚNIOR, J. H. C. B. **Dados climatológicos: Estação de Fortaleza, 2003**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria tropical, 19 p, 2004. (Embrapa Agroindústria tropical. Documento 86).

AGRIANUAL. **Tecnologia: irrigação**. São Paulo: FNP, Consultoria e Agroinformativos, 2002. p. 54-59.

AJUDARTE, J.C.; DA LUZ, E.B. CALAFIORI, M.H. Influência de adubação potássica no dano da vaquinha, *Diabrotica speciosa*, na cultura do feijoeiro. **Ecossistema**, v.22, 1997.

ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; BURMAN, R. D. Operational estimates of reference evapotranspiration. Madison: **Agronomy Journal**, v. 81, n. 4, p. 650-662, July/Aug. 1989.

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.

ANDRADE, S. J. de. **Efeito de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol**. 2000. 94 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M. B. M. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS. Cap. I. p. 1-18, 1986.

AQUINO, B. F. **Adubos e adubação**. Fortaleza: UFC. 2003. 241p.

ARAÚJO, J. S.; ANDRADE, A. P. de; RAMALHO, C. I.; AZEVEDO, C. A. V. de. Características de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido sob doses de nitrogênio via fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, 2009.

AUBERTINI, G. N.; PETER, D. B. Net radiation determination in a cornfield. Madison: **Agronomy Journal**, v. 53, p. 269-272, 1961.

BEN-ASHER, J.; MEEK, D. W.; HUTMACHER, R. B.; PHENE, C. J. Computational approach to assess actual transpiration from aerodynamic and canopy resistance. Madison: **Agronomy Journal**, v. 81, n. 5, p. 776-782, Sept./Oct., 1989.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, 657 p., 1995.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFC, 2008. 625 p.

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 95 p. (IPAGRO, Boletim Técnico, 7)

BESSA, M. C. **Crescimento e produtividade do girassol sob diferentes lâminas de irrigação**. Monografia. Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza-CE, 2010, 76p.

BISCARO, G. A., MACHADO, J. R., TOSTA, M. da S., MENDONÇA, V., SORATTO, R. P., CARVALHO, L.A. de. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia – MS. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1366-1373, set/out., 2008.

BLAMEY, F. P. C.; ZOLLINGER, R. K.; SCHNEITER, A. A. Sunflower production and culture. In: SCHNEITER, A. A (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: American society of Agronomy, p.595-670, 1997.

BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. D. **Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data**. Washington: USDA, SCS, 96 p., 1952.

BRESLER, E. Trickle-drip irrigation: principles and applications to soil water management. **Advances in Agronomy**, v. 29, p. 344-396, 1977.

BRUTSAERT, W. **Evaporation into the atmosphere: theory, history and applications.** Dordrecht: Kluwer Academic, 299 p, 1982. (Environmental Fluid Mechanics, 1)

BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation.** San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1998.

CARRÃO-PANIZZI, M.; MANDARINO, J. M. G. **Produtos proteicos do girassol.** In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed). *Girassol no Brasil.* Londrina: EMBRAPA, p.51-68, 2005.

CARTER, J. F. **Sunflower science and technology.** Madison: American Society of Agronomy, 505 p., 1978.

CASTIGLIONI, V.B.R, BALLA, A., CASTRO, C., SILVEIRA, J.M. **Fases de desenvolvimento da planta de girassol.** Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 24 p., 1994. (Documento, 58).

CASTRO, C. de; FARIAS, J.R.B. **Ecofisiologia do girassol.** In: LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. de. (Ed), *Girassol no Brasil.* Embrapa Soja, p.163-210, 2005.

CASTRO C.; CASTIGLIONI V. B. R.; BALLA A.; LEITE R. M. V. B. C.; KARAM D.; MELLO H. C.; GUEDES L.C. A.; FARIAS J. R. B. **Adubação.** In: *A cultura do girassol.* Londrina – PR. Editora EMBRAPA, cap. 7, p. 17–19, 1997.

CASTRO, C., BALLA, A., CASTIGLIONI, V. B. R., *et al.* Levels and methods of nitrogen supply for sunflower. **Scientia Agricola.** [online]. Oct/Dec. 1999, vol.56, n. 4, p.827-833.

CHANG, J. **Climate and agriculture: an ecological survey.** 2. ed., Chicago: Aldine Publishing Company, 269 p, 1971.

CHAPMAN, S. C.; HAMMER, G. L.; MEINKE, H. A sunflower simulation model: I. Model development. **Agronomy Journal.**, v. 85, p. 725-735. 1993.

CHONÉ, E. Physiologie de la formation du rendement chezle tournesol. **Informations Techniques,** CETIOM, Paris, v.83, p.3-72, 1983.

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

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

COELHO, E. F.; SILVA, J. G. F. da; ALVES, A. A. C.; CRUZ, J. L. **Irrigação do Mamoeiro**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, jul. 2003. 8p. (Embrapa-CNPMP. Série Circular Técnica, 54).

COSTA, E. L.; SILVA, J. T. A.; SILVA, E. B.; LIMA, L. A.; MAENO, P.; MENDES, J. O.; SILVA, P. B. Desenvolvimento e produção da bananeira (*Musa spp.*) “Prata-Anã” em diferentes parcelamentos de fertirrigação em solo arenoso do perímetro irrigado do Gorutuba no norte de Minas Gerais. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA 29**, 2000, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBEA/UFC, 2000a. eas 182. 1 CD ROM.

COSTA, E. L.; SILVA, J. T. A.; SOUTO, R. F.; SILVA, E. B.; LIMA, L. A.; MAENO, P.; MENDES, J. O.; SILVA, P. B. Adubação convencional e frequência da fertirrigação no desenvolvimento e produção da bananeira (*Musa spp.*) “Prata-Anã” em solo argiloso do perímetro irrigado do Gorutuba no norte de Minas Gerais. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA 29**. 2000, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBEA/UFC, 2000b. eas 183. 1 CD ROM.

COX, W. J.; JOLLIFF, G.D. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p.226-230, 1986.

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.

DASBERG, S.; BRESLE, E. **Drip irrigation manual**. Logan: International Irrigation Information Center, 95 p., 1985.

DELGADO, A. R. S; DUARTE, W. S; LIMA, V. N; CARVALHO, D. F de. Modelagem matemática para otimização da produção e renda de melão e melancia em função das lâminas de água e doses de nitrogênio. **Irriga**, Botucatu, v.15, n.1, p.1-9, jan/mar., 2010.

DOBASHI, A. M.; CARVALHO, J. A.; PEREIRA, G. M.; RODRIGUES, L. S. Avaliação do crescimento da boca de leão (*Antirrhinum majus*) submetido a diferentes níveis de deficiência hídrica. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 27, 1998, Poços de caldas. Anais... Poços de caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. v. 1, p. 100-102.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. 5. ed., Roma: FAO, 1990. 194 p. (Estudios FAO, Riego y Drenaje, 24)

DUENHAS, L. H.; VILLAS BÔAS, R. L.; SOUZA, C. M. P.; OLIVEIRA, M. V. A. M.; DALRI, A. B. Produção, qualidade dos frutos e estado nutricional da laranja valência sob fertirrigação e adubação convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n.1, p. 154-160, jan/abr., 2005.

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

ERDEM, T.; DELIBAS, L. Yield response of sunflower to stress under tekirdag conditions. **Helia**, v. 26, n. 38, p. 149-158, 2003.

FLAGELLA, Z.; ROTUNNO, Di CATERINA, R.; SIMONE, G.; CICIRETTI, L.; De CARO, A. Effect of supplementary irrigation on seed yield and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown in a sub-arid environment. **International Sunflower Conference**, 15. Proceedings: 2000. International Sunflower Association. v.1: p. C139-C144. 2000.

FONTES, P. C. R.; SILVA, D. J. H.; **Produção de tomate de mesa**, Viçosa, MG 2002. 196p.

FRIZZONE, J.A.; ZANINI, J.R.; PAES, L.A.D.; NASCIMENTO, V.M. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira: UNESP, 1985. 31p. (Boletim Técnico, 2).

GLAS, K. **Sunflower**: fertilizing for high yield and quality. Worblaufen-Bren: International Potash Institute, 1988. 38p. (IPI. Bulletin, 10).

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. 3 ed. Campina Grande: UFP, 1999. 412 p.

GONDIM, S. C.; CAVALCANTE, L. F.; CAMPOS, V. B.; MESQUITA, E. F de; GONDIM, P C. produção e composição foliar do maracujazeiro amarelo sob lâminas de irrigação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n.4, p. 100-107, out/dez., 2009.

GOYNE, P. J.; WOODRUFF, D. R.; CHURCHETT, J. D. Prediction of flowering sunflowers. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Husbandry**, Melbourne, v. 17, p.475-481. 1978.

GOYNE, P.J.; HAMMER, G.L. Phrenology of sunflower cultivars. II Controlled-environment studies of temperature and photoperiod effects. **Australian Journal of Research**, Sidney, v.33, p. 251-261. 1982.

GUERRA, A. G.; ZANINI, J. R.; NATALE, W. & PAVANI, L. C. Frequência da fertirrigação da bananeira Prata-anã com nitrogênio e potássio aplicados por microaspersão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 80-88, 2004.

GUIDOLIN, J. C. Tecnologias em floricultura: sistemas de irrigação. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 1, n. 2, p. 116-121, 1995.

HAHN, E. O.; ELTZ, F. L. F.; SAMANIEGO, L. R. Resposta do girassol à adubação potássica em solos sob plantio direto no Paraguai. **XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. De 05 a 10 de agosto de 2007. Gramado – RS.

HARGREAVES, G. H. **Potential evapotranspiration and irrigation requirements for Northeast Brazil**. Logan: Utah State University, USA Agency for International Development, 55 p, 1974.

JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph, ASAE, 1983, 829 p.

JONES, O. R. Yield, water-use efficiency, and oil concentration and quality of drayland sunflower grown in the southern high plains. **Agronomy Journal**, Madisson, v.76, p. 229-235, 1984.

KRAMER, P. J. Transpiration. In: **Water relations of plant**. San Diego: Academic Press, 1983. p. 291-340.

LIMA, A. D. **Interação entre lâmina de irrigação e coberturas do solo, e adubação borácica na cultura do girassol**. 73 p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

LUCHIARI Jr., A. **Measurements and predictions of evapotranspiration rates from irrigated wheat in the Cerrado region of Central Brazil**. Ithaca, 1988. 171p. Thesis (PhD) - Cornell University.

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

MALAVOLTA, E.; CROMODO, O.J. Funções do potássio nas plantas. In: YAMADA, T. *et al.* Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, 1982. p. 95-162.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas, nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 2009. 486 p. Inclui apêndice e índice. ISBN 978-85- 7269-359-2.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic, 1995. 889p.

MASSIGNAM, A. M.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia na estimativa da duração dos subperíodos de desenvolvimento de três cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p. 71-79, 1993.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J.L.; RESTLE, J.; NEUMANN, M.; QUEIROZ, A.C.; COSTA, P.B.; MAGALHÃES, A.L.R.; DAVID, D.B. de. Características fenológicas, produtivas e qualitativas de girassol em diferentes épocas de semeadura para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.3, p.672 - 682, 2006.

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 Agrícola**, v.56, n.4, p.1035-1044, out./dez. 1999. Suplemento.

MESQUITA, J. B. R. de. **Manejo da cultura do gergelim submetido a diferentes lâminas de irrigação, doses de nitrogênio e de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MIFLIN, B. J.; LEA, P. J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. **Phytochemistry**, New York, v.15, p.873-885, 1976.

MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. de M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. 410 p. (Série Engenharia Agrícola, 1).

MONTEITH, J. L. **Conservative behavior in the response of crops to water and light.** p. 3-16. In: R. Rabbinge et al. (editor) *Theoretical production ecology: Reflections and prospects.* Pudoc, Wageningen, 1990.

MONTEITH, J. L. Evaporation from land surfaces: progress in analysis and prediction since 1948. In: **NATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN EVAPOTRANSPIRATION**, Chicago, 1985. Proceedings. Saint Joseph: ASAE, p. 4-12, 1985.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. **Symposium of the Society for Experimental Biology**, v. 19, p. 205-234, 1965.

MOREIRA, L. G.; VIANA, T. V. A.; MARINHO, A. B.; NOBRE, J. G. A.; LIMA, A. D.; ALBUQUERQUE, A. H. P. Efeitos de diferentes lâminas de irrigação na produtividade da mamoneira variedade IAC Guarani. **Revista Brasileira de Ciência Agrária**. Recife, v.4, n.4, p.449-455, 2009.

NOBRE, J. G. A.; VIANA, T. V. A.; MOREIRA, L. G.; ALBUQUERQUE, A. H. P.; AZEVEDO, B. M.; LIMA, A. D. Influência da fertirrigação potássica na produtividade da mamoneira. *Revista Brasileira de Agricultura irrigada*, v.4, n.4, p. 207-216, 2010.

OKE, T. R. **Boundary layer climates.** 2. ed., London: Routledge, 435 p, 1992.

OLIVEIRA, J. G. A. **Manejo do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação.** 2008. 76f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MELO, P. C. Resposta do Pinhão- Manso à aplicação de níveis de irrigação e doses de adubação potássica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.6, p.593-598, 2012.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 440 p, 1981.

PEREIRA, A. R. **Introdução a micrometeorologia.** Piracicaba: ESALQ / USP, 70 p, 1996.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDYIAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ / USP, 183 p, 1997.

PHENE, C. J.; FOUSS, J. L.; SANDERS, D. C. Water nutrient herbicide management of potatoes with trickle irrigation. **American Potato Journal**, Orono, v. 56, p. 51-59, 1979.

PINTO, O. R de O. **Manejo do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicados pelo método convencional e por fertirrigação**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará. 75 p. 2008.

PIRES, J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL. B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 41-50, jan.2002.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos. 342 p. 1991.

RAWSON, H. M.; HINDMARSH, J. H. Effects of temperature on leaf expansion in sunflower. **Aust. J. Plant Physiology.**, v.9, p. 209-219, 1982.

REGO, J. L.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M.; BASTOS, F. G. C.; GONDIM, R. S. Efeitos de níveis de irrigação sobre a cultura do crisântemo. **Revista Ciência Agrônômica**. Fortaleza: v.35, n.2, p.302 – 308, 2004.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba, 1990. 188 p.

ROBINSON, R. G. Production and culture. In: **Sunflower Science and Technology**. Ed. J. F Carter, Madison, American Society of Agronomy, no. 19, p.89-143. 1978.

RÖMHELD, V. Role of potassium, calcium, magnesium and phosphorus on disease resistance. In: **Simpósio sobre relações entre nutrição mineral e incidência de doenças de plantas**, Piracicaba, 2005.

ROSENBERG, J. P. **Microclimate**: the biological environment. New York: Jonh Wiley, 315 p, 1974.

SACHS, L. G.; PORTUGAL, A. P.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H.; IDA, E. I.; SACHS, P. J. D.; SACHS, J. P. D. Efeito de NPK na produtividade e componentes

químicos do girassol. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 533-546, out/dez, 2006.

SAMENI, A. M.; MAFTOUN, M.; HOJJATTI, S. M.; SHEIBANY, B. Effect of fertilizer-N and herbicides on the growth and N content of sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 285-288, 1976.

SANCHES, N.F.; DANTAS, J.L.L. **O cultivo do mamão**. Circular Técnica, 34. EMBRAPA, 105 p., 1999.

SANTOS, A. C dos, ANDRADE, A. P de, LIMA, J. R. de S., SILVA, I. de F. da, CAVALCANTE, V. R. Variabilidade temporal da precipitação pluvial: Nível de nitrogênio no solo e produtividade de cultivares de girassol. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 5, p. 757-764, 2002.

SANTOS, D. M. M. **Nutrição Mineral**. Apostila de Fisiologia Vegetal. UNESP. Jaboticabal, 13 p. 2004.

SAMPAIO, R. A.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, J. R.; SEDIYAMA, C. S. Resposta do tomateiro à fertirrigação potássica e cobertura plástica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n. 1, p. 21 – 30, 1999.

SARMENTO, D. H. A. Produção e evapotranspiração do girassol submetido a diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água. 2011. 61 p. Dissertação – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – RN.

SEDIYAMA, G. C. **Necessidades de água para os cultivos**. Brasília: ABEAS, 143 p, 1988.

SENTELHAS, P. C.; NOGUEIRA, S. S. S.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; SANTOS, R. R. Temperatura-base e graus-dia para cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, p. 43-49, 1994.

SFREDO, G. J.; CAMPO, R. J.; SARRUGE, J. R. **Girassol: nutrição mineral e adubação**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1984. 36 p. (Circular técnica, 8).

SILVA, M. de L. O; FARIA, M. A. de; REIS, R. P.; SANTANA, M. J. de; MATTIOLI, W. Viabilidade técnica e econômica do cultivo de safrinha do girassol irrigado na região de Lavras, MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 200-205, jan-fev., 2007.

SILVA, M de L.O., FARIA, M. A de, MORAIS, A. R de, ANDRADE, G.P., LIMA, E.M de. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 482-488, 2007.

SILVEIRA, R. L. V. de 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. 2006.

SMIDERLE, O. J. **Orientações gerais para o cultivo do girassol em Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2000. (Embrapa informa, 8).

SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO, 45 p, 1991.

SOUSA, G. G. **Manejos da irrigação e da adubação potássica pelo método convencional e fertirrigado na cultura do amendoim**. 2011. 82f. Tese (Doutorado em irrigação e drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SOUSA, A. E. C.; BEZERRA, F. M. L.; SOUSA, C. H. C.; SANTOS, F. S. S. Produtividade do meloeiro sob lâminas de irrigação e adubação potássica. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 2, p. 271-278, mar/abr, 2010.

SOUSA, V. F.; BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; VASCONCELOS, L. F. L.; VELOSO, M. E. C.; OLIVEIRA, A. S. da.; AGUIAR NETTO, A. O. **Irrigação e fertirrigação do maracujazeiro**. Teresina: Embrapa Meio - Norte, 2001. 46p. : il p. (Embrapa Meio Norte. Circular Técnica,32).

TANNER, C. B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. **Soil Science Society of America Journal**. v. 24, p. 1-9, 1960.

THOM, A. S.; OLIVER, H. R. On Penman's equation for estimating regional evaporation. London: **Quarterly Journal of Royal Meteorology Society**, v. 103, p. 345-357, 1977.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

UCHÔA, S. C. P.; IVANOFF, M. E. de A.; ALVES, J. M. A.; SEDIYAMA, T.; MARTINS, S. A. Adubação de potássio em cobertura nos componentes de produção de cultivares de girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.1, p.8-15, jan/mar, 2011.

UNGARO, M. R. G. Cultura do girassol. **Boletim Técnico do Instituto Agronômico**, Campinas, 2000. v. 188, p. 1-36, 2000.

UNGARO, M. R. G. Comportamento de introduções de girassol plantadas em diferentes épocas e locais do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico n. 103**. Campinas, Instituto Agronômico, 16p. 1986a.

UNGER, P. W. Sunflower. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. Irrigation of agricultural crops. **Agronomy Series**, Wisconsin, n. 30, p. 775-794. 1990.

VILLALBA, E. O. H. **Recomendação de nitrogênio, fósforo e potássio para o Girassol sob sistema de plantio direto no Paraguai** (Dissertação de mestrado). Santa Maria-RS. 82p. 2008.

VILLA NOVA, N. A. **Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz**. Piracicaba, 1973. 78p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

VILLA NOVA, N. A.; REICHARDT, K. Evaporação e evapotranspiração. In: RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A. G.; VILLA NOVA, N. A.; REICHARDT, K.; MAGALHÃES, P. C.; CLEARY, R. W. **Engenharia hidrológica**. Rio de Janeiro: ABRH, 1989. cap. 3, p. 145-197. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 2).

VRANCEANU, A. V.; **El girassol**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 379 p, 1977.

WEISS, E. A. **Sunflower**. In: WEISS, E. A. Oilseed crops. New York: Longman, cap.9, p. 409-462, 1983.

ZAGONEL, J.; MUNDSTOCK, C. M. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura em duas cultivares de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 1487-1492, 1991.