

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

JOSÉ BRUNO REGO DE MESQUITA

**MANEJO DA CULTURA DO GERGELIM SUBMETIDA A DIFERENTES
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO, DOSES DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO
APLICADAS PELO MÉTODO CONVENCIONAL E POR FERTIRRIGAÇÃO**

FORTALEZA – CE

2010

JOSÉ BRUNO REGO DE MESQUITA

**MANEJO DA CULTURA DO GERGELIM SUBMETIDA A DIFERENTES
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO, DOSES DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO
APLICADAS PELO MÉTODO CONVENCIONAL E POR FERTIRRIGAÇÃO**

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

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

FORTALEZA – CE

2010

M543m Mesquita, José Bruno Rego de
Manejo da cultura do gergelim submetida a diferentes lâminas de irrigação, doses de nitrogênio e de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação / José Bruno Rego de Mesquita, 2010.
82 f ; il., color. enc.

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

Área de Concentração: Irrigação e drenagem

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Depto. de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2010.

1. Gergelim. 2. Fertirrigação. 3. Quimigação. I. Azevedo, Benito Moreira de (Orient.). II. Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 630

JOSÉ BRUNO REGO DE MESQUITA

**MANEJO DA CULTURA DO GERGELIM SUBMETIDA A DIFERENTES
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO
APLICADAS PELO MÉTODO CONVENCIONAL E POR FERTIRRIGAÇÃO**

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

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Aprovada em: 12 de março de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo (Orientador)

Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Luís de França Camboim Neto (Co-Orientador)

Universidade Federal do Ceará

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

Universidade Estadual do Piauí

À minha esposa Maria Tagiana Araújo Rocha
pelo amor, companheirismo, força, compreensão,
apoio e carinho.

DEDICO

Aos meus pais José Júlio de Mesquita Neto e Luciene Maria Rego de Mesquita, por todo apoio que me deram até que eu alcançasse este momento. Aos meus irmãos Bruna Rego de Mesquita e José Breno Rego de Mesquita, pela amizade e companheirismo.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois sempre guiou os meus passos.

A minha querida esposa, pelo carinho, respeito, amizade, apoio, companheirismo e por está sempre presente em todos os momentos, alegres e tristes, em que precisei nesses seis anos de relacionamento.

A Universidade Federal do Ceará, minha casa há sete anos, onde eu pude adquirir toda minha bagagem de conhecimento nas áreas de ensino e pesquisa.

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

Ao Prof. Benito, pela orientação, apoio, incentivo, conselhos, que vem me dando desde a graduação, e que certamente contribuirão de forma significativa para o meu crescimento como pessoa e como profissional.

Ao Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana, que sempre me ajudou com o que eu precisei para a realização deste trabalho. A todos da Estação Agrometeorológica da UFC, pelo auxílio a mim concedido: Carlos, Crisóstomo, vigilantes e principalmente a dona Marilac, com suas merendas, sempre gostosas, no meio da manhã.

A Prof. Dra. Albanise Barbosa Marinho, que me ajudou prontamente, e com muita simpatia tirava minhas dúvidas e dava conselhos.

A todos os meus amigos de graduação, pós-graduação e colegas que fazem parte da equipe de trabalho (toda a turma da salinha do DENA), muito obrigado pelos momentos de alegria, descontração, amizade e companheirismo. Em especial aos colegas: Newdmar, Erlanyson, Rufino, que um pouco mais que os outros, colocaram a mão na massa para a realização desse trabalho, desde a instalação em campo até a coleta dos dados.

Ao Prof. Dr. Luís de França Camboim Neto, pela co-orientação e amizade, estando sempre pronto a cooperar e contribuir com a normalização do trabalho.

Ao Prof. Dr. Luís Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior, que tão gentilmente aceitou o convite de participar da defesa, e que contribuiu com muitas observações visando à melhoria do trabalho.

RESUMO

MESQUITA, José Bruno Rego de, Universidade Federal do Ceará. Março de 2010. **Manejo da cultura do gergelim submetida a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio e potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação.** Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo. Conselheiros: Prof. Dr. Luís de França Camboim Neto, Prof. Dr. Luís Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior.

O gergelim, uma das plantas oleaginosas mais antigas e utilizadas pela humanidade, apresenta grande potencial econômico. Com os incentivos, em utilizar o biodiesel na matriz energética nacional, o gergelim surge como uma cultura que apresenta viabilidade técnico-ambiental para produção de biocombustíveis devido ao fato de suas sementes conterem cerca de 50% de óleo de excelente qualidade. O experimento foi conduzido na área experimental da Estação Agrometeorológica, pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC). O solo da região é um, argissolo vermelho-amarelo de textura areia franca. A cultura utilizada no experimento foi o gergelim, variedade Seda. A irrigação do experimento foi do tipo localizada por gotejamento, contendo um cabeçal de controle com motobomba auxiliar para injeção de fertilizantes. A área total cultivada com gergelim possuía 602 m², sendo em três subáreas contendo 172 m² cada. O primeiro experimento consistiu em avaliar diferentes doses de N aplicadas de maneira convencional e fertirrigada. Os tratamentos foram divididos em: T1 – 0,0 kg ha⁻¹(controle); T2 – 62,5 kg ha⁻¹(fert); T3 – 62,5 kg ha⁻¹(conv); T4 – 125,0 kg ha⁻¹(fert); T5 – 125,0 kg ha⁻¹(conv); T6 – 250,0 kg ha⁻¹(fert); T7 – 250,0 kg ha⁻¹(conv). O segundo experimento consistiu em avaliar diferentes doses de K aplicadas de maneira convencional e fertirrigada. Os tratamentos foram divididos em: T1 – 0,0 kg ha⁻¹(controle); T2 – 75 kg ha⁻¹(fert); T3 – 75 kg ha⁻¹(conv); T4 – 150 kg ha⁻¹(fert); T5 – 150 kg ha⁻¹(conv); T6 – 300 kg ha⁻¹(fert); T7 – 300 kg ha⁻¹(conv). O terceiro experimento consistiu na aplicação de cinco lâminas de irrigação com base na ETo de PM, da seguinte forma: T1 – 25% PM; T2 – 50% PM; T3 – 75% PM; T4 – 100% PM; T5 – 150% PM. O delineamento utilizado nos experimentos foram blocos casualizados. Em relação às doses de adubação e as formas de aplicação com N, a fertirrigação foi superior em relação à forma convencional. As variáveis: peso seco da planta, número de cápsulas por planta e produtividade apresentaram efeitos significativos em relação às duas formas de aplicação, ajustando-se a um modelo polinomial de segundo grau. Em relação às doses de adubação e as formas de aplicação de K, a adubação convencional apresentou resultados melhores em relação à fertirrigação quando aplicada a dose recomendada e a metade da mesma. As variáveis: peso seco da planta, altura da planta, número de cápsulas da planta e produtividade mostraram efeitos significativos com relação às duas formas de aplicação de K, ajustando-se a um modelo polinomial de segundo grau. As lâminas de irrigação apresentaram efeito significativo para as variáveis: peso seco da planta, altura da planta, número de cápsulas da planta e produtividade, ajustando-se ao modelo polinomial do segundo grau. A dose de adubo nitrogenado que maximizou a produção do gergelim foi a de 183,76 kg ha⁻¹. A dose de K que maximizou a produtividade e as outras variáveis analisadas foi próxima à recomendada. A lâmina de irrigação que maximizou a produtividade do gergelim foi estimada em 116,5% com base na ETo de PM.

Palavras-chave: *Sesamum indicum* L. Quimificação. Adubação.

ABSTRACT

MESQUITA, José Bruno Rego de, Universidade Federal do Ceará. March 2010. **Management of the Sesame seed plant cultivation subjected to different irrigation depths and to different nitrogen and potassium fertilization rates, applied conventionally and by fertigation.** Advisor: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo. Committee members: Prof. Dr. Luís de França Camboim Neto, Prof. Dr. Luís Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior.

The sesame seed plant, one of the oldest and most used oil plants, still has great undeveloped economic potential. When one considers the incentives to use biodiesel in the Brazilian energy matrix, sesame emerges as a culture that offers technical and environmental feasibility for biofuel production with its 50% of high quality oil. The experiment was conducted at the Experimental Area of the AgroMeteorological Station (of the Universidade Federal do Ceará (UFC)). The soil of the region is a red-yellow, sand textured, acrisol. The culture used in the experiment was the Seda sesame variety. The irrigation of the experiment was done by localized drip with a control hub with auxiliary pump for fertilizer injection. The total area cultivated (with sesame) had 602 m², including three sub-areas of 172 m² each. The first experiment consisted in evaluating the effects of different rates of N applied in the conventional manner and fertigated. The treatments were divided into T1 - 0.0 kg ha⁻¹ (control), T2 - 62.5 kg ha⁻¹ (fert), T3 - 62.5 kg ha⁻¹ (conv), T4 - 125.0 kg ha⁻¹ (fert), T5 - 125.0 kg ha⁻¹ (conv), T6 - 250.0 kg ha⁻¹ (fert), T7 - 250.0 kg ha⁻¹ (conv). The second experiment was to evaluate the effects of different K fertilization rates in the conventional manner and by fertigation. The treatments were divided into T1 - 0.0 kg ha⁻¹ (control), T2 - 75 kg ha⁻¹ (fert), T3 - 75 kg ha⁻¹ (conv), T4 - 150 kg ha⁻¹ (fert) T5 - 150 kg ha⁻¹ (conv); T6 - 300 kg ha⁻¹ (fert) T7 - 300 kg ha⁻¹ (conv). The third experiment consisted of five irrigation depths based on the reference Evapotranspiration calculated by the Penman Monteith methods (PM), as follows: T1 - 25% PM, T2 - 50% PM, T3 - 75% PM, T4 - 100% PM; T5 - 150% PM. The design used in the experiments was randomized blocks. Regarding Nitrogen fertilization rates and Nitrogen application methods, it was verified that the weight of dry plant, number of capsules per plant and yield were significant for the two forms of application, adjusting to a second degree polynomial model. Based on which, it was concluded that that (for N) fertigation was superior to the conventional way, and that the rate of nitrogen fertilization that maximizes the production of sesame was 183.76 kg ha⁻¹. Regarding K fertilization rates and application forms of K, the variables dry weight of plant, plant height, number of capsules and plant productivity showed significant effects with respect to both forms of K application, adjusting to a second degree polynomial model. Based on which, it was found that (for K) the conventional fertilization showed better results than the fertigation, when applied at the recommended rate and when applied at half that rate, and that the amount of K that maximized productivity and other variables was close to the recommended one. As to irrigation depth, the different irrigation depths showed significant effects on plant dry weight, plant height, number of capsules and plant productivity, adjusting to the second degree polynomial model. Based on that, the water depth that maximizes the productivity of sesame was estimated at 116.5% of the PM (Penman-Monteith reference Evapotranspiration).

Keywords: *Sesamum indicum* L. Quimigation. Fertilization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Localização da área experimental, Fortaleza, Ceará, 2009.	29
FIGURA 2	Cabeçal de controle e sistema de injeção de fertilizantes, Fortaleza, Ceará, 2009.....	33
FIGURA 3	Layout do sistema de irrigação utilizado nos experimentos, Fortaleza, Ceará, 2009	33
FIGURA 4	Semeadura e adubação de fundação da cultura (a); plantas com 30 dias de idade, espaçadas em 1,0 m x 0,20 m (b); início do florescimento, (c) plantas secando ao ar livre (d), Fortaleza, Ceará, 2009.....	36
FIGURA 5	Área total do experimento, para instalação dos experimentos com a cultura do gergelim, Fortaleza, Ceará, 2009.....	37
FIGURA 6	Plantas com idade de 30 dias de semeadas, Fortaleza, Ceará, 2009.....	38
FIGURA 7	Layout do experimento de lâminas de irrigação, detalhando os tratamentos e os blocos, Fortaleza, Ceará, 2009.....	40
FIGURA 8	Layout do experimento de distintas doses e formas aplicação de N e K, detalhando os tratamentos e os blocos, Fortaleza, Ceará, 2009.	41
FIGURA 9	Peso seco da planta de gergelim em função de lâminas de irrigação com base na ETo de PM, Fortaleza, Ceará, 2009.....	46
FIGURA 10	Altura da planta de gergelim em função de lâminas de irrigação com base na ETo de PM, Fortaleza, Ceará, 2009.....	47
FIGURA 11	Número de cápsula da planta de gergelim em função de lâminas de irrigação com base na ETo de PM, Fortaleza, Ceará, 2009.....	48
FIGURA 12	Produtividade do gergelim em função de lâminas de irrigação com base na ETo de PM, Fortaleza, Ceará, 2009.....	49
FIGURA 13	Peso seco do gergelim em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2009	54
FIGURA 14	Número de cápsulas por planta de gergelim em função da dose de nitrogênio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009 ...	54
FIGURA 15	Produtividade do gergelim em função da dose de nitrogênio aplicada pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.....	55
FIGURA 16	Peso seco da planta de gergelim em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009.....	57

FIGURA 17	Altura da planta de gergelim em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009	58
FIGURA 18	Número de cápsulas por planta de gergelim em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009	59
FIGURA 19	Produtividade do gergelim em função da dose crescente de nitrogênio aplicada via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009	60
FIGURA 20	Peso seco da planta de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009	64
FIGURA 21	Altura da planta de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009	65
FIGURA 22	Número de cápsulas de gergelim em função de doses crescentes de potássio pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009	66
FIGURA 23	Produtividade do gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009	66
FIGURA 24	Peso seco da planta de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009	69
FIGURA 25	Altura da planta de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009	69
FIGURA 26	Peso das cápsulas de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009	70
FIGURA 27	Número de cápsulas de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009	71
FIGURA 28	Produtividade do gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Dados climáticos observados durante a condução dos experimentos, Fortaleza, Ceará, 2009	30
TABELA 2	Análise físico-hídrica do solo da área experimental, na camada de 0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, 2009.....	31
TABELA 3	Análise química do solo da área experimental, da camada de 0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, 2009	31
TABELA 4	Percentuais de ETo utilizadas no experimento de lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2009	40
TABELA 5	Calendário de aplicação do adubo nitrogenado via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009	41
TABELA 6	Descrição dos tratamentos, das quantidades de N aplicado e forma de aplicação dos tratamentos, Fortaleza, Ceará, 2009.....	42
TABELA 7	Descrição dos tratamentos, das quantidades de K aplicado e forma de aplicação dos tratamentos, Fortaleza, Ceará, 2009.....	43
TABELA 8	Modelo esquemático da análise de variância, Fortaleza, Ceará, 2009	44
TABELA 9	Análise de variância dos dados de peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e Produtividade (PROD.) de gergelim, submetido a diferentes lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2009.....	45
TABELA 10	Resumo da análise de variância das variáveis: peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e Produtividade (PROD) do gergelim, submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas de forma convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009	50
TABELA 11	Dados de Produtividade (PROD), peso seco da planta (PS) e número de cápsulas por planta (NCP) do gergelim submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009	52

TABELA 12	Análise de variância dos dados de peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e produtividade (PROD) do gergelim, submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2009	53
TABELA 13	Análise de variância dos dados de peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e produtividade (PROD) do gergelim, submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009	57
TABELA 14	Análise de variância das variáveis: peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e Produtividade (PROD.), na cultura do gergelim, submetido a diferentes doses de potássio aplicadas de forma convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009	61
TABELA 15	Dados de Produtividade (PROD), peso seco da planta (PS) e número de cápsulas por planta (NCP) e altura de planta (AP) de gergelim submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009.....	63
TABELA 16	Análise de variância dos dados de peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e Produtividade (PROD.) de gergelim, submetido a diferentes doses de potássio, aplicadas de maneira convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.....	64
TABELA 17	Análise de variância dos dados de peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e Produtividade (PROD.) de gergelim, submetido a diferentes doses de potássio, aplicadas via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	Cultura do gergelim	16
2.2	Manejo da irrigação	19
2.3	Manejo da adubação	20
2.3.1	Adubação nitrogenada	21
2.3.2	Adubação potássica	22
2.4	Quimigação	24
2.4.1	Fertirrigação.....	25
2.5	Função de produção	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Caracterizações da área experimental.....	29
3.1.1	Localização da área experimental.....	29
3.1.2	Clima	30
3.1.3	Solo.....	30
3.2	Cultura.....	31
3.3	Preparo da área	32
3.4	Sistema e manejo da irrigação.....	32
3.5	Plantio, tratos culturais e adubação da cultura	35
3.6	Área experimental	37
3.6.1	Experimentos	38
3.6.1.1	Experimento I: Lâminas de irrigação (Penman-Monteith).....	39
3.6.1.2	Experimento II: Doses de nitrogênio e formas de aplicação	40
3.6.1.3	Experimento III: Doses de K ₂ O e formas de aplicação	42
3.7	Variáveis avaliadas	43
3.8	Análise estatística.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	Experimento I: Lâminas de irrigação (Penman-Monteith).....	45
4.2	ExperimentoII: Doses de nitrogênio e formas de aplicação	50
4.2.1	Adubação nitrogenada pelo método convencional e por fertirrigação	50
4.2.2	Adubação nitrogenada no método convencional.....	53

4.2.3	Adubação nitrogenada via fertirrigação	56
4.3	Experimento III: Doses de K₂O e formas de aplicação	61
4.3.1	Adubação potássica pelo método convencional e por fertirrigação	61
4.3.2	Adubação potássica no método convencional	63
4.3.3	Adubação potássica via fertirrigação.....	67
5	CONCLUSÃO.....	73
	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum L.*) é uma das plantas oleaginosas mais antigas e usadas pela humanidade, sendo a nona oleaginosa mais cultivada no mundo. O cultivo do gergelim apresenta grande potencial econômico, devido às possibilidades de exploração, tanto no mercado nacional como no internacional. O gergelim passou a ser cultivado comercialmente no Nordeste do Brasil a partir da década de 80, principalmente como uma alternativa para redução da produção do algodão.

Com o recente incentivo do governo Federal, em utilizar o biodiesel na matriz energética nacional, através de sua adição ao óleo diesel comercializado, as oleaginosas surgem como fonte de energia renovável com a finalidade de suprir às necessidades de preservação do meio ambiente. E, dentre estas culturas, o gergelim pode vir a ser uma alternativa para a produção de biocombustíveis, uma vez que a cultura é uma alternativa para o sistema produtivo, podendo competir com outras oleaginosas, principalmente devido ao fato de suas sementes conterem cerca de 50% de óleo de excelente qualidade.

Para se alcançar objetivos produtivos positivos, é necessário pensar num bom manejo da cultura no campo, para que a mesma possa atingir todo o seu potencial. E conhecermos as necessidades de consumo de água e nutrientes é fundamental, uma vez que o correto manejo da água as culturas viabiliza a produção, regularizando e complementando o uso do solo e gera aumento de produtividade. E um bom manejo da adubação possibilita aumentar a produtividade agrícola e a rentabilidade das lavouras, embora represente um custo significativo para o agricultor e possa também aumentar em muito o risco do investimento, caso o manejo não seja adequado.

Para que não haja a possibilidade de perda do nutriente no perfil do solo, sem que a planta venha a aproveitar, parcelar a aplicação dos adubos acaba sendo a melhor estratégia. Uma técnica muito empregada no Brasil é a fertirrigação, onde a água e os nutrientes são fornecidos para as plantas concomitantemente. É um complemento da adubação, e pode apresentar vantagem em relação à adubação convencional como: o melhor aproveitamento do sistema de irrigação, menor custo com mão-de-obra, menor compactação da área plantada e menor danos físicos as culturas.

Diante do exposto, o trabalho teve como objetivos: avaliar os efeitos de diferentes lâminas de irrigação, doses de nitrogênio e de potássio aplicadas de forma convencional e por fertirrigação, na cultura do gergelim.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do gergelim

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma planta oleaginosa, considerada de origem africana, porque nesse continente é onde se encontra a maioria das espécies silvestres do gênero *Sesamum*. Apesar de que, na Ásia está uma riqueza maior de formas e variedades das espécies cultivadas deste gênero. O gergelim é a nona oleaginosa mais plantada no mundo, ocupando uma área cultivada em torno de 6 milhões de hectares com rendimento médio de 400 kg ha⁻¹ de sementes. É uma excelente opção para o semiárido nordestino, podendo servir como alternativa de renda e fonte protéica para os pequenos e médios produtores. Além de que, uma melhoria no sistema de produção que ofereça maior rendimento à cultura nos diferentes ecossistemas onde possa ser plantada, contribuirá para o seu aumento produtivo e redução da necessidade de importação do grão ou óleo (FIRMINO, 2001; FIRMINO *et al.*, 2003).

No Brasil, o gergelim foi trazido nas caravelas portuguesas no século XVI. E, no Nordeste, só a partir de 1986 passou a ser cultivado comercialmente, como uma alternativa a cultura do algodão, que apresentava uma drástica redução de cultivo, embora já viesse sendo cultivado no centro-sul do Brasil a mais de 40 anos, principalmente em São Paulo, de onde atendia ao segmento agroindustrial oleaginoso, indústria de doces, restaurantes, casas de comidas naturais e alimentos *in natura* (ARAÚJO *et al.*, 1999).

O cultivo do gergelim, embora com produtividade inferior a maioria das oleaginosas cultivadas, como por exemplo, soja, coco, dendê, amendoim, girassol e mamona (1.712,5; 3.533,4; 5.572,1; 1.671,9; 1.000,0; 530,3 kg ha⁻¹, respectivamente) merece um grande incentivo na sua exploração, por representar uma excelente opção agrícola ao alcance do pequeno e médio produtor, já que esta cultura exige práticas agrícolas simples e de fácil assimilação (BARROS *et al.*, 2001).

O gergelim possui grande heterogeneidade de características morfológicas, podendo ser anual ou perene, com uma diferença de altura variando de 0,50 a 3,00 m, possuindo caule ereto, com ou sem ramificações e podendo ou não apresentar pelos (tricomias). Apresenta sistema radicular do tipo pivotante, com folhas alternadas ou opostas, sendo as da parte inferior da planta adulta mais largas, irregularmente dentadas ou lobadas, ao

passo que as da parte superior são lanceoladas. As flores são completas e axilares, podendo variar de 1 a 3 por axila foliar. Seu fruto é uma cápsula, alongada, pilosa e deiscente (abrindo-se ao atingir a maturação) ou indeiscente, com comprimento variando de 2 a 8 cm, dependendo da variedade e do sistema de cultivo. As sementes são bem pequenas, com 1000 sementes pesando de 2 a 4 g, dependendo da cultivar e do ambiente, variando também na cor, onde se encontram desde sementes brancas até pretas, sendo as primeiras as mais aceitas no mercado (BELTRÃO *et al.*, 2001).

O gergelim é uma espécie de distribuição tropical e subtropical, e considerada tolerante à seca. Sua produção no Brasil é proveniente de pequenos e médios agricultores, exercendo, portanto, uma apreciável função social, já que os grãos de gergelim são fonte de excelente óleo comestível, de grande estabilidade e resistente à rancificação, comparado a outros óleos. Esta espécie também exerce importante papel econômico, uma vez, que suas sementes também são utilizadas na indústria alimentícia (confeção de massas, doces, tortas e consumo *in natura*), de tintas, sabões, cosméticos e remédios (GODOY *et al.*, 1985; SAVY FILHO; BANZATO; VEIGA, 1988; RAM *et al.*, 1990; SAVY FILHO; BANZATO; CAMARGO, 1998). Os grãos inteiros, apenas decorticados (despeliculados) e polidos, são muito utilizados como confeito no pão de hambúrguer e em outros produtos da panificação. A diversificação do uso e o aumento do consumo acarretaram uma significativa demanda por melhores informações sobre o seu cultivo, visando ao aumento da produção e à redução das importações.

O rendimento e a época de colheita do gergelim podem variar fortemente com o ano agrícola, numa mesma cultivar e/ou região de produção (LAGO *et al.*, 1994). As regiões brasileiras que atualmente mais produzem gergelim são: os estados de Goiás e Mato Grosso, no triângulo mineiro em Minas Gerais e na região Nordeste (BARROS, 2001).

O gergelim deve ser propagado, comercialmente, por sementes, por serem pequenas devem ser lançadas em solo bem preparado, objetivando-se facilitar a emergência das plântulas, promover seu estabelecimento rápido e evitar a competição de ervas. A época de plantio varia de acordo com a cultivar: para cultivares de ciclo longo (4-6 meses) recomenda-se o plantio no início das chuvas. Nos estados do Nordeste, recomenda-se o plantio após a definição da estação chuvosa, quando ocorrerem precipitações de pelo menos 40 a 50 mm, que possibilitem o preparo do solo e o estabelecimento inicial das plântulas. Nas demais regiões do Brasil, especialmente Centro-Oeste e Sudeste, onde o período chuvoso é bem definido, o gergelim pode ser usado como primeira ou segunda cultura, conforme o

interesse do produtor (BELTRÃO *et al.*, 2001). Como tem boa tolerância à seca, sua utilização na “safrinha”, como cultura secundária, pode ser uma boa opção.

O gergelim é uma cultura de baixa produtividade média, muitas vezes inferior a 400 kg ha⁻¹ de sementes, podendo o produtor alcançar produtividades maiores se utilizar cultivares mais produtivas e realizar um manejo adequado da cultura no campo como: um bom preparo do solo, uso correto de fertilizantes e corretivos, e o controle rigoroso de plantas daninhas (BELTRÃO; FREIRE; LIMA, 1994).

O cultivo do gergelim no Brasil é restrito, limitando a expansão da cultura e a operação de colheita, totalmente manual. Com a falta de programa de produção de sementes é ponto importante para o sucesso da cultura, já que as sementes que estão sendo plantadas são materiais descaracterizados quanto à origem, sendo oriunda das lavouras dos próprios produtores (ARRIEL *et al.*, 2006).

Uma adequada disponibilidade de água durante o período da germinação à emergência é necessária para a obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. A fase da planta mais sensível ao déficit hídrico é do início da formação das cápsulas ao começo da floração: afeta mais o rendimento de grãos, e a formação e enchimento de grãos e a produção de óleo (TECPAR, 2007).

De uma forma bastante prática, a fase mais crítica ao déficit hídrico é o período compreendido entre 10 dias antes do início do florescimento e 10 dias após o final da floração. Castro *et al.* (1997) verificaram que plantas de girassol que sofreram estresse hídrico a partir do início do florescimento ou no enchimento de aquênios tiveram menor produção de matéria seca total, de aquênios e de óleo.

O gergelim prefere solos profundos com textura franca, bem drenados e de boa fertilidade natural (macro e micronutrientes) e nunca solos salinos. A planta pode crescer/desenvolver-se em tipos diversos de solos sem atingir a plenitude observada nos solos preferenciais. Os solos devem apresentar reação neutra - pH próximo a 7, não tolerando, a planta, aqueles com pH abaixo de 5,5 ou acima de 8, é extremamente sensível à salinidade e alcalinidade (por sódio trocável). Em regiões semi-áridas do Nordeste (Seridó, Cariri, Sertão) os solos são razoáveis para o cultivo do gergelim que é uma planta sensível ao encharcamento e à saturação hídrica do solo. O gergelim também extrai do solo quantidades elevadas de N, P e K, (BELTRÃO *et al.*, 2001), razão esta de ser uma planta comumente conhecida como esgotante de solo (BELTRÃO; FREIRE; LIMA, 1994). A cultura absorve pouco N-P-K até o trigésimo dia após o plantio, a partir daí os requerimentos da planta por esses nutrientes

crecem rapidamente, alcançando uma demanda máxima de N aos 74 dias, de P dos 60 aos 90 dias e de K, depois dos 35 dias, crescendo até o final do ciclo (ARRIEL *et al.*, 2006).

2.2 Manejo da irrigação

Dentre os diversos usos dos recursos hídricos, a irrigação destaca-se pela importância socioeconômica em regiões agrícolas áridas e semi-áridas, onde é praticada para suplementar a precipitação natural no atendimento das necessidades hídricas das culturas (FARIAS *et al.*, 2000).

O emprego da irrigação na agricultura viabiliza a produção, regulariza e complementa o uso do solo, aumentando a produtividade das culturas. Em certos casos, o sucesso da plantação depende em muito da irrigação suplementar durante o período crítico da cultura, sendo muito comum em zonas sujeitas à estiagem prolongada efetuar-se até três plantios consecutivos e estas plantações ficam sujeitas aos azares e deficiências de água, que são perfeitamente suplementadas utilizando sistemas de irrigação adequados, tornando-se assim fator preponderante para a segurança da colheita (BASTOS, 1991 p. 10).

Segundo Souza *et al.* (1997), o manejo da irrigação em culturas irrigadas tem como ponto chave decidir como, quanto e quando irrigar. Além disso, a quantidade de água a ser aplicada é normalmente determinada pela necessidade hídrica da cultura, podendo ser estimada através da evapotranspiração ou por meio da tensão de água no solo.

Para se alcançar todos os objetivos da prática de irrigação, os quais englobam a maximização da produção, racionalização do uso da mão-de-obra, energia, água e fertilizante, e a aplicação correta da água, é indispensável adotar um correto manejo da irrigação (MIRANDA; PIRES, 2003). De acordo com estes autores, o manejo da irrigação consiste na determinação de quanto, quando e como se aplicar a água, levando em conta diversos aspectos do sistema produtivo, como a adubação (fertirrigação), controle fitossanitário (quimigação), informações climatológicas e econômicas, e manejos e estratégias de condução da cultura.

Na visão integrada, o conceito de manejo de irrigação amplia-se para manejo da agricultura irrigada, [...] considerando outros pontos importantes [...]: avaliação e ajuste do sistema de irrigação, verificação da eficiência de irrigação, possibilidades, etapas e cuidados na implantação da quimigação (fertirrigação e demais aplicações de produtos químicos via água de irrigação), cultura (variedades com altos potenciais de produção, espaçamento, tratos culturais, época de plantio,

programação da colheita), utilização ampla das informações climáticas, previsão de produtividade etc. (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2007, p. 294).

Para Bernardo (2005), também é necessário conhecer o comportamento da cultura em função das diferentes quantidades de água fornecida e identificar as fases de desenvolvimento de maior consumo de água, e os períodos críticos, quando a falta ou o excesso provocaria quedas de produção. Mas muito embora o gergelim seja uma planta tolerante à seca, suas maiores produtividades serão observadas quando conduzida em condições hídricas favoráveis (SOUZA; BELTRÃO; SANTOS, 2000).

Pereira *et al.* (1997) afirmam que os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), a partir de elementos medidos em estação agrometeorológica, são bastante utilizados em todo o mundo para se fazer manejo de irrigação. Dentre os métodos empíricos empregados, destacam-se os de Thornthwaite, Camargo, Hargreaves & Samani, e o de Penman-Montheith. De acordo com estudos da FAO, a metodologia empregada por Penman-Montheith, deve ser utilizada como padrão para a estimativa da ET_o, em virtude dessa metodologia basear-se em processos físicos, levando em consideração parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos na equação (ALLEN *et al.*, 1998). Os mesmos autores afirmam que lâminas d'água em excesso podem provocar perdas de água e lixiviação de nutrientes pela percolação abaixo da zona das raízes, favorecendo a proliferação de microorganismos patogênicos e, em terrenos mal drenados, podem provocar a saturação do solo. E, que quantidade insuficiente de água proporciona uma redução da reserva útil do solo, prejudicando as plantas, desperdiçando recursos valiosos e aumentando os custos da água aplicada, além de acentuar os problemas relacionados com a salinização do solo.

2.3 Manejo da adubação

Antes de utilizar a adubação, recomenda-se sempre fazer a análise do solo (física e química), retirando as amostras da camada arável (de zero a 20 cm) e seguir as recomendações de adubação da cultura, evidenciando sempre a relação custo/benefício que poderá ser obtida com a prática da adubação (MALAVOLTA; PIMENTEL-GOMES; ALCARDE, 2002). De acordo com os mesmos autores, a adubação começa na análise do solo, continua com a correção da acidez e termina quando se aplica o adubo propriamente dito. E ainda, se faz necessário saber como se faz a amostragem do solo, que permitirá

estabelecer que elemento ou elementos podem estar faltando, e que quantidades devem ser fornecidos na forma de adubos. Ainda de acordo com estes autores, a adubação deve ocorrer sempre que a necessidade da planta for maior que a quantidade que o solo pode suprir.

A correta adubação das culturas aumenta a produtividade agrícola e a rentabilidade das lavouras, embora represente um custo significativo para o agricultor e possa também aumentar em muito o risco do investimento, caso o manejo não seja o adequado (NOBRE, 2007).

2.3.1 Adubação Nitrogenada

O nitrogênio é um macronutriente, sendo o mais exigido e absorvido pela maioria das plantas. Seu efeito mais visível é na vegetação verde e vigorosa, pois o mesmo estimula a formação e o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas, o maior perfilhamento e o aumento do teor de proteínas. Quando fornecido em excesso (desequilíbrio em relação aos outros nutrientes), pode atrasar o florescimento e a maturação dos frutos, além de predispor as plantas ao ataque de doenças. No Brasil, os adubos nitrogenados mais consumidos na agricultura são: sulfato de amônia ($(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$) e uréia (NH_2CONH_2) (AQUINO *et al.*, 1993).

Os adubos nitrogenados podem se perder em parte por volatilização, decomposta pela uréase no solo. Os adubos amoniacais, em solos com pH muito alto, devido a calagem excessiva, também se decompõem, perdendo amônia (NH_3) para a atmosfera. Os nitratos existentes nos adubos nitrogenados ou oriundos da nitrificação dos amoniacais e da própria uréia ou dos adubos orgânicos são arrastados pelas águas das chuvas ou irrigações e se atingirem o lençol freático estarão perdidos. Estes adubos ainda poderão voltar, em parte, para as camadas mais superficiais, subindo pelos capilares do solo quando houver seca (MALAVOLTA; PIMENTEL-GOMES; ALCARDE, 2002).

A carência de N retarda o crescimento da planta e provoca o amarelecimento das folhas mais velhas. Se a falta do nutriente for prolongada, estes sintomas na planta serão generalizados. Uma deficiência mais severa reduz os folíolos e provoca queda dos botões florais, as nervuras principais apresentam cor púrpura e as folhas um verde-pálido (FRANÇA, 2007). Blanco, Folegatti e Henriques Neto (2008) verificaram que doses elevadas de nitrogênio potencializam os efeitos da salinidade no solo, reduzindo a tolerância da cultura.

Na cultura do gergelim, o nitrogênio é o segundo nutriente mais exigido pela planta ficando atrás do potássio. No início do ciclo, até o trigésimo dia não é muito exigido, mas a partir desta data, os requerimentos da planta por este nutriente crescem rapidamente, alcançando a demanda máxima de nitrogênio aos 74 dias após a germinação (ARRIEL *et. al.*, 2006).

O parcelamento da adubação nitrogenada é uma prática muito utilizada, pois esta técnica tende a reduzir as perdas deste nutriente no solo, sendo que, uma parte é colocada no plantio e o restante é parcelado, no decorrer do ciclo da cultura. Tanto a época em que se faz a cobertura, como a possibilidade de parcelar, depende principalmente do: tipo de solo, da dose de nitrogênio e se a cultura é irrigada ou não, além de se existe um sistema que possibilite aplicar o nitrogênio via água de irrigação (SOUSA; LOBATO, 2004).

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

Segundo Melém Júnior *et al.* (2001), os resultados de estudos realizados em vários países do mundo, com varias fontes de adubos amoniacais, demonstraram que o uso de fontes nitrogenadas amoniacais por períodos prolongados tem ocasionado a elevação da acidez do solo, e no Brasil a acidificação do solo, a utilização indiscriminada de adubos nitrogenados vem despertando atenção de muitos pesquisadores, principalmente se atentarmos ao fato de que estes adubos são fontes em potencial de contaminação ambiental.

2.3.2 Adubação potássica.

O potássio exerce papel fundamental no crescimento, na conformação e na qualidade do fruto. Portanto, é necessário que, no crescimento do fruto, o solo tenha quantidades adequadas e disponíveis para proporcionar um suprimento apropriado para a planta, afirmam Aquino *et al.* (1993).

O potássio se caracteriza por não sofrer uma lixiviação tão intensa quanto os adubos nitrogenados, nem são tão fortemente aderidos ao solo quanto os adubos fosfatados, mas o risco de lixiviação do K, que possui carga positiva, se faz maior em solos arenosos e pobres em matéria orgânica, onde existem poucas cargas negativas para fixá-lo (MALAVOLTA; PIMENTEL-GOMES; ALCARDE, 2002).

O potássio é absorvido pelas plantas na forma catiônica K^+ , que também é a forma em que se encontra dentro das células. Os teores de potássio nas plantas podem apresentar grande variação, de acordo com a espécie e o manejo cultural utilizado. Os teores mais comumente encontrados situam-se entre 10 e 35 $g\ kg^{-1}$. Ao contrário do N, P e do S, o K não forma ligações covalentes que conferem estabilidade aos complexos, portanto não é um nutriente estrutural. O potássio desempenha importante papel na regulação do potencial osmótico das células, desempenhando importante papel no fechamento e abertura dos estômatos, de grande importância para o controle da eletroneutralidade celular. Além disso, atua como co-fator em mais de 40 enzimas, participando do metabolismo protéico e fotossintético e, ainda, no transporte de assimilados (MALAVOLTA, 1980).

Existem diversas formas de fertilizantes potássicos disponíveis no mercado, sendo o cloreto de potássio (KCl) a forma mais utilizada pelos agricultores, em função de sua alta solubilidade em água e do preço, a mais barata em relação aos outros adubos potássicos. A maior parte do mercado consumidor de cloreto de potássio está concentrada no Estado de São Paulo, com 40% do volume total. O Nordeste representa cerca de 10% do consumo nacional de cloreto de potássio no Brasil (OLIVEIRA; SOUZA, 2001).

No solo, o potássio pode se encontrar de três diferentes maneiras: não disponível, encontrado em minerais (rochas); lentamente disponível, é aquele fixado ou retido entre as lâminas de certas argilas e disponível, formado pelo K encontrado na solução do solo mais o K absorvido, em forma trocável, pela matéria orgânica e pela argila do solo. Em geral, os locais de maior concentração de potássio no solo, costumam ser aqueles que apresentam um maior teor de umidade, assim sua absorção pelas plantas se dá na maioria dos casos em decorrência de seu movimento no solo, por fluxo de massa. Isto significa que a distribuição de potássio no solo tem relação direta com a distribuição de água no perfil do solo (ZANINI, 1991), o que faz com que o parcelamento de doses de K_2O acima de 60 a 80 $kg\ ha^{-1}$ seja freqüentemente recomendado, objetivando reduzir as perdas de K^+ por lixiviação e o efeito salino dos adubos sobre as sementes na instalação das culturas, com maior precaução com cultivos em solos arenosos (RAIJ *et al.*, 1997; ALVAREZ *et al.*, 1999).

Em experimento para medir a lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade de nutriente no solo. Werle, Garcia e Rosolem (2008), observaram que a movimentação de K no perfil do solo está relacionada com o teor inicial resultante da adubação potássica anterior no solo, e que o efeito residual da adubação potássica aumentou as quantidades de K percoladas em solos de textura média e argilosa.

Segundo Rosolem (1997), o manejo adequado da adubação potássica, no que diz respeito à quantidade de adubo a ser aplicada, é importante do ponto de vista econômico e ambiental, visto que o excesso de adubação pode prejudicar o rendimento das culturas, bem como elevar as perdas por lixiviação. Por outro lado, o uso de subdoses do fertilizante pode empobrecer o solo cultivado, levando as reservas de K à exaustão com o decorrer dos anos de cultivo.

Uchôa *et al.* (2009) estudaram o efeito de cinco doses de potássio (0; 80; 160; 240 e 320 kg ha⁻¹ de K₂O) em seis variedades de cana-de-açúcar e observaram que todas as variedades responderam de modo quadrático às doses de potássio, excetuando-se as variáveis °Brix e o índice de maturação.

De acordo com Arriel *et al.* (2006), na cultura do gergelim, o potássio é o nutriente mais consumido pela cultura em relação ao nitrogênio, pois, de acordo com, o mesmo autor, na cultura do gergelim, recomenda-se adubação com cerca de 60 kg ha⁻¹ de potássio e 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Ainda de acordo com o mesmo autor, as plantas de gergelim absorvem pouco potássio até o trigésimo dia após o plantio, e após o trigésimo quinto dia a demanda da planta por potássio cresce muito, perdurando até o final do ciclo da cultura.

2.4 Quimigação

A quimigação consiste em aplicar uma solução ou calda de agroquímicos ou um produto biológico (fertilizante, inseticida, fungicida, herbicida, vírus, nematicida, gás carbônico, etc.) por meio do sistema de irrigação. No entanto, independentemente do método adotado, a qualidade dos resultados obtidos na quimigação dependem do cálculo correto de variáveis como: taxa de injeção, quantidade do produto a ser injetado, volume do tanque de injeção, dose do produto a ser aplicada na área irrigada, concentração do produto na água de irrigação, entre outras (COSTA; BRITO, 1994).

De maneira geral, a quimigação é possível de ser realizado em qualquer sistema de irrigação, cobrindo uma gama enorme de produtos químicos e biológicos. No Brasil, o sistema de pivô central tem sido o mais comumente usado na aplicação destes produtos, embora a aplicação de fertilizantes, especificamente, seja uma pratica rotineira nos sistemas de gotejamento e microaspersão. A vantagem da quimigação nesses sistemas está relacionada com a uniformidade de distribuição de água, que é superior as de outras modalidades de irrigação (COSTA; VIERA; VIANA,1994).

Em sistemas de irrigação por gotejamento, por ter a água aplicada diretamente no solo, sem entrar em contato com a parte aérea da planta, contribui para a diminuição da incidência de doenças nas folhas e nos frutos, podendo colaborar para a redução do uso de agrotóxicos em até 60% (SILVA; MAROUELLI, 1998). Outras vantagens são: economia de mão-de-obra, quando comparada à aplicação convencional, boa uniformidade de aplicação, pouco contato do operador com os agrotóxicos, possibilidades de aplicação em qualquer fase do ciclo da cultura, menor dano físico ao solo (não-compactação) e à cultura, maximização do uso dos equipamentos de irrigação, redução dos custos e melhor cobertura da superfície do solo (COSTA; BRITO, 1994).

O fornecimento de adubo à planta via sistema de irrigação, pode ocorrer no momento em que a mesma necessita, apresentando as seguintes vantagens: aplicação do produto em qualquer fase do ciclo da cultura, fácil parcelamento e satisfatório controle, evitando doses excessivas e, conseqüentemente, perdas por lixiviação e escoamento superficial se chuvas pesadas vierem a ocorrer após a aplicação, minimizando, desta forma, os impactos ambientais. (BRITO; PINTO, 2008).

2.4.1 Fertirrigação

Em termos gerais, a fertirrigação é apenas um ramo da quimigação. Esta técnica pode ser descrita como sendo o processo de aplicação de água e fertilizantes, por meio do sistema de irrigação (COELHO, 2003). É uma técnica usada segundo Vieira e Ramos (1999), como complemento à adubação de plantio, uma vez que neste tipo de adubação, o adubo diminui com o avanço do ciclo da cultura. Os mesmos autores recomendam adubar o solo apenas para suprir as necessidades do início do ciclo da cultura, e fazer uso da fertirrigação para complementar sua adubação.

Hernandez (1994) constatou que, no Brasil, a técnica da fertirrigação era utilizada de forma inadequada comparada ao seu potencial, destacando algumas vantagens desse sistema, como economia de mão-de-obra e energia, diminuição da compactação do solo, eficiência do uso e economia de fertilizante, controle da profundidade de aplicação, entre outras.

Carrijo *et al.* (2004) descrevem que os nutrientes mais utilizados na fertirrigação são aqueles com maior mobilidade no solo, como é o caso do nitrogênio e do potássio. Em virtude disso, as principais fontes de adubos nitrogenados para uso na fertirrigação são: o nitrato de cálcio (14 a 15,5% N), o nitrato de potássio (13% N), o nitrato de amônio (34% N), a uréia (45% N), o MAP purificado (11% N), o DAP (16% N) e o sulfato de amônio (21% N). Enquanto que as de potássio são: o cloreto de potássio (60% K₂O), o nitrato de potássio (36% K₂O), o sulfato de potássio (41% K₂O) e o fosfato monopotássico (28% K₂O). Os mesmos autores finalizam, explicando que o uso da fertirrigação tem acarretado acréscimos na produtividade e melhoria das características comerciais e de qualidade dos produtos.

Para Costa e Brito (1994), essa técnica requer que os produtos usados estejam em solução. Para tanto é necessário conhecer algumas características dos produtos, como: solubilidade, conteúdo do nutriente ou elemento desejado, densidade e/ou concentração limite de tolerância pelas plantas, entre outros. E, nesse contexto, os sistemas de irrigação por gotejamento estão sendo, cada vez mais, utilizados com o propósito de distribuir água e fertilizantes, simultaneamente.

O fornecimento adequado de nutrientes contribui, de forma significativa, tanto no aumento da produtividade quanto na diminuição dos custos de produção. Nesta situação, a otimização de eficiência nutricional é fundamental para ampliar a produtividade e reduzir o custo de produção. Com isso, fatores, como: clima e solo, e suas interações afetam a absorção e a utilização de nutrientes pelas plantas (FAGERIA, 1998).

No Brasil, somente nos últimos anos é que a técnica da fertirrigação vem se solidificando, sendo usada principalmente em propriedades onde exista sistema de irrigação localizada e pivô central, para a aplicação de adubos nitrogenados, enquanto que nos Estados Unidos, ela já vem sendo usada há muitas décadas, com um crescente de área em torno de 8% ao ano (COELHO, 2003).

Para Villas Bôas *et al.* (2001), o principal problema encontrado na técnica da fertirrigação está associado ao manejo incorreto, em razão da falta de informações adequadas e/ou utilização de forma empírica. Em muitas regiões, a adoção rápida desta técnica, de acordo com Andrade Júnior *et al.* (2006), fez com que a prática se adiantasse à investigação e

com isto surgiram problemas. Infelizmente, este fato tem implicado em redução de produtividade e desestímulo ao uso da fertirrigação, por parte de alguns produtores.

Andrade Júnior *et al.* (2006), observaram que os parâmetros de qualidade dos frutos de melancia não são afetados pelos níveis de nitrogênio aplicados em fertirrigação. Apesar de, os mesmos autores, terem encontrado que: a produção total, a produção comercial, o número de frutos total e comercial, aumentam significativamente com o aumento dos níveis de nitrogênio, seguindo um modelo quadrático de resposta.

2.5 Função de produção

Quando se fala em obtenção de um maior retorno econômico em atividade agrícola, satisfazer somente as necessidades da cultura não é suficiente, sendo necessário observar outros fatores, tais como: clima, solo e adubação. Contudo, o inadequado fornecimento de água e nutrientes às culturas são fatores que limitam mais freqüentemente o seu rendimento, minando a eficiência de produção do sistema agrícola (BARROS; COSTA; AGUIAR, 2002).

A agricultura irrigada tem como objetivos principais garantir a produção e aumentar a produtividade das culturas, além de buscar a maximização da eficiência do uso da água e a otimização dos fatores de produção. De acordo com Bernardo (2006), a otimização do fator água deve possibilitar a melhor utilização dos insumos de produção, a fim de se obter maiores produtividades, com melhores combinações dos fatores utilizados. Para tanto, é necessário conhecer as funções de produção ou superfícies de resposta, para auxiliar nas decisões, uma vez que essas funções permitem as interações entre fatores que afetam a produtividade (SOUZA; BELTRÃO; SANTOS, 2000).

A função de produção ou de resposta das culturas é definida, por Frizzone (1987), como uma relação física entre as quantidades de um conjunto de insumos e as quantidades físicas, que podem ser obtidas do produto para cada tecnologia conhecida. Ferguson (1987) complementa, afirmando que uma função de produção é a relação técnica entre um conjunto específico de fatores envolvidos num processo produtivo qualquer e a produção física possível de se obter com a tecnologia existente.

As relações físicas e econômicas estabelecidas pelas funções de resposta de produção de uma cultura, obtidas com bases experimentais, constituem ferramentas

importantes, para a tomada de decisão quanto à utilização dos recursos produtivos em empresas rurais que trabalham com irrigação. Em regiões onde ocorrem problemas de recursos hídricos, como é o caso do estado do Ceará, é importante considerar o planejamento da irrigação, devido à limitação de água. Nestas regiões, torna-se necessária a otimização dos recursos hídricos disponíveis para maximizar a renda líquida por unidade de volume de água utilizado. Porém, a expressão matemática que relaciona a produção ao fator de produção às funções de custo e de receita líquida, para as condições de interesse deve ser conhecida. (SOUZA; BELTRÃO; SANTOS, 2000).

Para quantificar os benefícios econômicos da irrigação, é necessário saber quantificar o esperado aumento na produtividade em função do aumento de água aplicada. A representação gráfica ou matemática desta relação é denominada função de produção “água-cultura”. Esse tipo de função de produção “água-cultura” típica é quando relacionamos “lâmina de água aplicada durante o ciclo da cultura” versus “produtividade comercial”. Outra maneira de expressar funções de produção “água-cultura” é relacionar lâminas aplicadas por estádios de desenvolvimentos da cultura, ou evapotranspiração ou tensão ou umidade do solo versus produtividade (BERNARDO, 1995). Este mesmo autor afirma que, normalmente, as expressões matemáticas das funções de produção “água-cultura” são do tipo linear, potencial e exponencial.

No que diz respeito ao processo de planejamento agrícola, as funções de produção constituem-se no elemento básico de tomada de decisão dos planos de desenvolvimento e, relativamente, à operação de irrigação e adubações. Ela pode permitir tomar decisões sobre planos ótimos de cultivo e ocupação de área para produção econômica, com base na água disponível e insumos consumidos. Frizzone (1987) complementa afirmando que a utilização das funções de produção permite encontrar soluções úteis na otimização do uso da água e dos fertilizantes na agricultura ou na previsão de rendimentos culturais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterizações da área experimental

3.1.1 Localização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos na área experimental da Estação Meteorológica, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), da Universidade Federal do Ceará (UFC), no município de Fortaleza, Ceará, situada nas coordenadas geográficas de $3^{\circ}44'45''\text{S}$ e $38^{\circ}34'55''\text{W}$ e com 19,5 m acima do nível médio do mar (Figura 1).



Figura 1 - Localização da área experimental, Fortaleza, Ceará, 2009.

3.1.2 Clima

O clima da região é do tipo Aw', sendo caracterizado como tropical chuvoso, muito quente, com chuvas predominantes nas estações do verão e outono (KOPPEN, 1923). A região apresenta precipitação média em torno de 1523 mm, temperatura média do ar de 26,9°C e a umidade relativa média é de 69% (Dados fornecidos pela Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará). Na Tabela 1, encontram-se os dados climáticos coletados durante os experimentos.

Tabela 1 - Dados climáticos observados durante a condução dos experimentos, Fortaleza, Ceará, 2009

Mês	Temperatura do ar (°C)	Umidade Relativa (%)	Velocidade Vento (m s ⁻¹)	Precipitação (mm)
Setembro	27,83	77	2,38	0,76
Outubro	27,94	76	2,62	4,82
Novembro	28,45	73	2,62	3,80
Dezembro	28,88	73	2,66	3,81

Fonte: Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará.

3.1.3 Solo

O solo da região é classificado, como um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO de textura areia franca.

Para efeito da caracterização físico-química do solo, antes da instalação dos experimentos, foram retiradas 20 amostras de solo, na camada de 0 a 0,2 m, com auxílio de um trado, em seguida as amostras foram homogeneizadas e levadas ao Laboratório de Água e Solo da Universidade Federal do Ceará, onde foram analisadas. Nas Tabelas 2 e 3 é possível observar o resultado da análise físico-química do solo da área experimental.

Tabela 2 - Análise físico-hídrica do solo da área experimental, na camada de 0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, 2009

Característica físico-hídrica	Profundidade (m)
	0 a 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 do solo (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
pH (água)	6,6

Tabela 3 - Análise química do solo da área experimental, da camada de 0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, 2009

Prof. (cm)	Complexo sortivo (cmol _c dm ⁻³)							V(%)	Al ³⁺	P	M.O.
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S	H ⁺ +Al ²⁺	T				
0-20	1,5	1,5	0,23	0,1	3,3	1,15	4,5	74	0,0	8,0	7,03

3.2 Cultura

No experimento utilizou-se a cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.), variedade Seda. Esta variedade foi desenvolvida pela Embrapa Algodão e apresentam as seguintes características agronômicas:

- Tolerante às principais doenças da cultura;
- Porte médio a alto;
- Hábito de crescimento ramificado;
- Ciclo precoce, de menos de noventa dias;
- Sementes de coloração branca e
- Teor de óleo entre 50 e 53% do peso de suas sementes.

3.3 Preparo da área

Para efeito de preparo da área experimental, inicialmente, foi realizada uma aração profunda na área, que foi posteriormente seguida de duas gradagens cruzadas. Logo após as gradagens, procedeu-se a limpeza e o nivelamento manual do terreno, com a utilização de enxada e ciscador, objetivando retirar resto cultural do solo que viesse, de qualquer forma, a comprometer ou interferir na aplicação dos tratamentos e para auxiliar na instalação do sistema de irrigação.

3.4 Sistema e manejo da irrigação

Para fins de condução e manejo dos experimentos de lâminas de irrigação e de fertirrigação, nitrogênio e potássio foi montado um sistema de irrigação localizada do tipo gotejamento.

O sistema de irrigação foi montado e constituído da seguinte forma:

- **Conjunto motobomba** - trabalhando de forma submersa em um poço profundo;
- **Cabeçal de controle e sistema de injeção de fertilizantes** – situado no início da área experimental e protegido por um abrigo de alvenaria, era constituído por, filtro de discos, registro de gaveta, manômetro de glicerina, calibrado em kgf cm^{-2} . No **sistema de injeção de fertilizantes** havia um sistema by-pass, contendo um injetor do tipo Venturi e uma moto-bomba auxiliar, com a função de acelerar a água para passar no Venturi e succionar os fertilizantes com maior eficiência (Figura 2).
- **Linha principal** - constituída de PVC (PN 40) com diâmetro nominal (DN) de 50 mm, possuía 20 m de comprimento entre a moto-bomba e o cabeçal de controle;
- **Linha de derivação ou linha secundária** - as linhas de derivação perfaziam um total de 3 (três), e eram composta de polietileno com DN 25 mm, apresentando um comprimento de 43 m cada. 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 2 - Cabeçal de controle e sistema de injeção de fertilizantes, Fortaleza, Ceará, 2009.

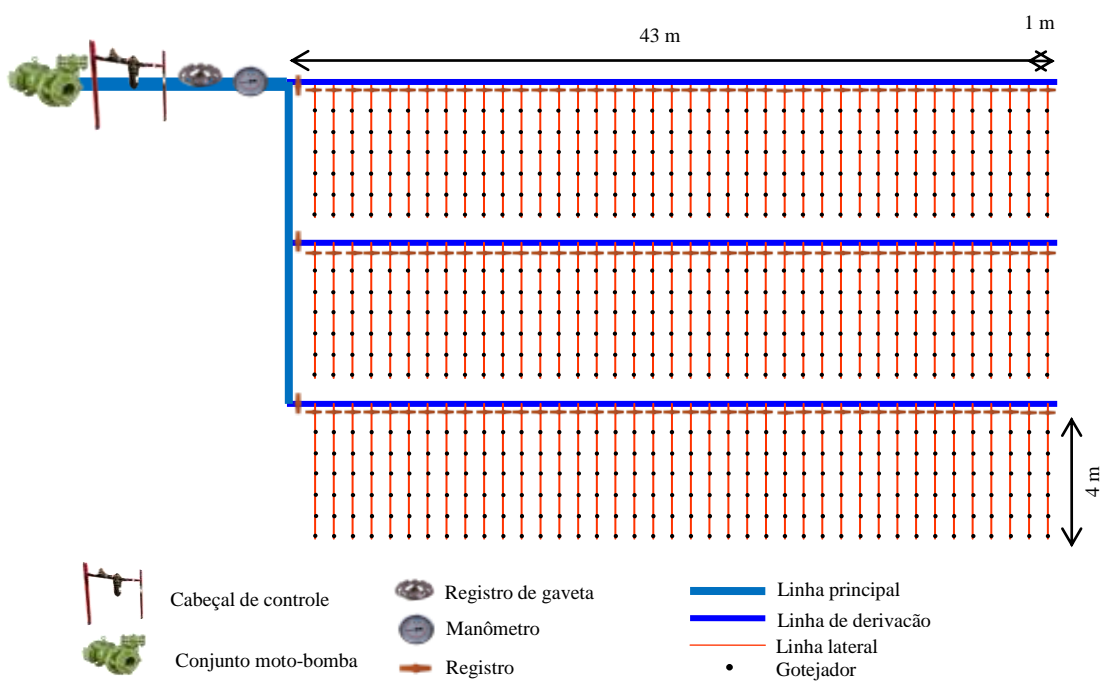


Figura 3 - Layout do sistema de irrigação utilizado nos experimentos, Fortaleza, Ceará, 2009.

- **Linha lateral** - existiam 43 linhas laterais em cada linha de derivação, espaçadas em 1 m, com gotejadores autocompensantes, espaçados de 0,5 m entre gotejadores e 1 m entre linhas, com vazão de 2 L h^{-1} a uma pressão de serviço de $1,0 \text{ kgf cm}^{-2}$, apresentando DN 16 mm e comprimento de 4 m. No início da cada linha lateral foram instalados registros de gaveta de 16 mm de diâmetro, com a finalidade de controle das lâminas de irrigação e as doses de fertilizante para cada tratamento em cada experimento. Na Figura 3 é possível observar a representação esquemática do sistema de irrigação utilizado.

Uma vez instalado o sistema de irrigação, foi realizado o teste de uniformidade do sistema por meio do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), além do levantamento das condições de pressão, vazão e lâminas aplicadas (Equação 01)

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

Em que:

- *CUC* é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);
- X_i é a precipitação coletada no pluviômetro de ordem *i* (cm);
- \bar{X} é a média das precipitações coletadas nos pluviômetros (cm);
- *n* é o número de pluviômetros

O manejo da irrigação foi realizado utilizando o princípio de lâmina acumulada. Em que, todos os experimentos foram irrigados com base na reposição da lamina de água evapotranspirada durante dois dias consecutivos.

O tempo de irrigação a ser utilizado em cada experimento foi quantificado conforme a Equação 02.

$$Ti = \frac{Li * E_L * E_g * F_C}{Ei * q_g} \quad (02)$$

- Em que:
- *Ti* - tempo de irrigação (h);
- *Li* - lâmina de irrigação a ser aplicada (mm dia^{-1});
- E_L - espaçamento entre as linhas laterais (m);

- E_G - espaçamento entre gotejadores (m);
- F_C - fator de cobertura do solo (adimensional);
- E_i - eficiência de irrigação (adimensional);
- q_g - vazão do gotejador ($L h^{-1}$).

O cálculo da lâmina de irrigação (Li) foi estimado através da evapotranspiração da cultura por meio da Equação 03.

$$ET_c = ETo * k_c \quad (03)$$

- Em que:
- ET_c - evapotranspiração da cultura ($mm dia^{-1}$);
- ETo - evapotranspiração de referência ($mm dia^{-1}$);
- K_c - coeficiente da cultura (adimensional) e estimado para cada estágio de desenvolvimento da cultura.

A estimativa da ETo foi realizada através da equação de Penman-Monteith - FAO, que será detalhada adiante, quando da descrição do experimento de lâminas de irrigação. O valor de K_c utilizado no experimento para o manejo das irrigação do gergelim foi de 0,6 e 0,8, nas fases de crescimento vegetativo e florescimento, respectivamente (AMARAL; SILVA, 2008).

3.5 Plantio, tratos culturais e adubação da cultura

A semeadura do gergelim deu-se de forma manual, em sulcos abertos, com cerca de 2 cm de profundidade, em toda extensão das linhas laterais. Em seguida, as sementes foram cobertas com uma fina camada de solo, de aproximadamente 1 cm de espessura. A germinação ocorreu de 3 a 4 dias após semeio, e o desbaste aconteceu em duas etapas: a primeira, de forma parcial, iniciou-se quando as plantas encontravam-se com 4 ou 5 folhas e a segunda, de forma definitiva, ocorreu quando as plantas encontravam-se com

aproximadamente 15 cm de altura, objetivando-se colocá-las no espaçamento de 1 m entre linhas e 0,20 m entre plantas.

Antes do semeio do gergelim, foi aplicado em todo terreno e no entorno da área experimental, um formicida a base de sulfuramida para o controle da formiga cortadeira, que estava presente na área.

Aos 50 dias após a semeadura, ocorreu o início do florescimento da planta, que se prolongou até o fim do seu ciclo. Quando as plantas atingiram aproximadamente 90 dias de semeadas, foi realizada a colheita manual, que consistiu no corte da planta inteira, no nível do solo. Em seguida, as plantas foram postas para secagem ao ar livre, por sete dias, com a finalidade de facilitar a retirada dos grãos das cápsulas. Na Figura 4 é possível observar uma sequência de tratos culturais realizados na cultura do gergelim, desde a adubação e semeio das linhas de plantio, até as plantas postas para secagem ao ar livre.

Para fins de evitar a competição da cultura com plantas daninhas, principalmente durante o período inicial de desenvolvimento da cultura, período este o mais crítico para o estabelecimento da cultura do gergelim, foram realizadas capinas regulares.

A adubação do gergelim foi baseada na análise de solo da área experimental, e consistiu basicamente na aplicação de N-P-K na forma de: uréia, 45% de N; superfosfato simples, 18% P_2O_5 ; cloreto de potássio, 60% K_2O e micronutrientes, de duas formas, convencional e fertirrigação. Na forma convencional os adubos foram aplicados de duas maneiras:



Figura 4 - Semeadura e adubação de fundação da cultura (A); plantas com 30 DAS , espaçadas em 1,0 m x 0,20 m (B); início do florescimento, (C) plantas secando ao ar livre (D), Fortaleza, Ceará, 2009.

- Adubação de fundação – os adubos foram fornecidos as plantas em sulcos abertos paralelamente as linhas laterais. Em fundação, foram aplicados todo o S.S ($77,8 \text{ kg ha}^{-1}$) e metade da dose recomendada para o KCl (50 kg ha^{-1}).
- Adubação de cobertura – Em cobertura, quando as plantas atingiram 30 dias após o plantio (DAP), foram aplicados a outra metade do KCl (50 kg ha^{-1}) e a metade da dose recomendado de N ($62,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de uréia). E aos 60 DAP, foi aplicada a outra metade da dose de N ($62,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de uréia).

3.6 Área experimental

A área cultivada com gergelim possuía um total de 602 m^2 , e foi subdividida em 3 (três) subáreas distintas, de 172 m^2 , conforme croqui apresentado na Figura 5.

A divisão dos experimentos foi realizada da seguinte forma:

Subárea I - Experimento para a análise de diferentes lâminas de irrigação, com base na evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith.

Subárea II - Experimento para análise de diferentes doses e formas de aplicação de nitrogênio.

Subárea III - Experimento para análise de diferentes doses e formas de aplicação de potássio.

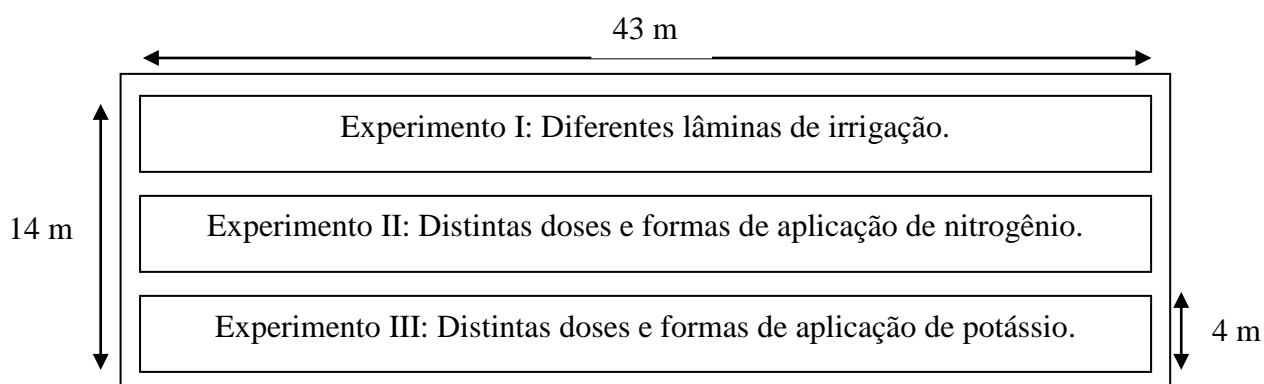


Figura 5 - Área total do experimento, para instalação dos experimentos com a cultura do gergelim, Fortaleza, Ceará, 2009.

3.6 1 Experimentos

Os experimentos foram realizados em duas etapas. Inicialmente, foram testadas as doses e formas de aplicação de nitrogênio (II) e potássio (III). Posteriormente, foi iniciado o experimento com lâminas de irrigação com base na evapotranspiração estimada pela equação de Penman-Monteith.

Os experimentos II e III foram irrigados com base na reposição de 100% da ET_c de acordo com a Equação 02. Todos os tratamentos, independentemente do experimento, foram iniciados quando as plantas se encontravam com 30 dias após a semeadura (DAS), de acordo com a Figura 6.



Figura 6 - Plantas com idade de 30 dias de semeadas, Fortaleza, Ceará, 2009.

3.6.1.1 Experimento I: Lâminas de irrigação (Penman-Monteith).

As lâminas de irrigação aplicadas foram estabelecidas com base na evapotranspiração de referência (ET_o) obtida pela metodologia de Penman-Monteith, e o tempo de irrigação foi calculado conforme a equação 2.

O delineamento experimental utilizado no experimento foi em blocos ao acaso, composto de cinco tratamentos (lâminas de irrigação) e quatro blocos (Figura 7). Os tratamentos corresponderam aos níveis de irrigação de: 25, 50, 75, 100 e 150% da evapotranspiração de referência (ET_o, mm dia⁻¹), de acordo com a Tabela 4:

O cálculo da ET_o levou em conta o uso de dados referentes às variáveis climáticas, calculados de acordo com a padronização proposta pela FAO (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997), devido sua grande aceitação e facilidade de manuseio. Os dados foram coletados na estação meteorológica automática da UFC, situada ao lado da área experimental. (equação 04).

$$ET_o = \frac{s}{s \cdot \gamma^*} \cdot Rn - G \cdot \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{s + \gamma^*} \cdot \frac{1}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_e) \quad (04)$$

Em que:

- ET_o - é a evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);
- *S* - é a declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹);
- *γ* - é o coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹);
- *γ** - é a constante psicrométrica modificada (kPa °C⁻¹);
- *Rn* - é o saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹);
- *G* - é o fluxo de calor no solo;
- *λ* - é o calor latente de evaporação (2,45 MJ kg⁻¹);
- *T* - é a temperatura média diária (°C);
- *U*₂ - é a velocidade do vento a 2 m (m s⁻¹);
- *e_s* - é a pressão de saturação de vapor (kPa);
- *e_a* - é a pressão parcial de vapor (kPa).

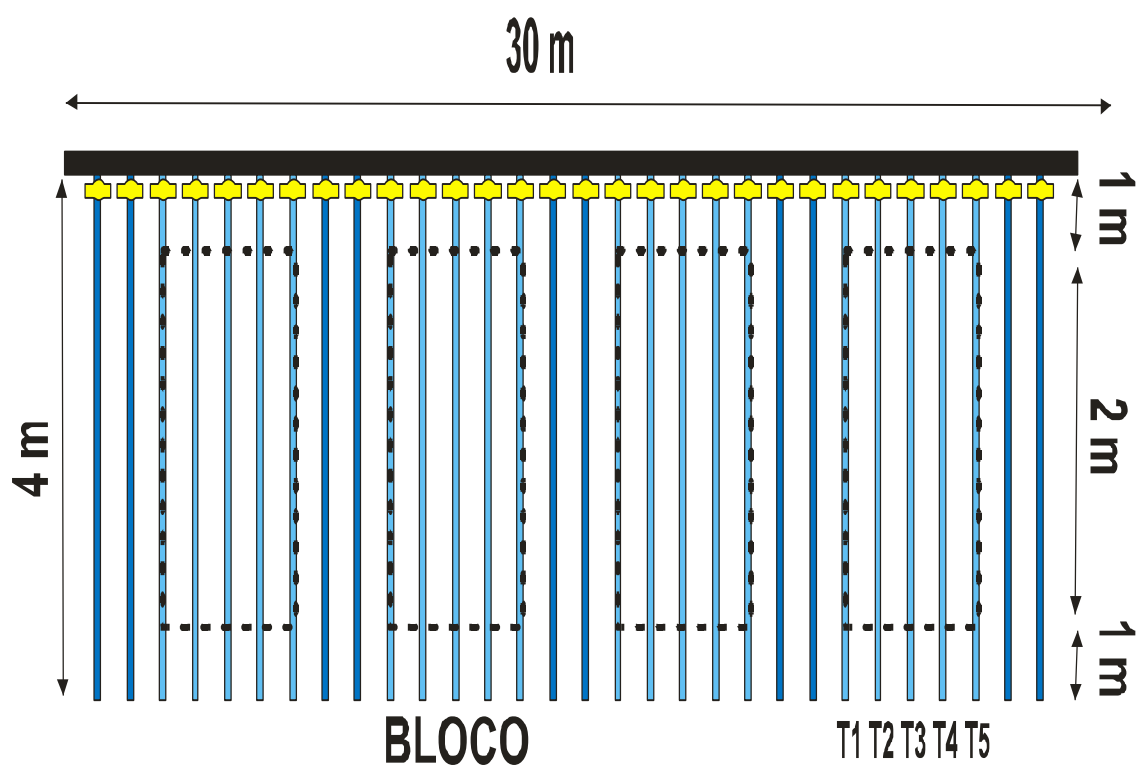


Figura 7 - Layout do experimento de lâminas de irrigação, detalhando os tratamentos e os blocos, Fortaleza, Ceará, 2009.

Tabela 4 - Percentuais de ETo utilizadas no experimento de lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2009

Tratamentos	ETo (%)
Li ₂₅	25
Li ₅₀	50
Li ₇₅	75
Li ₁₀₀	100
Li ₁₅₀	150

Li – Lâmina de irrigação.

3.6.1.2 Experimento II: Doses de nitrogênio e formas de aplicação.

Foram avaliadas diferentes doses de nitrogênio, utilizando para isso o adubo comercial nitrogenado Uréia – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, contendo 45% de N, aplicado de duas distintas formas:

- Via sistema de irrigação (fertirrigação) e de forma convencional, nas quantidades de 62,5; 125 e 250 kg ha⁻¹, o que corresponde, respectivamente, a metade da dose recomendada, a dosagem recomendada e o dobro da dose recomendada para a cultura.
- Na fertirrigação, as três diferentes dosagens foram parceladas em oito aplicações, realizadas semanalmente (Tabela 5).

Tabela 5 - Calendário de aplicação do adubo nitrogenado via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009

Aplicações realizadas uma vez por semana.							
1	2	3	4	5	6	7	8
31/OUT	07/NOV	14/NOV	21/NOV	28/NOV	05/DEZ	12/DEZ	19/DEZ

Na adubação convencional, as dosagens foram parceladas em duas aplicações, em cobertura: metade (1/2) da dose recomendada aos 30 DAS e 1/2 aos 60 DAS.

O delineamento experimental utilizado no experimento foi o de blocos ao acaso, com sete tratamentos (Figura 8), observados na Tabela 5, subdivididos em quatro blocos, correspondendo às repetições.

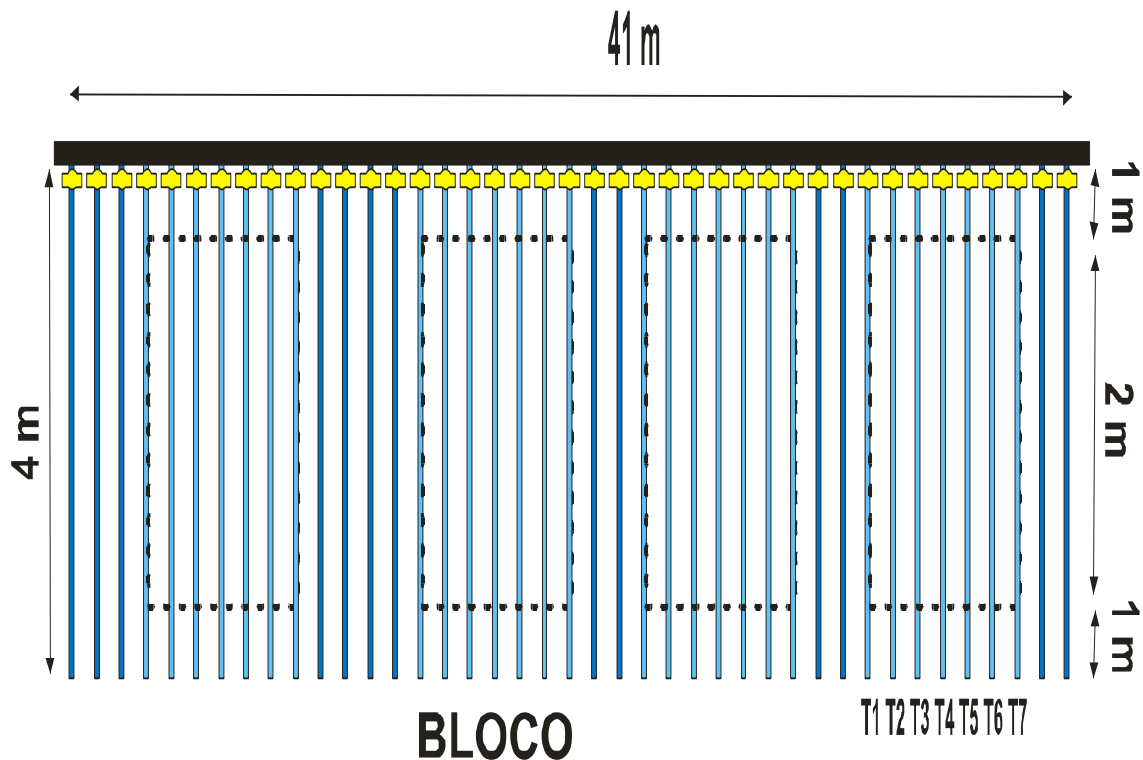


Figura 8 - Layout do experimento de distintas doses e formas aplicação de N e K, detalhando os tratamentos e os blocos, Fortaleza, Ceará, 2009.

Tabela 6 - Descrição dos tratamentos, das quantidades de N aplicado e forma de aplicação dos tratamentos, Fortaleza, Ceará, 2009

Tratamentos	Doses de N (kg ha ⁻¹)	Forma de aplicação
Co	0,0	Controle
F _{62,5}	62,5	Fertirrigação
C _{62,5}	62,5	Convencional
F ₁₂₅	125,0	Fertirrigação
C ₁₂₅	125,0	Convencional
F ₂₅₀	250,0	Fertirrigação
C ₂₅₀	250,0	Convencional

3.6.1.3 Experimento III: Doses de K₂O e formas de aplicação.

Foram avaliadas diferentes dosagens de potássio, utilizando para isso, o adubo comercial cloreto de potássio (KCl), contendo 60% de K₂O, aplicado de duas distintas formas:

- Via sistema de irrigação (fertirrigação) e de forma convencional, nas quantidades de 75; 150 e 300 kg ha⁻¹, o que corresponde à metade da dose recomendada, a dosagem recomendada e o dobro da dose recomendada para a cultura, respectivamente.
- Na fertirrigação, assim como o experimento anterior, as três diferentes dosagens foram parceladas em oito aplicações, realizadas semanalmente, seguindo o mesmo calendário de aplicação do experimento anterior.

Na adubação convencional, as dosagens foram parceladas em duas aplicações: 1/2 da dose recomendada na fundação e a outra metade aos 30 DAS.

O delineamento experimental utilizado no experimento foi o de blocos ao acaso, com sete tratamentos, subdivididos em quatro blocos (repetições), de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 - Descrição dos tratamentos, das quantidades de K aplicado e forma de aplicação dos tratamentos, Fortaleza, Ceará, 2009

Tratamentos	Doses de K (kg ha ⁻¹)	Forma de aplicação
Co	0,0	Controle
F ₇₅	75,0	Fertirrigação
C ₇₅	75,0	Convencional
F ₁₅₀	150,0	Fertirrigação
C ₁₅₀	150,0	Convencional
F ₃₀₀	300,0	Fertirrigação
C ₃₀₀	300,0	Convencional

3.7 Variáveis avaliadas

Durante o experimento, foram coletados dados correspondentes as seguintes variáveis:

- **Peso seco da planta:** esta variável consistiu na quantificação do peso da planta após o período de 10 dias em que a planta esteve exposta ao ar livre para secar e permitir a abertura de todas as cápsulas.
- **Número de cápsulas por planta:** consistiu-se na contagem direta de todas as cápsulas produzidas por planta.
- **Peso médio das cápsulas:** consistiu na estimativa do peso de todas as cápsulas produzidas pelas plantas, através de uma amostragem aleatória de 10 cápsulas retiradas de cada planta.
- **Peso de 100 sementes:** do total produzido pela planta, foi retirada uma amostra de sementes das quais foram contadas 100 sementes e pesadas em balança digital.
- **Altura da planta:** a planta foi medida, com auxílio de uma trena metálica, desde sua base até o seu ápice.
- **Produtividade:** foi estimada levando-se em conta a produção encontrada em cada parcela experimental.

3.8 Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o nível de significância de 5% para o teste F. O delineamento estatístico utilizado foi o modelo em blocos casualizados (DBC), conforme descrito em cada experimento.

Os valores obtidos, para as diversas variáveis analisadas, foram submetidos à análise de variância, conforme Tabela 8. Os dados médios dos experimentos qualitativos foram comparados através do teste de Tukey para verificar a existência de alguma diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 8 - Modelo esquemático da análise de variância, Fortaleza, Ceará, 2009

FV	GL	SQ	QM	F	F>1 (5%)
Blocos (B)	r-1	SQ _B	SQ _B / GL _B	QM _B / QM _R	F _{Tabelado}
Tratamentos (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	-	-

Objetivando-se encontrar a equação que melhor represente a relação entre as variáveis analisadas, as lâminas de irrigação e doses de quimigação, quando da significância do teste F, os dados foram submetidos à análise de regressão. A análise de variância da regressão foi obtida pelo método dos polinômios ortogonais.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos aplicativos: Microsoft Office Excel (2007) e do software SAEG 9.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I: Lâminas de irrigação (Penman-Monteith)

Na Tabela 9, estão apresentados os dados referentes ao resumo da análise de variância realizada para as variáveis: PS, AP, P100, PC, NCP e PROD. Observa-se que todas as variáveis mostraram-se significativas ao nível de 1% de significância pelo teste F, com exceção da variável P100 onde não foi observada diferença significativa na média dos dados.

De acordo com a análise de regressão realizada na variável PS (Figura 9), observa-se que os dados se ajustaram ao modelo polinomial quadrático, apresentando R^2 de 89%, o que indica um excelente ajuste dos dados ao modelo empregado. Apesar das lâminas estudadas ficarem compreendidas em um intervalo de 25 a 150% da ETo de Penman-Monteith (PM), a curva de regressão indica, com relação ao peso seco das plantas, que à medida que se aumenta a percentagem da lâmina de irrigação, encontramos um peso seco máximo por planta de 199,5 g, quando a irrigação for realizada com uma lâmina de 161,5% da ETo de PM. Em termos percentuais, houve um acréscimo da ordem de 71,8% do peso seco da planta, quando se compara a maior com a menor lâmina (150 e 25% da ETo) respectivamente.

Tabela 9 - Análise de variância dos dados de peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e Produtividade (PROD.) de gergelim, submetido a diferentes lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2009

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		PS (g)	AP (cm)	P100 (g)	PC (g)	NCP	PROD (kg ha ⁻¹)
Tratamento	4	17881,5**	0,146**	0,106ns	0,809 ^{ns}	11563,8**	567002,4**
Bloco	3	790,9 ^{ns}	0,119 ^{ns}	0,751 ^{ns}	0,121 ^{ns}	936,82 ^{ns}	95843,7 ^{ns}
Resíduo	12	1124,7	0,243	0,207	0,123	1188,0	57021,9
CV(%)		26,81	7,45	16,27	9,64	32,43	34,85
Média		125,08	2,09	0,28	3,63	106,27	685,21

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

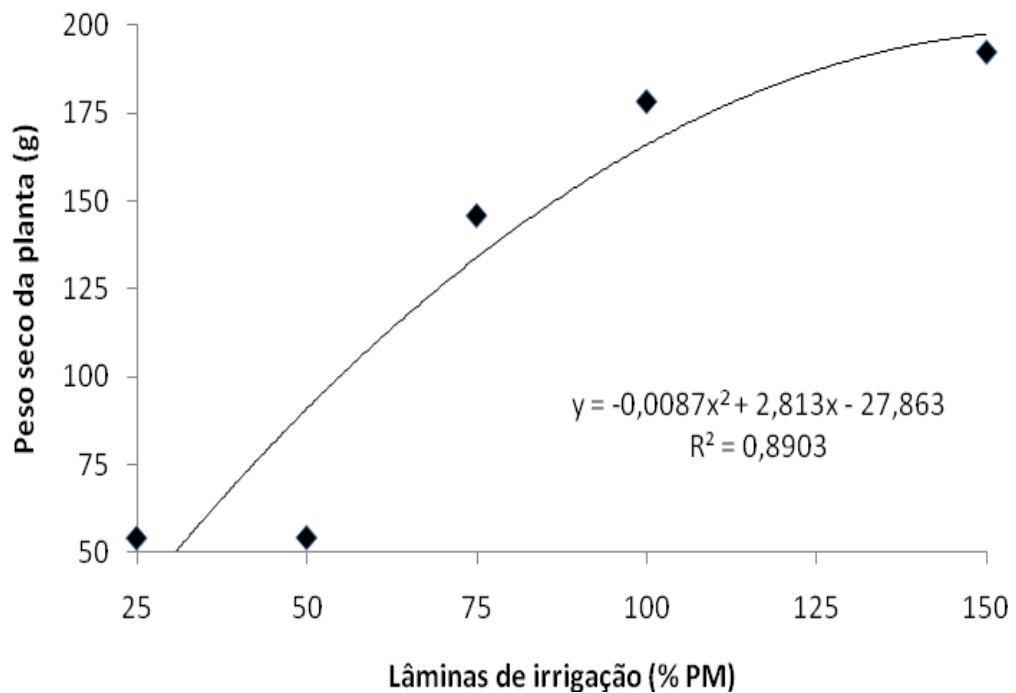


Figura 9 - Peso seco da planta de gergelim em função de lâminas de irrigação com base na ETo de PM, Fortaleza, Ceará, 2009.

Com relação à variável AP, verifica-se na Figura 10, que os dados desta variável se ajustaram ao modelo de regressão do segundo grau, apresentando R^2 de 98%, indicando um perfeito ajustes dos dados ao modelo. Contudo, pode-se notar um aumento gradual na altura das plantas à medida que se aumenta as lâminas de irrigação. Mesmo sabendo que a lâmina máxima utilizada no experimento foi de 150% da ETo de PM, o modelo sugere que a altura máxima das plantas chegará a 2,4 m, quando aplicada uma lâmina estimada em 197,5% da ETo de PM. Também não podemos observar a tendência de queda do modelo, mas comparando-se a maior e a menor lâmina (150 e 25% da ETo de PM) respectivamente, encontramos uma diferença na altura de aproximadamente 20%. Esse comportamento sugere que, quanto mais água é aplicada na cultura do gergelim, este, continua com seu crescimento vegetativo.

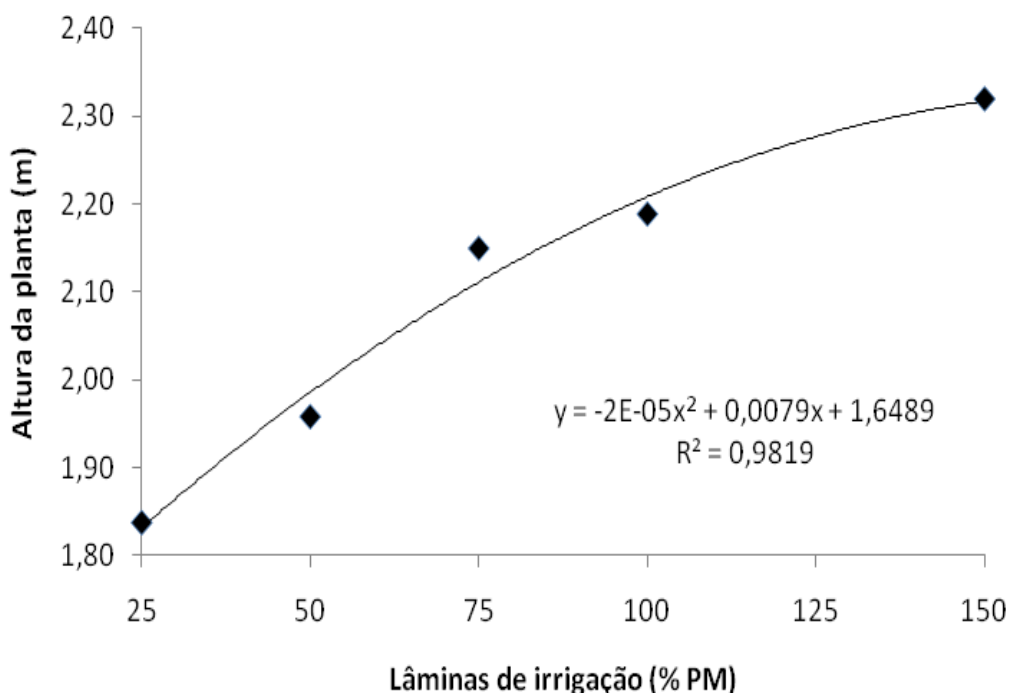


Figura 10 - Altura da planta de gergelim em função de lâminas de irrigação com base na ETo de PM, Fortaleza, Ceará, 2009.

A análise de regressão realizada na variável NCP (Figura 11) revela uma tendência dos dados a se ajustarem ao modelo polinomial de segunda ordem, com R^2 de 85%, o que se pode dizer que é um bom ajuste. Diferente do observado nas duas últimas variáveis, (peso seco da planta e altura da planta), pode-se observar uma tendência de queda no número de cápsulas produzidas pela planta após uma lâmina ótima estimada, que foi de 115,5% da ETo de PM, produzindo, aproximadamente 143 cápsulas por planta. Com esta lâmina, comparada à maior e a menor lâmina, a cultura produziu 14 e 70% mais cápsulas, respectivamente.

Com relação à produtividade da cultura (Figura 12), é observada a mesma tendência da variável anterior (NCP). A análise de regressão realizada nos dados se ajustou melhor ao modelo polinomial quadrático, apresentando um R^2 de 82%, que também pode ser considerado bom. Observa-se que com lâminas menores (25 e 50% da ETo de PM), a produtividade foi muito baixa, comparada aos demais. E, que a partir da lâmina de 75% houve um salto muito grande de produtividade, alcançando um máximo de 1015,45 kg ha⁻¹ se irrigada com uma lâmina de 116,5% da ETo de PM. E, que após esta lâmina a produtividade tende a cair.

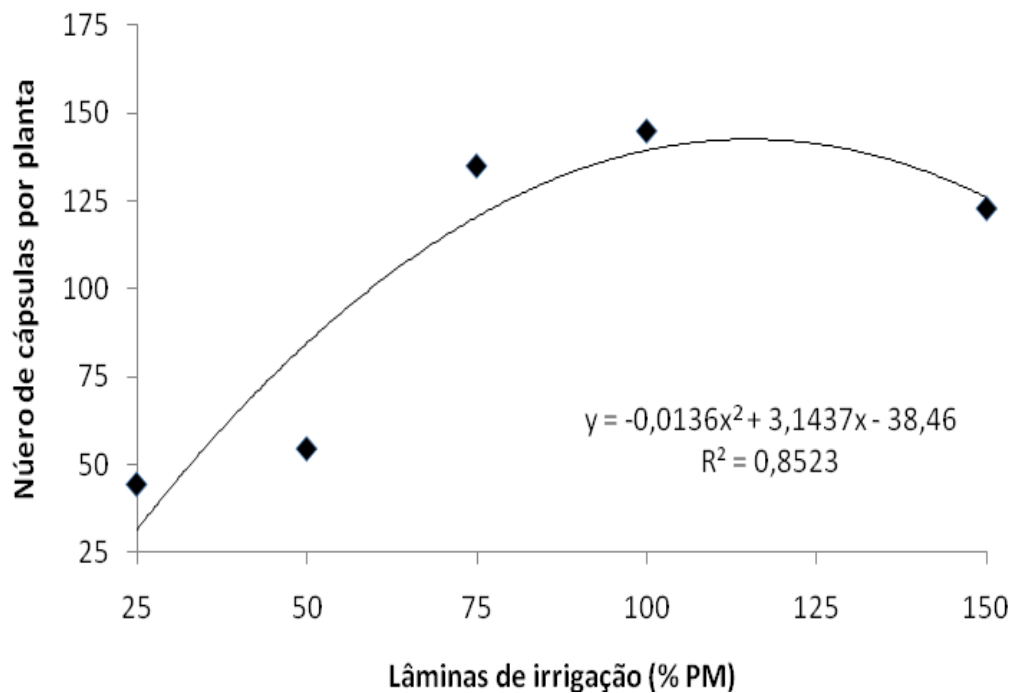


Figura 11 - Número de cápsula da planta de gergelim em função de lâminas de irrigação com base na ETo de PM, Fortaleza, Ceará, 2009.

Quando se compara à maior e a menor lâmina (150 e 25% da ETo de PM, respectivamente) com a lâmina considerada ótima, nota-se uma diferença na produtividade, em termos percentuais, de aproximadamente 13,7 e 74,5%, respectivamente.

Vale salientar a extrema proximidade nos dados de NCP e PROD, uma vez que, a lâminas que maximizaram a produção de cápsulas pelas plantas e a produtividade da cultura, foram de 115,5 e 116,5% da ETo da PM, respectivamente. E que, as variáveis vegetativas (PS e AP) responderam ao incremento de lâminas cada vez maiores ao contrario das variáveis produtivas (NCP e PROD), que alcançaram valores máximos, sob lâminas ligeiramente maiores que 100% da ETo de PM.

Azevedo *et al.* (2005 a), em experimento com lâminas de irrigação, com base na evaporação de água no tanque classe “A” na pimenteira, observaram que lâminas crescentes de irrigação aplicadas a partir do início da floração influenciam significativamente no peso médio de frutos e na produtividade de pimenta, mas não influenciam de modo significativo no peso da matéria fresca da parte aérea e no número de frutos por planta.

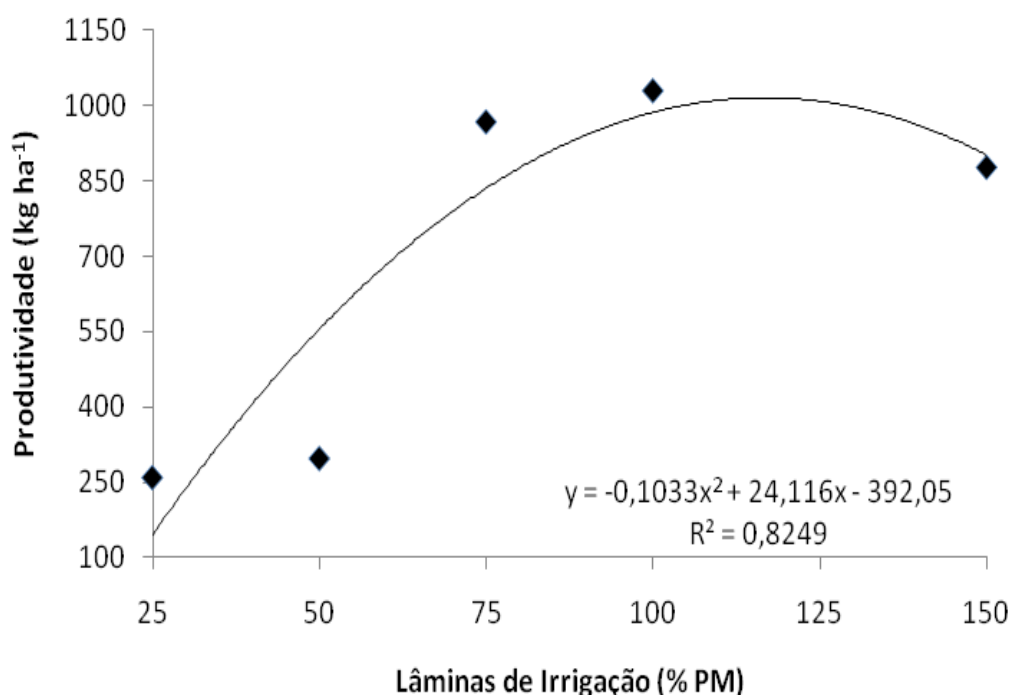


Figura 12 - Produtividade do gergelim em função de lâminas de irrigação com base na ETo de PM, Fortaleza, Ceará, 2009.

Em estudos com milho, Araújo, Sampaio e Medeiros (1999) observaram que as variáveis, número de espigas por hectare e rendimento dos grãos, foram influenciadas significativamente pelas lâminas de irrigação, seguindo um modelo linear, diferente do encontrado para o gergelim.

Azevedo *et al.* (2005 b), em experimento com melancia, testaram cinco níveis de irrigação, com base em: 25; 50; 75; 100 e 125% da evaporação no tanque Classe “A” (ECA), e verificaram que os níveis de irrigação influenciaram as variáveis peso, comprimento e perímetro médio dos frutos, e na produtividade da cultura, mas não influenciaram, pelos níveis de irrigação, a variável SST.

Sanches e Dantas (1999), em pesquisa em mamoeiro, afirmaram que a irrigação acarreta aumento na produtividade do mamoeiro, favorecendo os processos de crescimento, floração e frutificação da planta.

Já Azevedo e Bezerra (2008), avaliando a resposta de duas cultivares de bananeira: Prata Anã e Pacovan, submetidas a quatro lâminas de irrigação com base na evaporação do tanque classe “A” (1,5 ECA, 1,0 ECA, 0,75 ECA e 0,5 ECA), observaram resposta linear com relação à produtividade e que as diferentes lâminas de irrigação não afetaram as variáveis: número de pencas por cacho e número de frutos por penca. Entretanto,

foi observado que tanto a produtividade como o peso do cacho diminuíram, significativamente, com a redução da lâmina de irrigação aplicada.

Moreira *et al.* (2009), estudando o efeito de diferentes lâminas de irrigação na cultura da mamoneira, concluíram que as lâminas de irrigação influenciaram os fatores de produção como peso de 100 sementes e produtividades dos racemos de 2ª e 3ª ordens e produtividade total. E, afirmaram que, nas condições climáticas do Nordeste brasileiro, cultivos de oleaginosas com o uso de irrigação têm a sua produtividade aumentada.

4.2 Experimento II: Doses de nitrogênio e formas de aplicação

4.2.1 Adubação nitrogenada pelo método convencional e por fertirrigação

O resultado da análise de variância realizada nas variáveis: peso seco da planta (PS), altura da planta (AP), peso de 100 sementes (P100), peso das cápsulas (PC), número de cápsulas por planta (NCP) e produtividade (PROD), pode ser observado na Tabela 10.

De acordo com a análise de variância, ocorreu efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, tanto nas doses do adubo, quanto na forma de aplicação do mesmo, na cultura do gergelim, sobre: PS, NCP e a PROD. Com relação a: AP, P100 e o PC não foram observadas diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância das variáveis: peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e Produtividade (PROD) do gergelim, submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas de forma convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		PS (g)	AP (cm)	P100 (g)	PC (g)	NCP	PROD (kg ha ⁻¹)
Tratamento	6	2.590,1*	0,041 ^{ns}	0,0019 ^{ns}	0,1233 ^{ns}	1.385,7*	12.4885,1*
Bloco	3	203,17 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,0012 ^{ns}	2,11 ^{ns}	1.624,47*	5.0474,9*
Resíduo	18	349,43	0,019	0,0018	0,14	391,67	15.453,9
CV(%)		19,24	6,76	13,97	11,14	25,49	19,12
Média		97,17	2,06	0,3	3,4	72	650

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Dentre as variáveis PS, NCP e PROD, foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos (níveis de adubação) e entre as formas de aplicação do adubo (convencional e fertirrigação) com probabilidade de 5% pelo teste Tukey.

No que diz respeito à variável PS (Tabela 11), observa-se que o tratamento F_{125} , foi o que apresentou o maior peso seco de plantas entre os demais, diferindo estatisticamente dos tratamentos $C_{62,5}$ e Co , mas não sendo estatisticamente superior aos demais. Também pode-se observar, que os tratamentos onde foram aplicados via fertirrigação, obtiveram peso seco de plantas maiores que os tratamentos adubados de forma convencional, isto quando submetidos a mesma dosagem, e até mesmo quando comparados aos que foram adubados com dosagens maiores, como os tratamentos C_{125} , F_{250} e C_{250} , visto que no tratamento que continha a dose recomendada e foi aplicado de forma fertirrigado (F_{125}), as plantas pesaram cerca de 26% mais que o tratamento com o dobro da dose recomendada e aplicado de forma convencional (C_{250}).

Em relação à variável NCP, o tratamento F_{250} , apresentou o melhor resultado, produzindo no total 97,50 cápsulas, diferindo estatisticamente somente do tratamento controle (Co) que produziu 43,25 cápsulas por planta, sendo, portanto estatisticamente igual aos demais tratamentos. Contudo, é possível observar, que com exceção do tratamento controle, e levando em consideração os valores absolutos do número de cápsulas produzidas pela planta, a diferença entre o tratamento com maior e menor número de cápsulas (F_{250} com 97,50 e $C_{62,5}$ com 61,25 cápsulas, respectivamente), foi na ordem de 37%. Este tratamento (F_{250}), também, conseguiu produzir mais cápsulas por planta que o tratamento com o dobro da dose recomendada aplicado de forma convencional que produziu (69,25 cápsulas por planta). Além disso, esta variável confirma a mesma tendência, que os tratamentos fertirrigados apresentaram melhor desempenho (em valores absolutos), dentro e fora da mesma faixa de adubação.

Para a variável produtividade, o tratamento F_{125} , alcançou a maior produção dentre todos ($869,2 \text{ kg ha}^{-1}$), mas diferindo estatisticamente apenas do tratamento controle ($334,67 \text{ kg ha}^{-1}$). Apesar de não ter diferenciado estatisticamente dos demais tratamentos, este tratamento, em valor absoluto, conseguiu produtividade maior que o tratamento com o dobro da dose recomendada via convencional ($639,47 \text{ kg ha}^{-1}$) como fertirrigada ($807,2 \text{ kg ha}^{-1}$), alcançando uma produtividade de cerca de 26,5% e 7,1% maior, respectivamente.

Tabela 11 - Dados de Produtividade (PROD), peso seco da planta (PS) e número de cápsulas por planta (NCP) do gergelim submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009

TRATAMENTOS	VARIÁVEIS		
	PROD (kg ha ⁻¹)	P S (g)	NCP
Co	334,67 b	53,85 c	43,25 b
F _{62,5}	587,5 ab	89,1 abc	62,75 ab
C _{62,5}	582 ab	82,93 bc	61,25 ab
F ₁₂₅	869,2 a	129,07 a	90,25 a
C ₁₂₅	730,6 a	109,01 ab	79,75 ab
F ₂₅₀	807,2 a	121,16 ab	97,50 a
C ₂₅₀	639,47 a	95,0 abc	69,25 ab
Média	650	97,17	72

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Teixeira, Natale e Martins (2007), estudando o comportamento da bananeira em função da adubação convencional e fertirrigação, concluíram que a fertirrigação possibilitou reduzir a dose de N em relação à adubação convencional, sem prejuízo na produção de frutos.

Resultado diferente foi observado por Fernandes (2007), que comparou varias fontes de adubos nitrogenados, tanto em fertirrigação quanto em aplicação convencional, em cafeeiro, e verificaram que não apresentaram diferenças significativas em termos de produtividade, nem com relação à qualidade final do café. Em pesquisa com laranja, Duenhas *et al.* (2005), também, não conseguiram observar diferenças significativas entre as diferentes formas de aplicação dos fertilizantes (fertirrigação e adubação convencional), no que diz respeito a produtividade e qualidade do fruto.

A mesma tendência foi observada por Cruciane *et al.* (1998), que trabalhando com adubação nitrogenada de maneira convencional e fertirrigada, em solo de textura argilosa na cultura do feijão, não conseguiram observar diferença estatística significativa entre os dois métodos de aplicação do adubo.

Estes resultados são um indicativo de que não são todas as culturas que sofrem influencia direta na forma de aplicação dos nutrientes, mas algumas respondem melhor a um método que a outro.

4.2.2 Adubação nitrogenada no método convencional

A análise de variância realizada nos dados de PS, NCP e PROD, apresentaram diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F (Tabela 12). O mesmo comportamento não foi observado nas demais variáveis.

Tabela 12 - Análise de variância dos dados de peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e produtividade (PROD) do gergelim, submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2009

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		PS (g)	AP (cm)	P100 (g)	PC (g)	NCP	PROD (kg ha ⁻¹)
Tratamento	3	2206,9*	0,027 ^{ns}	0,0019 ^{ns}	0,269 ^{ns}	949,5*	114886,8*
Bloco	3	254,8 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,0017 ^{ns}	0,692*	878,1 ^{ns}	29786,1 ^{ns}
Resíduo	9	276,2	0,028	0,0021	0,169	267,6	12604,8
CV(%)		19,5	8,48	14,65	12,0	25,81	19,6
Média		85,2	2,0	0,31	3,41	63,3	571,6

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Na análise de regressão aplicada ao PS (Figura 13), verifica-se que a curva que melhor se ajustou aos dados foi a polinomial quadrática, apresentando coeficiente de determinação (R^2) de 98%. Observa-se que a medida em que se aumenta a dose de N, o peso seco da planta tende a aumentar, até um máximo 108,76 g quando aplicada uma dose de 163,28 kg ha⁻¹ de N e, após este valor, observa-se uma tendência de queda no peso seco da planta.

Com relação ao NCP, verifica-se, na Figura 14, que os dados se ajustaram a um modelo polinomial de segundo grau, com R^2 de 96%, indicando que os dados se ajustaram muito bem ao modelo. A curva revela uma tendência crescente na produção de cápsulas pelas plantas, alcançando um máximo de 73 cápsulas, com uma dose de 161,1 kg ha⁻¹ de N, reduzindo o número de cápsulas da planta após este valor.

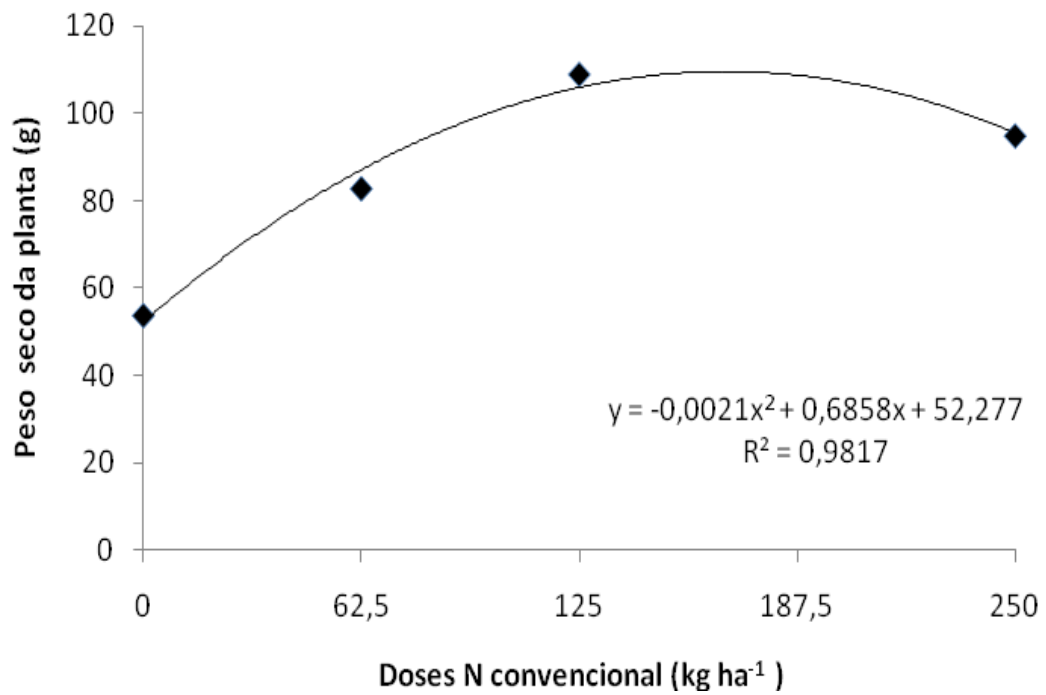


Figura 13 - Peso seco do gergelim em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas de forma convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

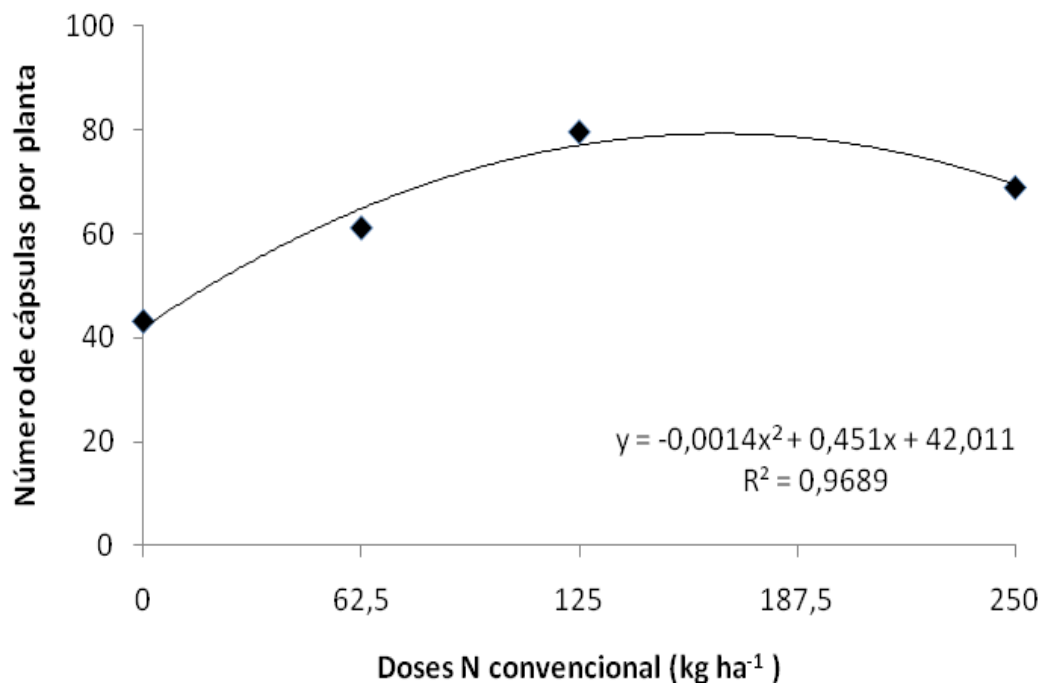


Figura 14 - Número de cápsulas por planta de gergelim em função da dose de nitrogênio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

Em relação à produtividade da planta (Figura 15), encontrou-se a mesma tendência observada nas variáveis anteriores. O modelo que melhor se ajustou foi o polinomial de segunda ordem, apresentando R^2 de 99%, significando uma adequação quase que perfeita dos dados ao modelo, e com uma produtividade máxima estimada em 750,94 kg ha⁻¹ quando adubado com 165,45 kg ha⁻¹ de N. A partir deste valor, também, se confirma a tendência de queda na produtividade, semelhante as demais variáveis analisadas.

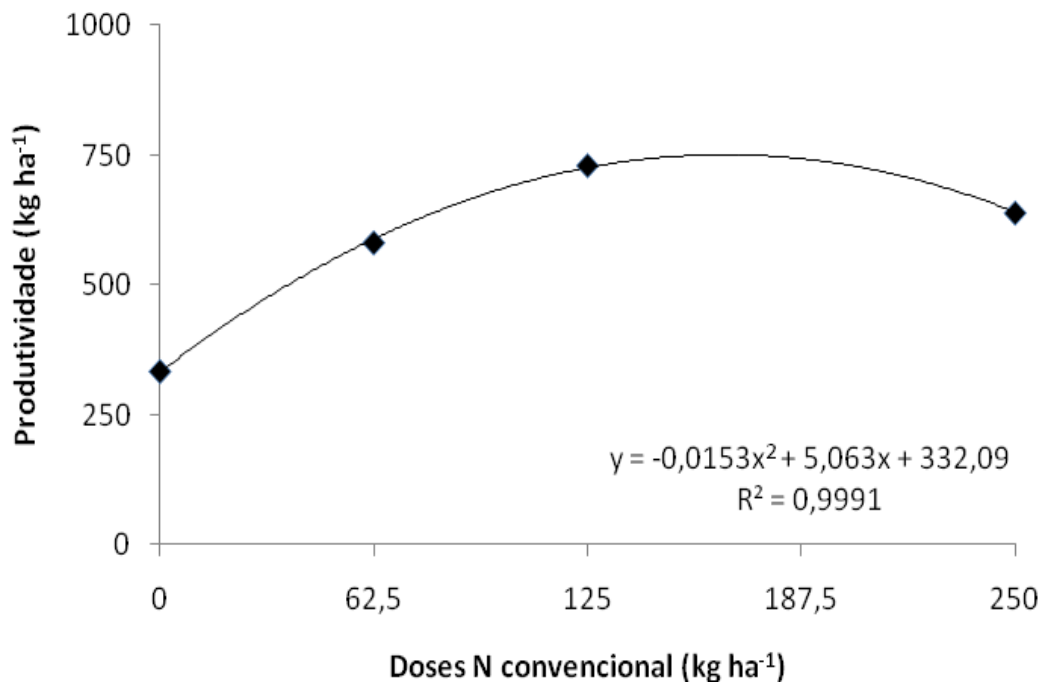


Figura 15 - Produtividade do gergelim em função da dose de nitrogênio aplicada pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

De acordo com o exposto foi possível observar que a dose de adubo que maximiza a produção situa-se no intervalo entre a dose recomendada pela cultura e o dobro desta dose (125 e 250 kg ha⁻¹ respectivamente). Ou seja, a dose recomendada então para a cultura do gergelim está fazendo com que a cultura não expresse todo o seu potencial.

Esta tendência na queda após um ponto de máxima produção das plantas, também foi observada por Oliveira (2008), quando adubando a cultura do sorgo com doses crescentes de N de maneira convencional. E esta tendência não se confirmou em experimento realizado por Von Pinho *et al.* (2008), trabalhando com adubação nitrogenada na cultura do milho. Os autores encontraram um comportamento linear da curva de resposta em função da dose de nitrogênio para a altura da planta e inserção da primeira espiga.

Almeida (1999) testou três doses distintas de N nas quantidades de 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ em cobertura na cultura do milho e do sorgo granífero submetidos à irrigação, e verificou que o rendimento das plantas de milho aumentou com o incremento na dose de nitrogênio aplicada em cobertura. Este comportamento não foi observado na cultura do sorgo.

Silva *et al.* (2007), avaliando doses crescentes de N em mamoneira (híbrido Sara), observaram que aos 100 dias após a semeadura, já se observava diferença estatística significativa em relação a alturas de plantas.

Em estudos realizados por Perin, Cruvinel e Silva (2010) utilizando adubação com NPK na cultura do gergelim, sob condições de solo com baixa e alta fertilidade, foi observado que a adubação promoveu aumento no peso seco da hastes e das cápsulas das plantas, no número de cápsulas e produção de grãos de gergelim, quando cultivado em solo de baixa fertilidade. E o cultivo de gergelim na safrinha, em solo de alta fertilidade, não respondeu à adubação química nos componentes da produção de matéria seca e rendimento de grãos.

Esse comportamento significativo nos atributos produtivos da cultura do gergelim é semelhante aos encontrados neste experimento, já que pela análise de solo realizada nota-se uma baixa fertilidade do solo.

4.2.3 Adubação nitrogenada via fertirrigação

A análise de variância empregada nos dados de PS, AP, NCP e PROD em função da dose de N por fertirrigação, revelou diferença estatística significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos, enquanto que para as variáveis: peso de 100 sementes e peso das cápsulas não foi observada tal diferença (Tabela 13).

Na análise de regressão realizada na variável PS, em função de doses crescentes de N, verifica-se que a curva que melhor se ajustou foi o modelo polinomial do segundo grau, com R^2 de 97% (Figura 16) A dose ótima de adubação nitrogenada aplicada via fertirrigação foi estimada em 181,99 kg ha⁻¹, proporcionando um peso de 130,58 g, e com tendência a decrescer este valor à medida que se aumenta a dose de adubo aplicada.

Tabela 13 - Análise de variância dos dados de peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e produtividade (PROD) do gergelim, submetido a diferentes doses de nitrogênio aplicadas por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		PS (g)	AP (cm)	P100 (g)	PC (g)	NCP	PROD (kg ha ⁻¹)
Tratamento	3	4698,1*	0,072*	0,0006 ^{ns}	0,152 ^{ns}	2516,22*	234857,3*
Bloco	3	563,5 ^{ns}	0,027 ^{ns}	0,0009 ^{ns}	0,835*	1081,06 ^{ns}	29028,1 ^{ns}
Resíduo	9	230,3	0,011	0,0021	0,154	468,45	16142,4
CV(%)		15,4	5,21	15,59	11,6	29,45	19,56
Média		98,27	2,0	0,29	3,38	73,43	649,62

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

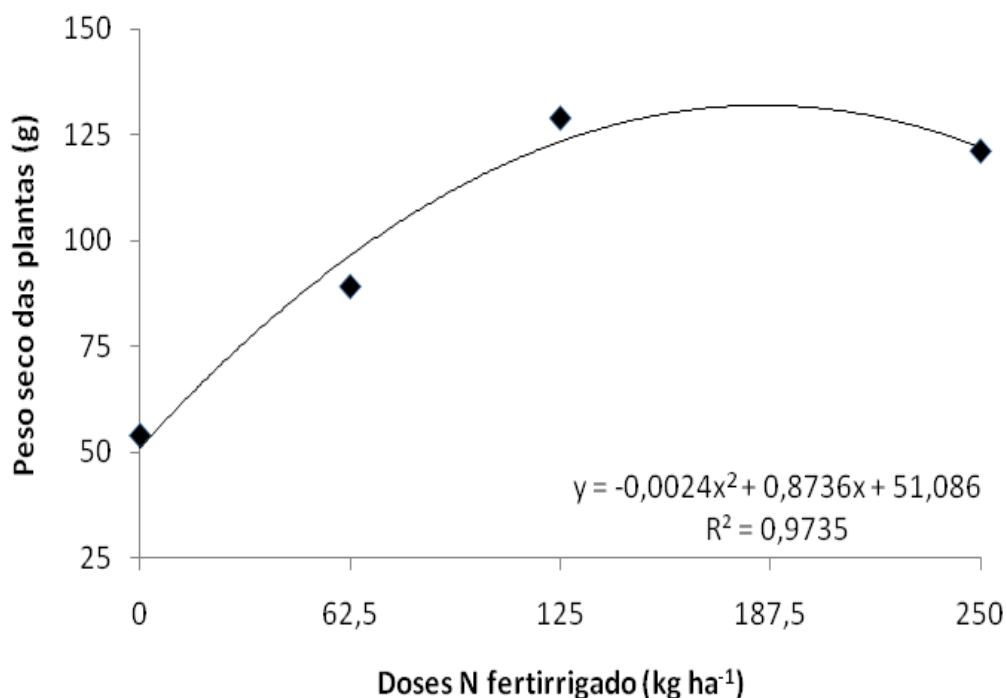


Figura 16 - Peso seco da planta de gergelim em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009.

Na figura 17 observa-se a curva de regressão dos dados de AP. Verifica-se um comportamento dos dados ajustando-se ao modelo polinomial quadrático, com R^2 de 88%, indicando um bom ajuste dos dados ao modelo. Mesmo consciente que a dose máxima de N aplicada via fertirrigação foi de 250 kg ha⁻¹, observamos, que à medida que se aumenta a dose de N ocorre um aumento na altura das plantas. Este crescimento chega ao máximo de 2,26 m

quando adubado a 269,99 kg ha⁻¹ de N, ou seja, uma dose quase 10% maior que o dobro da dose recomendada para a cultura. Este resultado só vem confirmar que a cultura do gergelim também responde bem a altas doses de adubação nitrogenada.

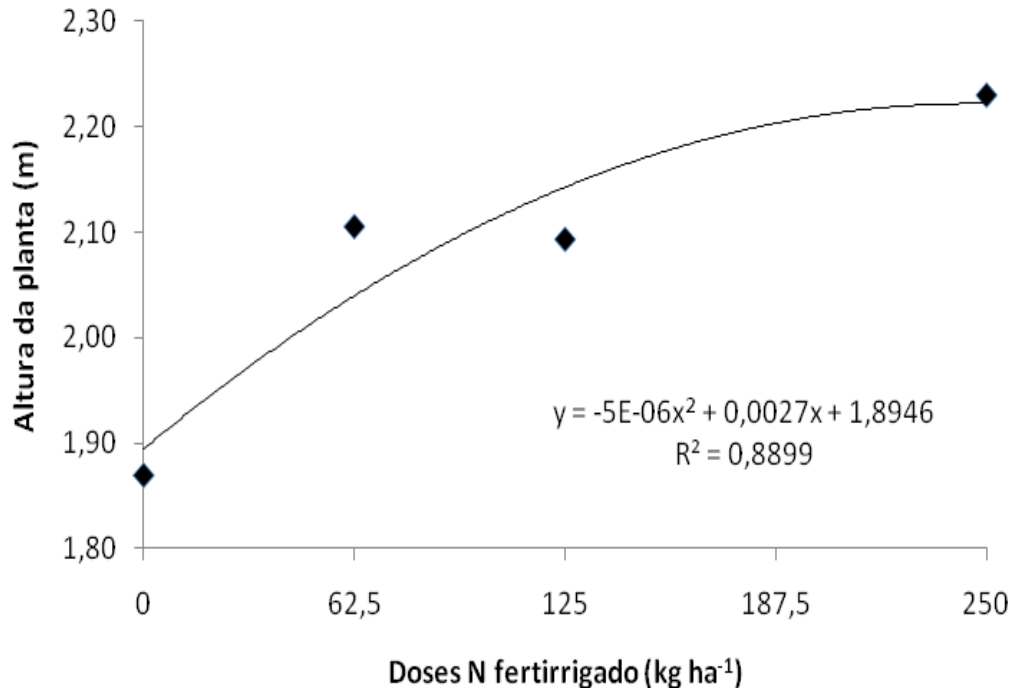


Figura 17 - Altura da planta de gergelim em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009.

No que diz respeito ao NCP (Figura 18), observou-se na análise de regressão realizada nos dados um comportamento polinomial quadrático, apresentando R² de 97%, indicando um bom ajuste dos dados a este modelo. Além disso, a dose de N aplicada por fertirrigação que maximizou a produção de cápsulas da planta foi estimada em 244,5 kg ha⁻¹, quase que o dobro da dose de N recomendada para a cultura. Esta dose proporcionou uma produção de 101 cápsulas por planta, confirmando a tendência anterior de que a altura da planta pode estar ligada a quantidade de cápsulas produzidas pelas mesmas, e que a planta responde bem a doses crescentes de adubação nitrogenada aplicada via fertirrigação. É possível notar também uma discreta tendência a queda no número de cápsulas das plantas com doses superiores a 244,5 kg ha⁻¹.

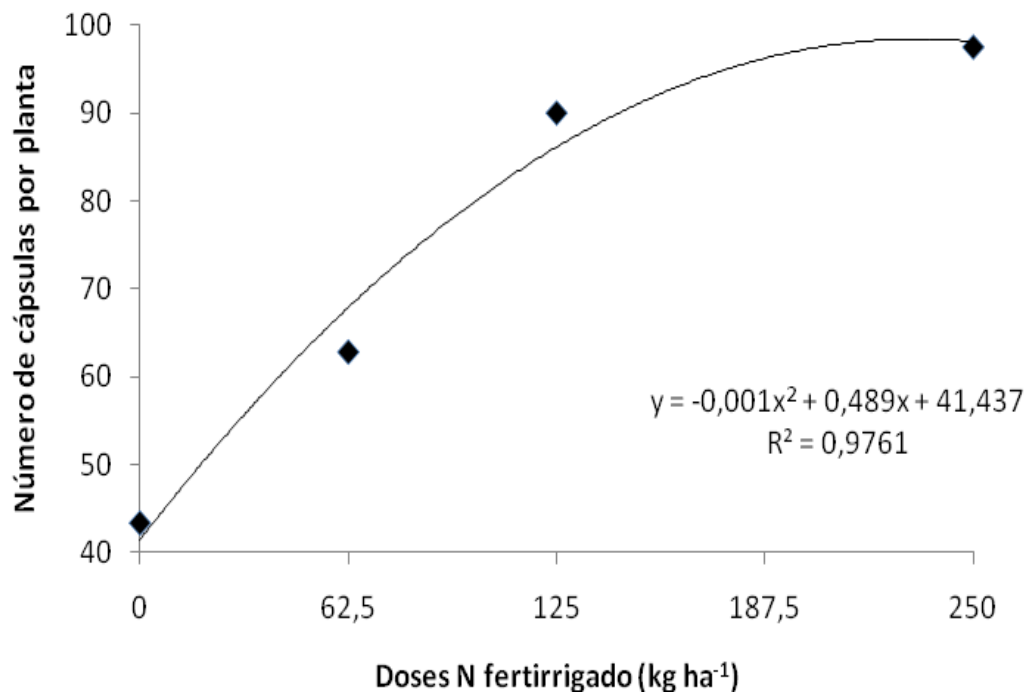


Figura 18 - Número de cápsulas por planta de gergelim em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009.

A análise de regressão realizada na variável PROD revelou um comportamento dos dados ajustando-se a uma curva polinomial do segundo grau, apresentando R^2 de 97%, indicando um bom ajuste dos dados ao modelo.

A produtividade, não apresentou comportamento semelhante aos apresentados pelas variáveis NCP e AP, o que seria esperado, já que são variáveis dependentes. Observa-se, na Figura 19, que a produtividade encontra um ponto de máxima de $889,47 \text{ kg ha}^{-1}$ para uma dose de $183,76 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, e este valor é quase 47% a mais do que o recomendado pela cultura.

Como foi observado, a adubação nitrogenada na cultura do gergelim apresenta uma tendência a reduzir os efeitos de incrementos produtivos após uma dosagem considerada ótima. Este efeito também pode ser observado em outras culturas.

Mendonça *et al.* (1999), trabalhando com fertirrigação nitrogenada na cultura do milho, observaram que o nitrogênio apresentou influência na planta, apresentando diferenças significativas tanto nas variáveis produtivas quanto nas de crescimento. Os mesmos autores, também, ressaltam a importância de se construir a função de produção na cultura, sendo possível estimar a máxima produção de grãos das culturas.

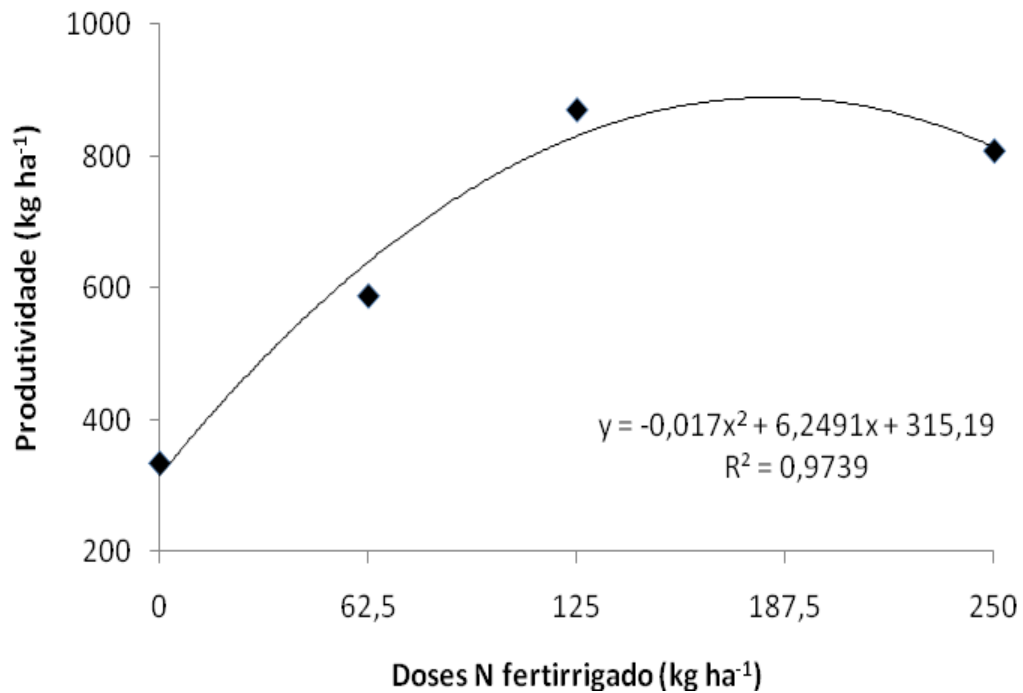


Figura 19 - Produtividade do gergelim em função da dose crescente de nitrogênio aplicada via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009.

Este mesmo comportamento foi observado, em parte, por Andrade Júnior *et al.* (2006), que realizaram experimento com doses de nitrogênio de (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹), em melancia, e 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. Mas os mesmos autores também afirmaram que os parâmetros de qualidade dos frutos de melancia não foram afetados pela dose de nitrogênio aplicada via fertirrigação. O mesmo comportamento foi verificado para o gergelim, que obteve em todas as suas variáveis analisadas, uma tendência dos dados a se ajustarem ao modelo polinomial quadrático.

Araújo *et al.* (2009) estudaram o comportamento do pimentão fertirrigado com doses crescentes de nitrogênio, e observaram comportamentos diferentes com relação a frutos comerciais e não comerciais. Eles observaram que o comprimento dos frutos e o número de frutos não comerciais do pimentão não foram influenciados pelas doses de nitrogênio, mas o diâmetro, peso médio e número de frutos total e comercial do pimentão, foram influenciados de forma linear e positiva pelas doses de nitrogênio enquanto que o número de frutos por planta não comerciais foi influenciado pelas doses de nitrogênio de forma quadrática.

O decréscimo da produtividade com a aplicação de doses mais elevadas de nitrogênio é observada tanto na adubação convencional quanto na fertirrigação e Borges, Caldas e Lima (2006) assinalam que pode ser possivelmente atribuído à função do N no crescimento vegetativo, resultando em alta produção de folhas e diminuição do número de flores.

4.3 Experimento III: Doses de K₂O e formas de aplicação

4.3.1 Adubação potássica pelo método convencional e por fertirrigação

Os dados da análise de variância variáveis produtivas do gergelim estão dispostos na Tabela 14. Pode-se observar que houve diferença estatística significativa com nível de 5% de significância pelo teste F para as variáveis: PS e NCP, AP e PROD. As demais variáveis: P100 e PC não foram encontradas diferença estatística significativa.

Tabela14 - Análise de variância das variáveis: peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e Produtividade (PROD.), na cultura do gergelim, submetido a diferentes doses de potássio aplicadas de forma convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		PS (g)	AP (cm)	P100 (g)	PC (g)	NCP	PROD (kg ha ⁻¹)
Tratamento	6	3406,67*	0,211*	0,145 ^{ns}	0,142 ^{ns}	1568,83*	110260,7*
Bloco	3	837,23 ^{ns}	0,849 ^{ns}	0,111 ^{ns}	0,575 ^{ns}	206,25 ^{ns}	7087,047 ^{ns}
Resíduo	18	433,61	0,3415	0,588	0,621	384,41	12658,80
CV(%)		19,218	2,678	7,920	7,127	23,936	18,36
Média		108,35	2,18	0,30	3,49	81,91	612,70

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 15 estão dispostos os dados médios das variáveis que obtiveram efeito significativo entre os tratamentos (Níveis de adubação e forma de aplicação do adubo) e o resultado teste de Tukey a 5% de significância, realizado nas mesmas.

Pode-se observar que, com relação à variável PS, o tratamento F₃₀₀ destacou-se dos demais como o que apresentou o maior peso seco de plantas (131,6 g), diferindo do estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% dos tratamentos: Co, F₁₅₀, e F₇₅, (69,13, 84,00 e 93,26) respectivamente, mas não diferindo dos demais. O tratamento F₃₀₀ quando comparado ao tratamento C₃₀₀, observa-se que, em termos absolutos, o peso seco das plantas foi cerca de 27% maior. Outro fato observado foi que, quando se compara as formas de aplicação do adubo dentro das mesmas doses, a forma de aplicação convencional apresentou os maiores pesos das plantas em doses menores (metade da dose recomendada e a dose recomendada), e o contrário foi observado quando se compara a maior dose (o dobro da dose recomendada).

Com relação a variável NCP, podemos observar o mesmo comportamento observado na variável anterior. Em doses relativamente menores de K, a adubação convencional alcançou produções de cápsulas por plantas maiores que a fertirrigação, em dosagens iguais, e quando se aplica o dobro da dose recomendada para a cultura, a fertirrigação (tratamento F₃₀₀) favoreceu a maior produção de cápsulas pelas plantas (101 cápsulas), diferindo estatisticamente somente do tratamento controle (Co).

Com relação a AP, o tratamento C₁₅₀ foi onde se observou a maiores plantas (2,27 m), diferindo estatisticamente ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste Tukey dos tratamentos: F₁₅₀ e Co, com alturas de 2,09 e 2,08 respectivamente. A tendência de comportamento observada nas duas variáveis anteriores se manteve, com a diferença que a adubação com a dose recomendada, foi a que obteve maiores alturas de plantas.

No que diz respeito à variável produtividade, o tratamento C₇₅ foi estatisticamente superior aos demais pelo teste de Tukey com 5% de significância, alcançando uma produtividade média entorno de 843 kg ha⁻¹, não diferindo, apenas, dos tratamentos: C₁₅₀ e F₃₀₀. Nesta variável observa-se uma grande variabilidade entre as médias das produtividades entre os tratamentos, em que o tratamento de maior produtividade foi mais de 55% maior que o tratamento controle (377,57 kg ha⁻¹). Ainda se observa que com relação a adubação com K, a forma de aplicação convencional foi estatisticamente superior que a forma fertirrigada quando aplica-se a dose recomendada e a metade desta dose.

O que chama atenção nos dados destas variáveis, é que com exceção da variável PS, ao contrario do comportamento observado na adubação nitrogenada, os tratamentos que demonstraram melhores respostas, foram os tratamentos via adubação convencional, rebatendo a tendência observada anteriormente, em que a fertirrigação havia se destacado como a de melhor desempenho para a cultura, sob adubação nitrogenada. Esta observação pode estar ligado ao comportamento do adubo na solução do solo e sua concentração próxima

as raízes da planta, pois o K é um nutriente muito facilmente lixiviado no solo, e dependendo da quantidade de cargas negativas do solo em determinado momento, pode ficar livre na solução e movido para camadas mais profundas, sem possibilidades de ser absorvidos pelas raízes (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

Tabela 15 - Dados de Produtividade (PROD), peso seco da planta (PS) e número de cápsulas por planta (NCP) e altura de planta (AP) de gergelim submetido a diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009

TRATAMENTOS	VARIÁVEIS			
	PROD (kg ha ⁻¹)	PS (g)	NCP	AP (m)
Co	377,57d	69,13b	51,81b	2,08c
F ₇₅	547,64bcd	93,26b	73,21ab	2,15abc
C ₇₅	843,87 ^a	115,26ab	99,26a	2,22ab
F ₁₅₀	487,35cd	84,00b	63,06ab	2,09bc
C ₁₅₀	792,91ab	142,26a	100,46a	2,27a
F ₃₀₀	665,31abc	147,73a	101,00a	2,23a
C ₃₀₀	574,28bcd	106,80ab	84,55ab	2,19abc
MÉDIA	612,70	108,35	81,91	2,18

4.3.2 Adubação potássica no método convencional

No que diz respeito ao comportamento da cultura quando adubada apenas pelo método convencional, é possível observar na Tabela 16 o resultado da análise de variância realizada em todas as variáveis. Nota-se que as variáveis, PS, AP, NCP e PROD, mostraram diferença estatística significativa ao nível de 5% de probabilidade, o que não foi observado nas demais variáveis: PC e P100.

Na Figura 20 é possível observar o comportamento da variável peso seco da planta adubado de maneira convencional e em função de doses crescentes de K (0, 75, 150, 300 kg ha⁻¹). Nota-se que os dados se ajustaram a uma regressão polinomial do segundo grau, com R² de 99%, indicando um perfeito ajuste dos dados ao modelo. A disposição dos dados sugere que à medida que se aumenta as doses de K aplicadas, cresce o peso seco das plantas

até um ponto de máximo peso (143,8 g) se aplicada uma dose de 181,3 kg ha⁻¹, e a partir desse valor verifica-se uma resposta negativa dos dados a adições maiores de K.

Tabela 16 - Análise de variância dos dados de peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e Produtividade (PROD.) de gergelim, submetido a diferentes doses de potássio, aplicadas de maneira convencional, Fortaleza, Ceará, 2009

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		PS (g)	AP (cm)	P100 (g)	PC (g)	NCP	PROD (kg ha ⁻¹)
Tratamento	3	3651,37*	0,253*	0,245 ^{ns}	0,183 ^{ns}	2053,71*	183905,4*
Bloco	3	262,06 ^{ns}	0,217 ^{ns}	0,117 ^{ns}	0,148 ^{ns}	289,50 ^{ns}	17445,1 ^{ns}
Resíduo	9	120,90	0,348	0,104	0,523	280,87	13948,5
CV(%)		10,14	0,348	10,65	6,678	19,94	18,25
Média		108,36	2,19	0,30	3,42	84,02	647,16

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

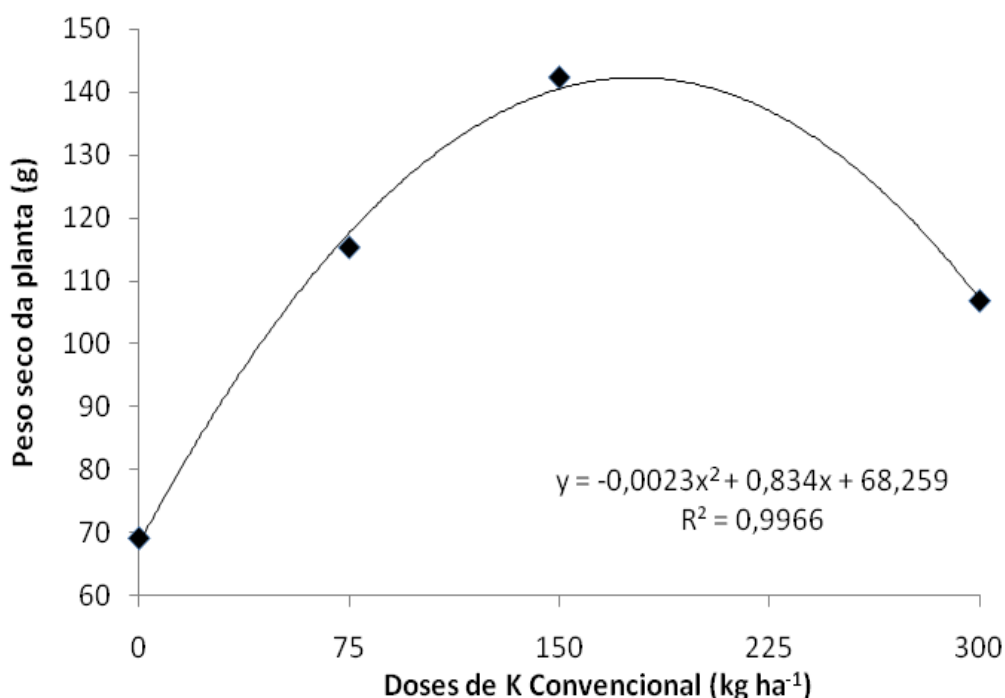


Figura 20 - Peso seco da planta de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

A curva de regressão realizada na variável AP (Figura 21) mostrou-se ajustar a uma polinomial do segundo grau, com R² de 99%, evidenciando o perfeito ajuste dos dados ao modelo. A curva sugere que à medida que há um aumento nas doses de K, ocorre um

aumento no tamanho médio das plantas, atingindo uma altura máxima de 2,29 m, adubando-se com 183,33 kg ha⁻¹ de K, e após esse valor observa-se uma tendência de queda na altura da planta.

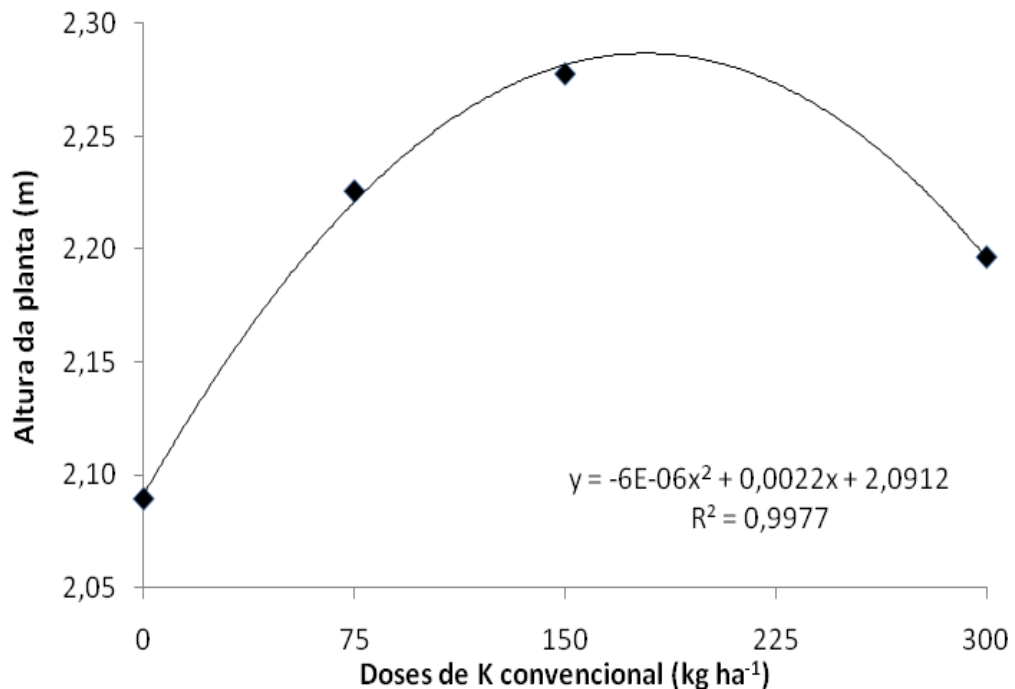


Figura 21 - Altura da planta de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

Os dados de NCP (Figura 22), também comportaram-se segundo um modelo polinomial quadrático de regressão, com R² de 91%, indicando um excelente ajuste dos dados ao modelo empregado. Observa-se, que semelhante as outras variáveis, a planta produz mais cápsulas a medida que se aumenta a doses de K, e que se adubada a 175,85 kg ha⁻¹ de K, pode-se obter uma produção de aproximadamente 108 cápsulas por planta, caindo o número de cápsulas à medida que se aumenta a dose de K.

Com relação à produtividade da cultura (Figura 23), nota-se a mesma tendência dos dados observada nas variáveis anteriores. O modelo de regressão que mais se ajustou aos dados foi o modelo polinomial do segundo grau, com R² de 86%, indicando um bom ajuste dos dados ao modelo. Verifica-se que a produtividade da cultura cresce com o aumento das doses de K aplicada, atingindo um ponto de máxima produtividade de 874,25 kg ha⁻¹ quando aplicada uma dose de 164,0 kg ha⁻¹, a partir desse valor, a planta não mais responde ao aumento na adubação com K, reduzindo a produtividade com adição de doses maiores.

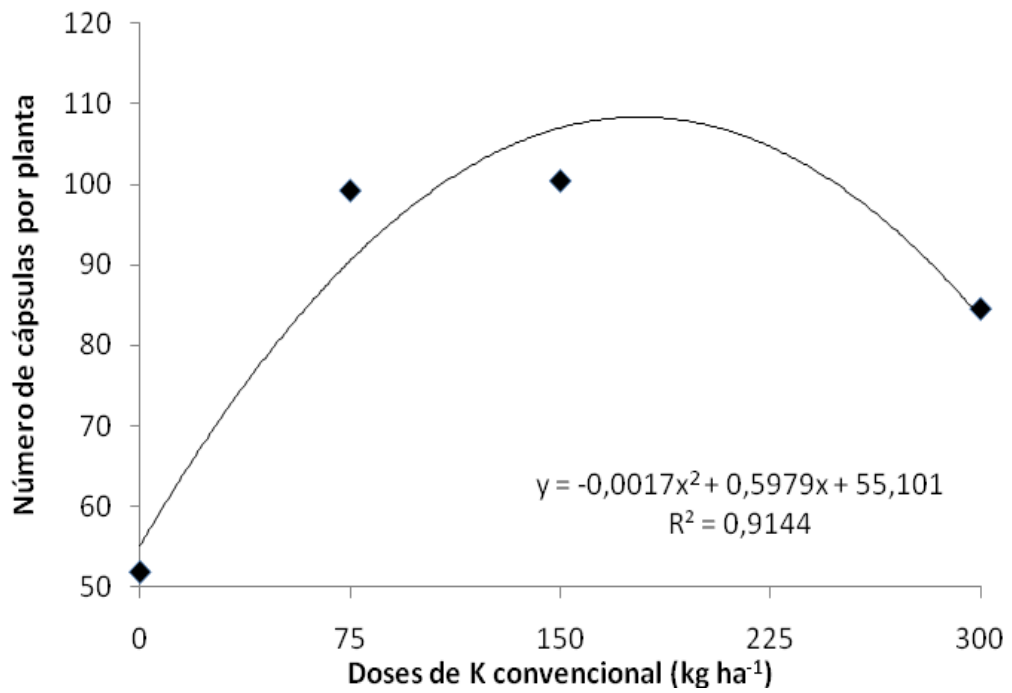


Figura 22 - Número de cápsulas de gergelim em função de doses crescentes de potássio pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

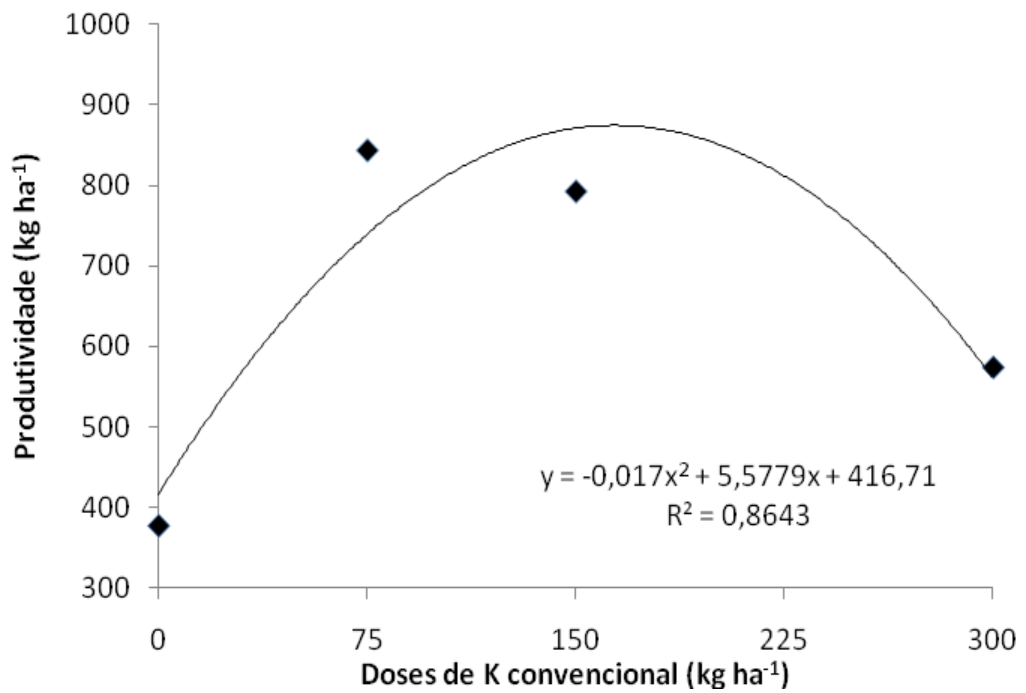


Figura 23 - Produtividade do gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

Semelhante ao que já foi observado no experimento anterior com doses de nitrogênio aplicadas de modo convencional, também se pode observar que as doses de potássio que maximiza as variáveis produtivas da planta, encontra-se entre a dose recomendada e o dobro da dose recomendada (150 e 300 kg ha⁻¹ respectivamente) para a cultura.

Balamurugan e Venkatesan (1983) estudaram a influência do potássio em vários caracteres da cultura do gergelim, como: número de ramos primários, número de cápsulas, produção de sementes, e concluíram que o número de ramos e cápsulas aumentou com os níveis crescentes de K empregados a cultura. Além disso, Blanco, Folegatti e Henriques Neto (2008) observaram que o aumento das doses de K aplicadas na cultura do tomateiro, elevou o teor de prolina (um dos aminoácidos codificados pelo código genético, sendo, portanto, um dos componentes das proteínas dos seres vivos) nas folhas do tomateiro.

Já em pesquisas realizadas por Deparis, Lana e Frandoloso (2007), que estudaram a adubação potássica na cultura do milho, verificaram aumento da produção de biomassa seca da parte aérea, muito embora, no que diz respeito à produtividade da cultura, esses mesmos autores, afirmaram não ter havido diferença estatística significativa. Este resultado não condiz com o observado no gergelim, que obteve ganhos crescentes com o aumento da dose de potássio e em seguida uma queda em decorrência de adubação excessiva, provavelmente devido competição do K (carga elétrica positiva) pelo sítio de ligação com as argilas (carga elétrica negativa), aumentando a soma de bases do solo e inibindo a expressão de outros nutrientes.

4.3.3 Adubação potássica via fertirrigação

Na Tabela 17 pode-se observar o resumo da análise de variância aplicado nos dados referentes às variáveis: PS, AP, P100, PC, NCP e PROD. No entanto, não se verificou efeito significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F em apenas uma das variáveis (P100). Todas as demais variáveis, portanto, demonstraram ser estatisticamente significativas.

Tabela 17 - Análise de variância dos dados de peso seco da planta (PS); altura da planta (AP); peso de 100 sementes (P100); peso das cápsulas (PC); número de cápsulas por planta (NCP) e Produtividade (PROD.) de gergelim, submetido a diferentes doses de potássio, aplicadas via fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2009

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		PS (g)	AP (cm)	P100 (g)	PC (g)	NCP	PROD (kg ha ⁻¹)
Tratamento	3	4698,60*	0,195*	0,195 ^{ns}	0,271*	1772,46*	57639,6*
Bloco	3	808,99 ^{ns}	0,159 ^{ns}	0,779 ^{ns}	0,117 ^{ns}	317,11 ^{ns}	6566,4 ^{ns}
Resíduo	9	735,72	0,442	0,473	0,415	362,63	6019,8
CV(%)		27,52	3,10	7,253	5,86	26,34	14,93
Média		98,53	2,14	0,30	3,47	72,27	519,47

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com a análise de regressão realizada na variável PS e observada na Figura 24, é possível notar, que o modelo de regressão que melhor se ajustou aos dados, foi o modelo polinomial quadrático, apresentando R² em torno de 82%, o que pode ser considerado como um bom ajuste. Na figura é possível observar o ponto de inflexão máxima da curva, indicando que à medida que se aumenta as doses de K, ocorre um acréscimo no peso seco da planta, atingido um máximo de 134,82 g se adubado com 167,4 kg ha⁻¹ de K. Verifica-se ainda, que doses maiores que essa, provocou uma redução no peso seco da planta.

Os dados referentes à variável AP adequaram-se ao modelo de regressão do tipo polinomial do segundo grau, com R² de 92%, indicando um excelente ajuste dos dados ao modelo (Figura 25). Verifica-se que o comportamento da altura da planta cresce, à medida que se aumenta a dose de K, atingindo uma altura máxima de 2,21 m, se submetido a uma adubação de 150 kg ha⁻¹ de K, ou seja, exatamente o recomendado para a cultura. Verifica-se ainda que, após este ponto, a média da altura das plantas cai bruscamente, não respondendo mais a adição de K.

Com relação ao peso das cápsulas, verifica-se na Figura 26, que o modelo de regressão que mais se ajustou aos dados de PC, foi o polinomial do segundo grau, obtendo um R² de 99%, ajustando-se perfeitamente ao modelo. Nota-se, que o incremento na adubação com K, favorece um aumento no peso das cápsulas, e que, a dose de K de foi a que proporcionou o peso máximo das cápsulas por planta, caindo conseqüentemente, à medida que se aumentou a dose de K aplicada.

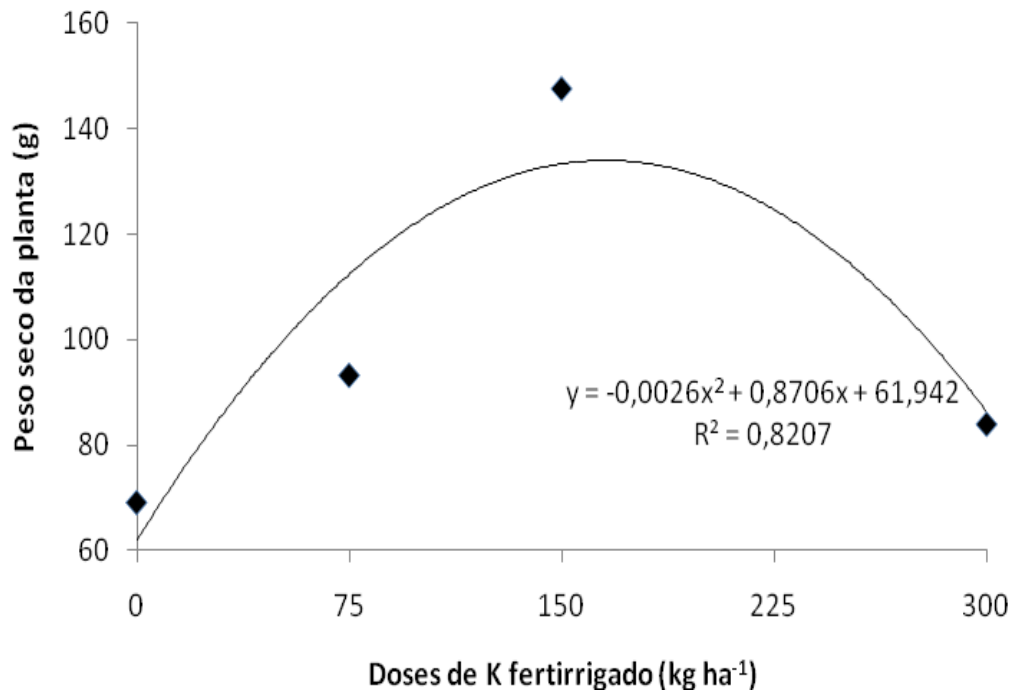


Figura 24 - Peso seco da planta de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

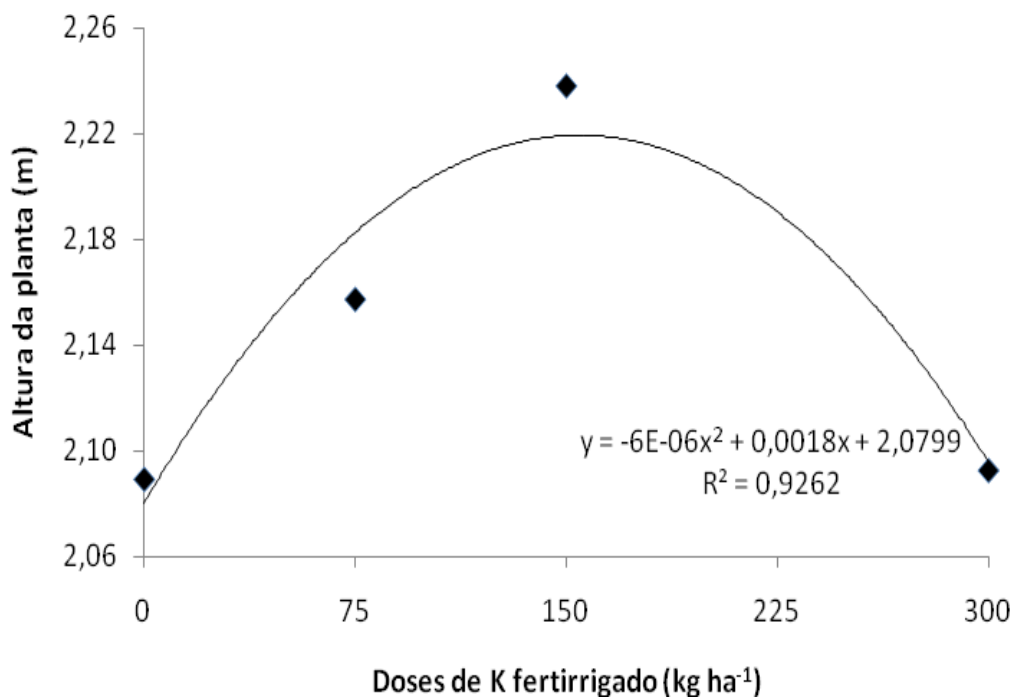


Figura 25 - Altura da planta de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

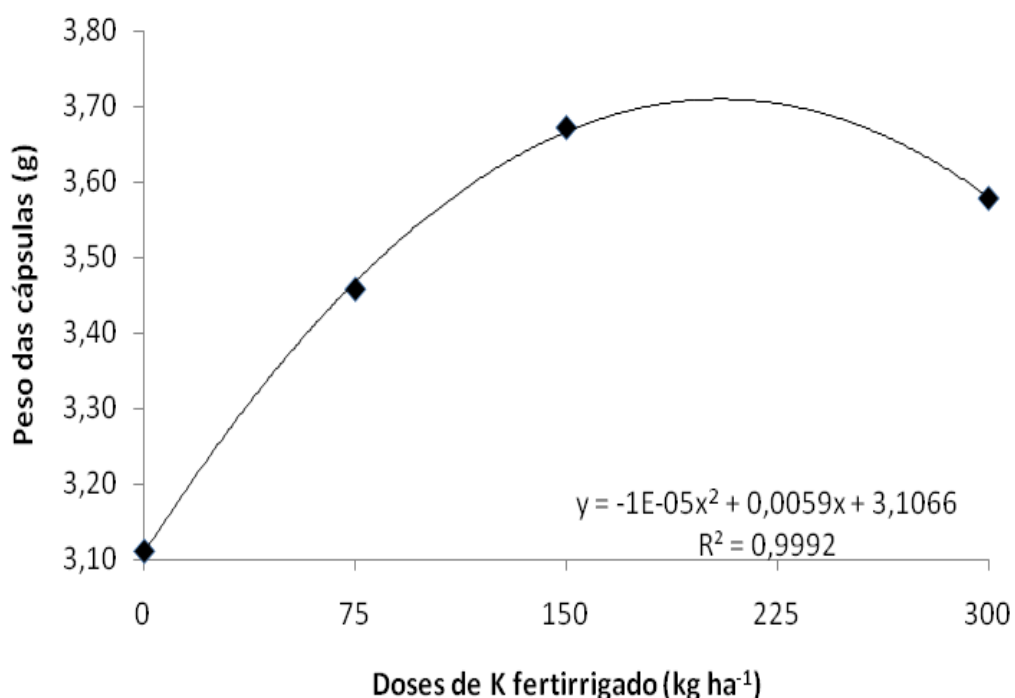


Figura 26 - Peso das cápsulas de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

No que se refere ao NCP, verifica-se na Figura 27, que os dados ajustaram-se ao modelo de regressão do tipo polinomial do segundo grau, com R^2 indicando um excelente ajuste (91%). O comportamento dos dados indica que à medida que se aumenta a adubação com K, a planta produz cada vez mais cápsulas, estimando um número máximo de 95,5 cápsulas, se aplicada uma dose de 165,8 kg ha⁻¹ de K, o que representa quase 10% a mais que o recomendado para a cultura (150 kg ha⁻¹). Em seguida, com o aumento da dose de K, a planta não consegue mais responder positivamente, caindo drasticamente o NCP quando se aumenta a dose de K.

A produtividade da cultura também se comportou de maneira semelhante às outras variáveis analisadas. Verifica-se que os dados se ajustaram ao modelo de regressão do segundo grau, apresentando um R^2 de 98%, indicando um perfeito ajuste dos dados ao modelo (Figura 28). Nota-se, que a produtividade da cultura cresce à medida que se aumenta a dose de K, estimando uma produtividade máxima de 656,26 kg ha⁻¹ se aplicado uma dose de 170,7 kg ha⁻¹ de K, esse valor é, aproximadamente, 12% maior que o recomendado para a cultura (150 kg ha⁻¹).

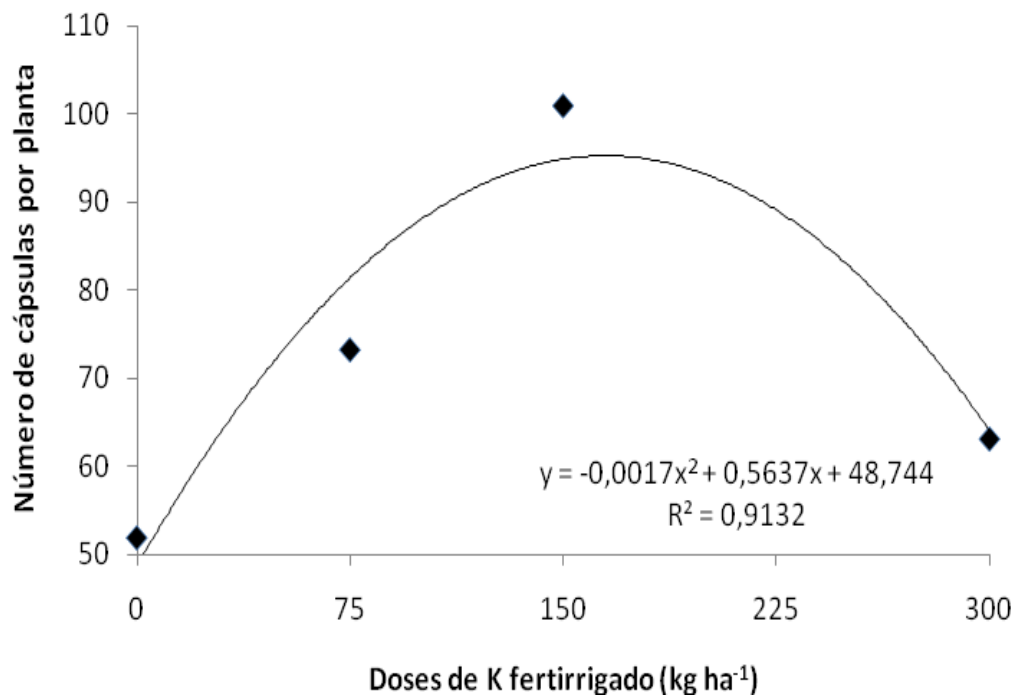


Figura 27 - Número de cápsulas de gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

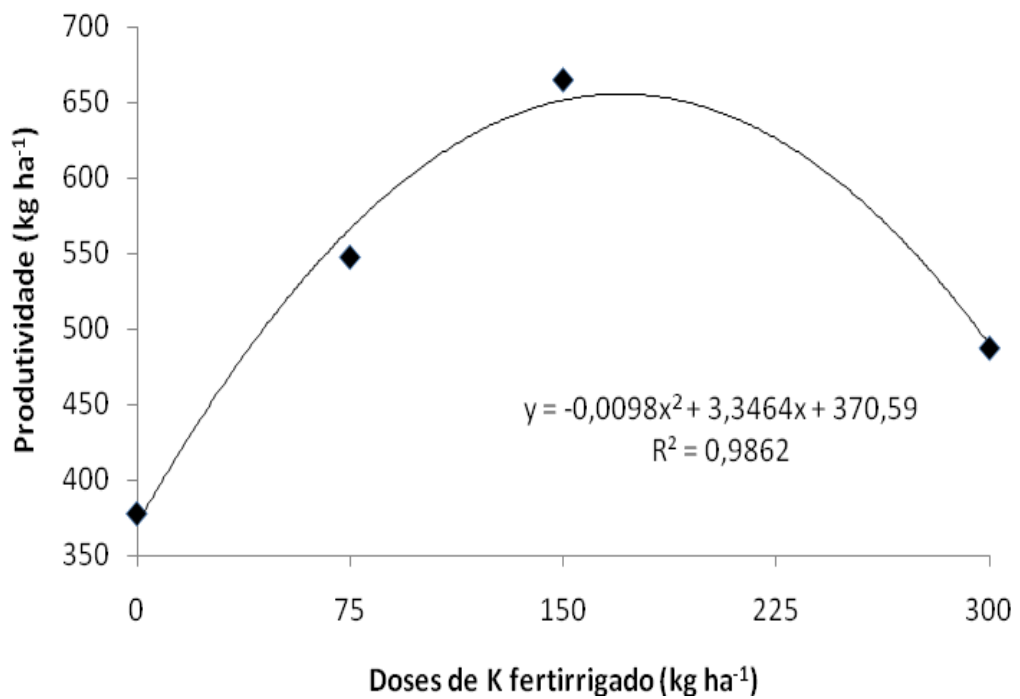


Figura 28 - Produtividade do gergelim em função de doses crescentes de potássio aplicadas pelo método convencional, Fortaleza, Ceará, 2009.

De acordo com o observado, verifica-se que com exceção da AP, todas as variáveis obtiveram valores maiores, quando adubado com doses de K maiores que o recomendado para a cultura (150 kg ha^{-1}).

Viana *et al.* (2008) avaliaram o comportamento do mamão formosa fertirrigado com nitrato de potássio e constataram que: a utilização de maiores dosagens de nitrato de potássio aumenta o número de frutos por planta, até certo valor limite caindo, conseqüentemente, o número de frutos da planta com doses maiores de K, e que a aplicação de maiores doses de nitrato de potássio contribuíram para o aumento do comprimento médio do fruto.

Andrade Júnior *et al.* (2005), obtiveram curvas de resposta semelhantes a do gergelim quando testaram varias doses de adubação potássica aplicadas via fertirrigação na cultura do melão, obtendo resposta significativa apenas para a produção da planta, mas não no que tange a qualidade do fruto. Entretanto, Ribeiro *et al.* (2009) estudaram o comportamento da mamoneira (variedade Paraguaçu), submetida a cinco doses de K_2O , variando de 30 a 150 kg ha^{-1} , mas não encontraram diferença significativas entre as variáveis analisadas altura, diâmetro e área foliar. E afirmaram que os tratamentos com P afetam mais o crescimento da planta que os com K.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos e as condições de realização dos experimentos permitiram as seguintes conclusões:

A dose de adubo nitrogenado que maximizou a produção do gergelim foi de $183,76 \text{ kg ha}^{-1}$, ou seja, os produtores podem adotar uma adubação maior que a recomendada, com o intuito de obter uma maior produtividade, podendo aplicar o fertilizante pelo método que for mais econômico ou que apresentar maior facilidade.

A dose de potássio que maximizou ($170,4 \text{ kg ha}^{-1}$) a produtividade e as outras variáveis analisadas foi próxima à recomendada. Desta forma, os produtores da região podem aplicar a dose recomendada, pelo método que for mais econômico ou que apresentar maior facilidade.

As lâminas de irrigação, aplicadas a partir do trigésimo dia após o plantio, influenciaram significativamente o peso seco da planta, a altura da planta, o número de cápsulas por planta e a produtividade do gergelim. E, a lâmina de irrigação que maximizou a produtividade do gergelim foi estimada em 116,5% com base na ETo de PM. Este valor corresponde a um Kc de 1,165, maior que os valores apresentados na bibliografia.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; PAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 328 p. 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

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.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p. 21-25, 1999.

AMARAL, J. A. B.; SILVA, M. T. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do gergelim por manejo de irrigação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 25-33, 2008.

ANDRADE JUNIOR, A. S.; DIAS, N. S.; FIGUEIREDO JÚNIOR, L. G. M.; RIBEIRO, V. Q.; SAMPAIO, D. B. Produção e qualidade de frutos de melancia à aplicação de nitrogênio via fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, 2006.

AQUINO, A. B.; AQUINO, B. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; HOLANDA, F. J. M.; FREIRE, J. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; COSTA, R. I. da.; UCHOA, S. C. P.; FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, 1993. 248 p.

ARAÚJO, J.M. de; OLIVEIRA, J.M.C. de; CARTAXO, W.V.; VALE, D.G.; SILVA, M.B. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (Campina Grande, PB). **Vamos plantar gergelim**, Campina Grande, 1999. 19 p.

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.

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

ARRIEL, N. H. C.; ARAÚJO, A. E. de; SOARES, J. J.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIRMINO, P. de T. **Cultura do Gergelim**. EMBRAPA: Sistema de produção, 6 (Versão eletrônica), Campina Grande, 2006.

AZEVEDO, B. M.; BASTOS, F. G. C.; VIANA, T. V. A.; RÊGO, J. L.; D ÁVILA, J. H. T. Efeitos de níveis de irrigação na cultura da melancia. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 1, p. 9-15, 2005.

AZEVEDO, B. M.; CHAVES, S. W. P.; MEDEIROS, J. F.; AQUINO, B. F.; BEZERRA, F. M. L.; VIANA, T. V. A. Rendimento da pimenteira em função de lâminas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 3, p. 268-273, 2005.

AZEVEDO, J. H. O.; BEZERRA, F. M. L. Resposta de dois cultivares de bananeira a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 28-33, 2008.

BALAMURUGAN, C.; VENKATESAN, G. Response of sesame (*Sesame indicum* L.) to potassium manganese. **Madras Agrícola**. p. 673-677, 1983.

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

BARROS, M. A. L.; SANTOS, R. F. dos; BENATI, T.; FIRMINO, P. de T.; Importância Econômica e Social. In: BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, DIRCEU JUSTINIANO. **O Agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001.

BARROS, V. S.; COSTA, R. N. T.; AGUIAR, J. V. Função de produção na cultura do melão para níveis de água e adubação no vale do Curú-CE. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 2, p. 99, 2002.

BASTOS, E. **Manual de irrigação**: Técnicas para instalação de qualquer sistema na lavoura. Coleção Brasil agrícola, 3 ed, São Paulo, 1991. 103 p.

BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, E. C.; LIMA, E. F. **Gergelim cultura no trópico semi-árido Nordeste**. Campina Grande: EMBRAPA - CNPA, 1994. 52p. (EMBRAPA - CNPA, Circular Técnica, 18).

BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L. C.; QUEIROGA, V.P.; VIEIRA, D. J. **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2001. 109-132 p.

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

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 7 ed. Atualizada e ampliada. Universidade Federal de Viçosa, UFV 2005. 611p.

BERNARDO, S.; **Manual de Irrigação**. 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V.; HENRIQUES NETO, D. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: I. Concentração de nutrientes no solo e na planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. [online]. v. 12, n. 1, p. 26-33, 2008.

BORGES, A. L.; CALDAS, R. C.; LIMA, A. A. Doses e fontes de nitrogênio em fertirrigação no cultivo do maracujá-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 301-304, 2006.

BRITO, R. A. L.; PINTO, J. M. P. Aplicação de produtos químicos via água de irrigação (quimigação). In: ALBUQUERQUE, P. E. P. de.; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo da irrigação**. Brasília: EMBRAPA, p. 421-446, 2008.

CARRIJO, O. A.; SOUZA, R. B. de.; MAROUELLI, W. A.; ANDRADE, R. J. de. **Fertirrigação de hortaliças**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2004. 13 p.

CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A.; LEITE, R. M. V. B. C.; MELO, H.C.; GUEDES, L.C.A.; FARIAS, J.R. **A cultura do girassol**. EMBRAPA/CNPS. Londrina, 1997. 36 p. (Circular Técnica, 13).

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

COSTA, E.F.; BRITO, R.A.L. Métodos de aplicação de produtos químicos e biológicos na irrigação pressurizada. In: COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA-SPI, p. 85-109, 1994.

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

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

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

DUENHAS, L. H; VILAS 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, 2005.

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

FAGERIA, N. F. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, PB. v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FARIAS, R. A.; SOARES, A. A.; SEDYAMA, G. C.; RIBEIRO, C. A. A. S. Demanda de irrigação suplementar para acultura do milho no estado de minas gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 4, n.1, p. 46-50, 2000.

FERGUSON, C. E. **Teoria micro-econômica**. Rio de Janeiro, Forense Universitária, 11 ed., p. 123-133, 1987.

FERNANDES, A L. T. Avaliação do uso de fertilizantes organominerais e químicos na fertirrigação do cafeeiro irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 11, n. 2, 2007.

FIRMINO, P. de T. **Caracterização química de semente de gergelim (*Sesamum indicum* L.) BRS 196 (CNPA G-4)**. Campina Grande: Embrapa Algodão, p. 1-2, 2001. (Instrução Técnica n. 117).

FIRMINO, P. de T.; SANTOS, R.F; BARROS, M. A. L.; OLIVEIRA, J. M. C. **Gergelim: opção para agricultura familiar do semi-árido brasileiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. (Comunicado Técnico 198).

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

FRIZZONE, J. A. Funções de resposta do feijoeiro ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação. In: Simpósio sobre o manejo da água na agricultura, Campinas. **Anais**, Campinas: Unicamp, p. 123-133, 1987.

GODOY, I. J.; SAVY FILHO, A.; TANGO, J. S.; UNGARO, M. R. G.; MARIOTTO, P. R. **Programa Integrado de Pesquisas: oleaginosas.** São Paulo: SAA/CPA, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 1985. 33 p.

HERNANDEZ, F.B.T. Potencialidades da fertirrigação. In: Simpósio brasileiro sobre fertilizantes fluidos, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: ESALQ; CENA; POTAFOS, 1994.

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

LAGO, A. A. do; SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N. V. CAMARGO, O. B. Maturação e produção de sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 16, n. 2, p. 134-137, 1994.

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

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1980. 254 p.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. **Adubos e adubações.** São Paulo, Editora Nobel, 2002.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos.** Ed. UFV. Viçosa, MG, 2007. 355 p.

MELÉM JUNIOR, N. J.; MAZZA, J. A.; DIAS, C. T. S.; BRISKE, E. G. Efeito de fertilizantes nitrogenados na acidificação de um Argissolo Vermelho Amarelo Latossílico distrófico cultivado com milho. **Ciência e Tecnologia**, Macapá, AP, v. 2, p. 75-89, 2001.

MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. de M. Irrigação. Piracicaba: FUNEP, 2003. 410 p. (Série Engenharia Agrícola, 1).

MENDONÇA, F. C.; MEDEIROS, R. D. de; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Adubação nitrogenada do milho em um sistema de irrigação por aspersão em linha. **Scientia agrícola**, [online], v. 56, n. 4, 1999.

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 Ciências Agrárias**. Recife, v. 4, n. 4, p. 449-455, 2009.

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

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, L. A. M.; SOUZA, A. E. **Potássio**: Balanço Mineral Brasileiro, 2001.

PEREIRA, R. A.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PERIN, A.; CRUVINEL, D. J.; SILVA, J. W. Desempenho do gergelim em função da adubação NPK e do nível de fertilidade do solo. **Acta Scientiarum**, Agronomy, Maringá, v. 32, n. 1, p. 93-98, 2010.

PINTO, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C. **Fertirrigação**. Ministério da Agricultura e do Abastecimento – MA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Semiárido. CCA – UFPB – Areia PB, Petrolina - PE, 2008.

RAIJ, B. van.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, Fundação IAC, 1997. 285 p.

RAM, R.; CATLIN, D.; ROMERO, J.; COWLEY, C. Sesame: new approaches for crop improvement. In: JANICK, J.; SIMON, J. E. (Ed.). **Advances in new crops**. Portland: Timber Press, p.225-228, 1990.

RIBEIRO, S.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C.; GHEYI, H. R.; LACERDA, R. D. Resposta da mamoneira cultivar BRS-188 Paraguaçu à aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 465-473, 2009.

ROSOLEM, C.A. Adubação potássica em semeadura direta. **In: Simpósio sobre fertilidade do solo em plantio direto. Resumos e Palestras**. Dourados, p. 1-12, 1997.

SANCHES, N.F.; DANTAS, J.L.L. **O cultivo do mamão**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1999. 105 p. (Circular Técnica, 34).

SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N. V.; VEIGA, R. F. de A. **Descrição morfológica do gergelim (*Sesamum indicum* L.) "IAC-Ouro"**. Campinas: Instituto Agronômico, 1988. 12 p. (IAC. Boletim Científico, 13).

SAVY FILHO, A.; CAMARGO, O. B. de A.; BANZATTO, N. V. Gergelim (*Sesamum indicum* L.) In: FAHL, J. L.; CAMARGO, M. B. P. de; PIZZINATO, M. A.; BETTI, J. A.; MELO, A. M. T.; DEMARIA, I. C.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Instruções agrícolas para principais culturas agronômicas**, 6 ed. revista atual Campinas: Instituto Agronômico, 1998. 396 p. (IAC. Boletim Científico, 200).

SILVA, T. R. B.; LEITE, V. E.; SILVA, A. R. B.; VIANA, L. H. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1357-1359, 2007.

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: FARIA, M. A. de.; SILVA, É. L. da.; VILELA, L. A. A.; SILVA, A. M. da. (Ed.). **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: UFV/SBEA, p. 311-348, 1998.

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

SOUZA, J. G. de; BELTRÃO, N. E. M.; SANTOS, J. W. dos S. Fisiologia e produtividade do gergelim em solo com deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 163-169, 2000.

SOUZA, V. F. de; AGUIAR NETO, A. O.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Manejo da irrigação através do balanço de água no solo**. Teresina. EMBRAPA –CPAMN, 1997. 36 p. (EMBRAPA –CPAMN, Documentos, 23).

TECPAR - **Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas**. Informações técnicas sobre o cultivo de girassol. Disponível em: <<http://sbrt.ibict.br/upload/sbrt673.pdf>>. Acesso em: 21 de jul. 2007.

TEIXEIRA, L. A. J.; NATALE, W.; MARTINS, A. L. M. Nitrogênio e potássio via fertirrigação e adubação convencional-estado nutricional das bananeiras e produção de frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, 2007.

THREADGILL, E.D. **Chemigation via sprinkler irrigation**: currents status and future development. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 1, n. 1, p. 16-23, 1985.

UCHÔA, S. C. P.; ALVES JÚNIOR, H. O.; ALVES, J. M. A.; MELO, V. F.; FERREIRA, G. B. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 505-513, 2009.

VIANA, T. V. A.; SANTOS, F. S. S.; COSTA, S. C.; AZEVEDO, B. M.; SOUSA, A. E. Diferentes doses de potássio, na forma de nitrato de potássio, aplicadas via fertirrigação no mamão formosa. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 34-38, 2008.

VIEIRA, R. F.; RAMOS, M. M. Fertirrigação. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 111-130, 1999.

VILLAS BÔAS, R.L.; ANTUNES, C.L.; BOARETO, A.E.; SOUSA, V.F.; DUENHAS, L.H. Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Eds.). **Fertirrigação: Flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, v. 2, p. 71-103, 2001.

VON PINHO, R. G.; GROSS, M. R.; STEOLA, A. G.; MENDES, M. C. Adubação nitrogenada, densidade e espaçamento de híbridos de milho em sistema de plantio direto na região sudeste do Tocantins. **Bragantia** [online], v. 67, n. 3 p. 733-739, 2008.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, 2008.

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