UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

MAYKON SOUSA DA SILVA

RESPOSTAS DA CULTURA DA MAMONA ÀS ADUBAÇÕES MINERAL E ORGÂNICA COMBINADAS, EM SOLO DO SEMIÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL

FORTALEZA

2015

MAYKON SOUSA DA SILVA

RESPOSTAS DA CULTURA DA MAMONA ÀS ADUBAÇÕES MINERAL E ORGÂNICA COMBINADAS, EM SOLO DO SEMIÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. PhD. Boanerges Freire de Aquino.

FORTALEZA

2015

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

S234a Silva, Maykon Sousa da.
Respostas da cultura da mamona às adubações mineral e orgânica combinadas, em solo do semiárido do nordeste do Brasil / Maykon Sousa da Silva. – 2015.
64 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, Fortaleza, 2015.
Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.
Orientação: Prof. Dr. Boanerges Freire de Aquino.

1. Ricinus communis. 2. Mamona. 3. Plantas oleaginosas. 4. Adubação. 5. Região semiárida. I. Título.

CDD 631.4

MAYKON SOUSA DA SILVA

RESPOSTAS DA CULTURA DA MAMONA ÀS ADUBAÇÕES MINERAL E ORGÂNICA COMBINADAS, EM SOLO DO SEMIÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. PhD. Boanerges Freire de Aquino.

Aprovado em: 09/02/2015.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. PhD. Boanerges Freire se Aquino (orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____

Prof. Dr. Antonio Marcos Esmeraldo Bezerra

Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____

Prof. PhD. Marcos Vinícius Assunção

Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Ceará (SDA)

Prof. Aposentado do Centro de Ciências Agrárias da UFC

À minha esposa, Mirlanda.

Aos meus pais, Francisco e Maria.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, pela formação profissional.

À Funcap, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Boanerges Freire de Aquino, pela orientação.

Aos professores membros da banca examinadora Antônio Marcos Esmeraldo Bezerra e Marcos Vinícius Assunção pelo tempo e as valiosas colaborações e sugestões.

À secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas, pela presteza dos serviços e informações.

À Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Estado do Ceará, especialmente ao engenheiro agrônomo José Maria Freire, pela colaboração.

À empresa Beckman Sementes, pelo auxílio imprescindível na execução do experimento de campo.

À minha esposa Francisca Mirlanda Vasconcelos Furtado, pelo companheirismo e apoio nos momentos difíceis.

Aos meus Pais Francisco Pereira da Silva e Maria de Jesus Souza da Silva, pelo incentivo e credibilidade.

RESUMO

A adubação do solo, tradicionalmente feita com a utilização de adubos minerais, representa um dos maiores custos da produção agrícola. Desta forma, os pequenos e médios produtores têm dificuldades para assegurar as boas condições de fertilidade do solo. O objetivo deste trabalho foi determinar a combinação de adubo mineral e adubo orgânico que proporcione a melhor resposta para o crescimento e produção da mamoneira. O experimento foi realizado entre abril e setembro de 2014. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, onde foram testados 25 tratamentos distribuídos em esquema fatorial 5 x 5, sendo combinadas cinco doses de adubo mineral (0, 75, 150, 225 e 300 kg ha^{-1} de $N+P_2O_5+K_2O$ na proporção 1:1:1) e cinco doses de adubo orgânico (0, 1,25, 2,50, 3,75 e 5,0 toneladas ha^{-1} de torta de mamona composta). O experimento foi realizado no município de Crateús, estado do Ceará. O solo da região é um ARGISSOLO Amarelo eutrófico, com textura franco arenosa. A área foi irrigada diariamente com sistema de irrigação localizada com tubo gotejador de 4,14 L $hora^{-1}$ de vazão média, sendo que o volume de água utilizado foi de aproximadamente 300 mm mensais. Foram avaliados os componentes de produção: peso, número de frutos e peso das sementes do racemo primário, número de racemos por planta, peso de 100 sementes e produtividade, bem como as concentrações dos macro e micronutrientes da folha da mamoneira. A maior produtividade foi alcançada com a utilização de adubação combinada com 3,75 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico com 150,0 kg ha^{-1} de adubo mineral. A tendência de aumento de produtividade da mamona foi verificada para a adubação orgânica com 3,75 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico combinada com adubo mineral até a quantidade máxima de 176,80 kg ha^{-1} de adubo mineral, com a produção máxima alcançada de aproximadamente 2372,0 kg ha^{-1}. O componente de produção que mais contribui para o aumento da produtividade da mamoneira é o número de racemos por planta, que pode aumentar substancialmente a quantidade de sementes por área cultivada.

Palavras-chave: torta de mamona, casca de mamona.

ABSTRACT

The fertilization of the soil, traditionally made with the use of mineral fertilizers, is one of the biggest costs of agricultural production. In this way, small and medium producers have difficulties in ensuring good soil fertility conditions. The objective of this study was to determine the combination of mineral fertilizer and organic fertilizer that gives the best answer for the growth and production of castor bean. The experiment was carried out between April and September 2014. The statistical design was randomized blocks, which tested 25 treatments distributed in a factorial 5 x 5, with combined five doses of mineral fertilizer (0, 75, 150, 225 and 300 kg ha-1 of N + P2O5 + K2O in a ratio of 1: 1: 1) and five levels of fertilizer (0, 1.25, 2.50, 3.75 and 5.0 t ha^{-1} of composite castor bean cake). The experiment was conducted in the municipality of Crateús, state of Ceará. The soil of the region is a ultisol Yellow eutrophic, with sandy loam texture. The area was irrigated daily with a sprinkler system located dripline with 4.14 L of^{-1} the average flow, and the volume of water used was about 300 mm per month. It was evaluated the production weight components, number of fruit and seed weight of the primary raceme, number of racemes per plant, weight of 100 seeds, and yield, as well as the concentrations of macro and micronutrients in leaf of castor bean. The highest yield was achieved in the use of fertilizer combined with 3.75 tons ha^{-1} of organic fertilizer with 150.0 kg ha^{-1} of mineral fertilizer. The trend of castor productivity increase was observed for the organic fertilizer with 3.75 tons ha^{-1} of organic manure combined with mineral fertilizer to the maximum amount of 176.80 kg ha^{-1} of mineral fertilizer, with maximum production reached approximately 2372.0 kg ha^{-1}. The production component that contributes most to the increase of castor bean productivity is the number of racemes per plant, which can substantially increase the amount of seed for cultivation area.

Keywords: castor bean cake, castor bean hull.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quantidade de carbono mineralizado, isto é, através da respiração microbiana em solos que receberam 10% (w/w) de torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana. Fonte: SEVERINO et al., 2004..... 23

Figura 2 – Massa seca de plantas de mamona submetidas à adubação com torta de mamona e casca de mamona em cinco diferentes proporções. Fonte: LIMA et al., 2011..... 23

Figura 3 – Cova de plantio com detalhe da colocação da adubação orgânica e do calcário.....29

Figura 4 – Distribuição das mangueiras de gotejamento no campo.....30

Figura 5 – Esquema simplificado do sistema de irrigação adotado no experimento com duas mangueiras de gotejadores por cada linha de plantio..... 31

Figura 6 – Eventos de chuva e volume das precipitações durante o experimento..... 31

Figura 7 – Caracterização da parcela experimental..... 33

Figura Regressão quadrática para os valores médios de produtividade, em kg ha^{-1}, em função da quantidade de adubo mineral aplicado, com e sem a adição de adubo orgânico.....43

Figura 9 - Regressão quadrática para os valores médios de produtividade, em kg ha^{-1}, em função da quantidade de adubo mineral aplicado, com e sem a adição de 1,25 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem a adição de adubo orgânico..... 44

Figura 10. Regressão quadrática para os valores médios de produtividade, em kg ha^{-1}, em função da quantidade de adubo mineral aplicado, com e sem a adição de 2,5

toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem adição de adubo orgânico 44

Figura 11 - Regressão quadrática para os valores médios de produtividade, em kg ha^{-1}, em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 3,75 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem adição de adubo orgânico 44

Figura 12 - Regressão quadrática para os valores médios de produtividade, em kg ha^{-1}, em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 5,0 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem adição de adubo orgânico 45

Figura 13 - Regressão quadrática para os valores médios do número de racemos por planta, em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, sem a adição de adubo orgânico 46

Figura 14. Regressão quadrática para os valores médios do número de racemos por planta em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 1,25 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem adição de adubo orgânico 47

Figura 15. Regressão quadrática para os valores médios do número de racemos por planta em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 2,5 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem adição de adubo orgânico 47

Figura 16. Regressão quadrática para os valores médios do número de racemos por planta em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 3,75 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem adição de adubo orgânico 48

Figura 17. Regressão quadrática para os valores médios do número de racemos por planta em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 5,0 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem adição de adubo orgânico 48

Figura 18. Regressão quadrática para os valores médios do número do peso de 100 sementes em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, sem a adição de adubo orgânico 50

Figura 19. Regressão quadrática para os valores médios do número do peso de 100 sementes em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 1,25 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem a adição de adubo orgânico 50

Figura 20. Regressão quadrática para os valores médios do número do peso de 100 sementes em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 2,5 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem a adição de adubo orgânico 51

Figura 21. Regressão quadrática para os valores médios do número do peso de 100 sementes em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 3,75 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem a adição de adubo orgânico 51

Figura 22. Regressão linear para os valores médios do número do peso de 100 sementes em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 5,0 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem a adição de adubo orgânico 52

Figura 23. Regressão linear para os valores médios do peso do racemo primário em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 1,25 toneladas ha^{-1} e de 2,5 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem a adição de adubo orgânico 53

Figura 24. Regressão linear para os valores médios do peso do racemo primário em função da quantidade de adubo mineral aplicado ao solo, com a adição de 3,75 toneladas ha^{-1} e de 5,0 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem a adição de adubo orgânico 54

Figura 25. Regressão linear para os valores médios do número de frutos do racemo primário em função da quantidade de adubo mineral aplicado a solo, com a adição de 1,25 toneladas ha^{-1} e de 2,5 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem a adição de adubo orgânico 55

Figura 26. Regressão linear para os valores médios do número de frutos do racemo primário em função da quantidade de adubo mineral aplicado a solo, com a adição de 3,75 toneladas ha^{-1} e de 5,0 toneladas ha^{-1} de adubo orgânico e tratamento controle sem a adição de adubo orgânico 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de municípios, por estado, que atendem as condições de altitude e precipitação pluvial para o cultivo de mamoneira na região Nordeste. AMORIN NETO et al., 2001 19

Tabela 2 – Produtividade em kg ha^{-1} de grãos de mamona nas safras 2011/2012 e 2012/2013. Fonte: CONAB, 2013 20

Tabela 3 – Principais produtos obtidos a partir do óleo de rícino. Fonte: SCHNEIDER, 2003..... 21

Tabela 4 – Teor (%) de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio de substratos orgânicos. Fonte: SEVERINO et al., 2006 22

Tabela 5 – Composição granulométrica, umidade e densidade para as duas profundidades de um ARGISSOLO Amarelo do município de Crateús-CE..... 28

Tabela 6 – Composição do complexo sortivo para duas profundidades de um ARGISSOLO Amarelo do município de Crateús-CE 82

Tabela 7 – Esquema geral dos tratamentos usados no experimento..... 34

Tabela 8 – Quantidades do adubo mineral em kg ha^{-1} e do adubo orgânico em t ha^{-1} para cada uma das doses 35

Tabela 9 – Quantidades do adubo mineral em g $planta^{-1}$ e do adubo orgânico em kg $planta^{-1}$ para cada uma das doses 35

Tabela 10 – Macro e micronutrientes do composto orgânico com 75% de torta de mamona e 25% de casca de mamona 36

Tabela 11 – Quadrados médios das variáveis: produtividade (PRO), peso total de sementes (PST), número de racemos por planta (RPP) e peso de 100 sementes (PCS) 40

Tabela 12 – Quadro auxiliar com valores médios de produtividade (kg ha-1), número de racemos por planta e peso de 100 sementes (g), de acordo com as quantidades de adubo mineral, em toneladas ha-1 e de adubo mineral (N+P2O5+K2O 1:1:1, em kg ha-1)..... 41

Tabela 13 - Resumo da análise de variância para as variáveis: peso do racemo primário (PRP), peso de sementes do racemo primário (PSRP), comprimento do racemo primário (CRP) e número de frutos por racemo primário (FRP)..... 58

Tabela 14 – Quadro auxiliar com valores médios de peso do racemo primário (g), peso de sementes do racemo primário e número de frutos do racemo primário, de acordo com as quantidades de torta de mamona composta, em toneladas ha^{-1} e de adubo mineral (N+P2O5+K2O 1:1:1, em kg ha-1)..... 59

Tabela 15 - Resumo da análise de variância para as variáveis nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn)..... 61

Tabela 16. Quadro auxiliar com valores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn) extraídos da folha de mamona de acordo com diferentes quantidades de adubo mineral adicionadas ao solo..... 62

Tabela 17. Quadro auxiliar com valores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn) extraídos da folha de mamona de acordo com diferentes quantidades de adubo orgânico adicionadas ao solo 62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
2 HIPÓTESES 18
3 OBJETIVOS 19
3.1 Objetivo geral 19
3.2 Objetivos específicos 19
4 REVISÃO DE LITERATURA.....0 2
4.1 Cultura da mamoneira 20
4.1.1 Planta..... 20
4.1.2 BRS 188 Paraguaçu 21
4.1.3 Cultivo da mamoneira 22
4.2. Óleo, torta e casca de mamona 22
4.3 Adubo mineral e adubo orgânico 26
5 MATERIAL E MÉTODOS 29
5.1 Clima e solo 29
5.2 Preparo da área e plantio 30
5.3 Sistema de irrigação 31
5.4 Tratamentos e delineamento experimental.....34
5.5 Caracterização do adubo orgânico 37
5.6 Tratos culturais..... 37
5.7 Análise foliar 38
5.8 Produção e produtividade 38
5.9 Análises estatísticas..... 39
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 40
7 CONCLUSÕES 63
REFERÊNCIAS 64

1. INTRODUÇÃO

A manutenção das condições ideais do solo para o cultivo agrícola está fundamentada nos atributos físicos e químicos do solo que permitam o desenvolvimento das raízes e, a absorção de nutrientes e, assim, o bom desempenho das plantas. Um dos requisitos necessários à qualidade do solo é a fertilidade. Os macro e micronutrientes do solo são fatores limitantes ao desenvolvimento das culturas, podendo ser repostos pela prática da adubação. A correta escolha do tipo de adubo deve levar em consideração a exigência nutricional da cultura, a deficiência de nutrientes do solo, além do custo de aquisição.

Os adubos podem ser minerais ou orgânicos. Devido à sua elevada concentração e solubilidade, o adubo mineral é utilizado em quase 100% dos cultivos agrícolas no mundo, o que acarreta uma alta demanda anual de insumos deste tipo. Em contrapartida, as reservas de alguns minerais de alguns nutrientes estão em processo de esgotamento, como o fósforo, por exemplo. Desta forma, os investimentos em fontes renováveis para a manutenção dos adequados índices de fertilidade dos solos cultivados são uma necessidade atual.

Alternativamente os resíduos minerais e orgânicos agrícolas, industriais e domésticos, têm sido utilizados como insumos para a agricultura. Esta prática de adubação alternativa à mineral proporciona economia para a agricultura e correta destinação a materiais com elevado potencial de contaminação ambiental. Como esses materiais geralmente são especificamente ricos em determinado nutriente, a há necessidade da formulação de compostos que contenham todos os elementos requeridos à nutrição vegetal. Os materiais utilizados na composição destes adubos alternativos são geralmente resíduos da produção agrícola ou do beneficiamento dos produtos agrícolas.

A mamona é uma oleaginosa cujo óleo de suas sementes é bastante utilizado em diversos segmentos da indústria. O óleo de rícino possui propriedades particulares não encontradas em qualquer outro óleo vegetal, como a viscosidade, solubilidade em álcool e estabilidade em temperaturas extremas. No beneficiamento do óleo da mamona há a formação de um resíduo orgânico rico em nutrientes e, por isso, utilizado geralmente na adubação do solo. A torta de mamona surge da prensagem das sementes por ocasião da retirada do óleo e apresenta uma quantidade de nitrogênio em torno de 7,0% (SEVERINO et al., 2006). Embora a torta de mamona seja considerada um bom fertilizante agrícola, somente ela não é capaz de suprir as necessidades da planta, já que a quantidade dos demais nutrientes é baixa. Desta forma, é fundamental a combinação da torta de mamona com outros materiais. A casca de mamona é um subproduto do processo de descascamento da mamona que possui

uma quantidade de potássio, em torno de 4,0%, o que torna uma boa alternativa de adubação, assim como a torta de mamona. Desta maneira, um composto orgânico formado pela combinação de torta de mamona com casca de mamona poderia fornecer a adequada quantidade de nitrogênio e potássio requerida pela cultura da mamona, embora apresente ainda uma quantidade pequena dos demais nutrientes.

Os nutrientes requeridos ao desenvolvimento das plantas se classificam em macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) são assim denominados porque são requeridos em maiores quantidades pelas plantas. Já os micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu, Cl, B e Mo) são requeridos em pequenas quantidades. No solo, o desequilíbrio destes nutrientes afeta significativamente o desenvolvimento vegetativo, isto porque os inúmeros processos interativos que ocorrem no solo se refletem desde a absorção radicular até a produção final. Ambos os nutrientes competem pelo mesmo sítio de absorção radicular e, mesmo a absorção pelas plantas sendo específicas, comumente ocorrem competições entre os nutrientes, já que as rotas através do solo até às plantas são as mesmas.

A mamoneira é uma cultura plantada no Nordeste brasileiro geralmente em pequenas propriedades, cujos proprietários embora possuam poucos conhecimentos técnicos sobre a adubação do solo, sabem da necessidade de prática agrícola. Pelo fato dos poucos recursos financeiros para a aquisição de adubos minerais, os pequenos e médios agricultores recorrem à utilização de resíduos orgânicos para a manutenção da qualidade do solo.

O elevado custo de aquisição dos adubos minerais, bem como o risco de esgotamento das reservas minerais de determinados nutrientes, levam ao questionamento sobre o futuro da agricultura mundial. Alternativas à adubação mineral são necessárias e urgentes, para garantirem a segurança alimentar das gerações subsequentes. A utilização dos resíduos orgânicos combinados com os adubos minerais poderia diminuir a exploração das reservas minerais, destinar corretamente os resíduos industriais, além de promover a diminuição dos custos de adubação.

2. HIPÓTESES

2.1. A adubação combinada, mineral e orgânica, promoverá um melhor desenvolvimento e maior produtividade da mamoneira cultivada na região semiárida do Nordeste brasileiro.

2.2. A torta de mamona composta promove aumentos de produtividade da mamona, assim como a adubação mineral.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Determinar a combinação de adubação mineral, em kg ha^{-1}, que proporcione a melhor resposta à absorção de nutrientes e aos componentes de produção da mamoneira cultivar BRS 188 Paraguaçu e, assim, proporcionar economia dos custos de produção e correta destinação a resíduos gerados pela agroindústria.

3.2. Objetivos Específicos

1. Analisar os efeitos das interações entre cinco doses de adubação mineral (0, 75, 150, 225 e 300 kg ha^{-1} de N:P:K na proporção 1:1:1) e cinco doses de adubação orgânica (0, 1,25, 2,50, 3,75 e 5,0 toneladas ha^{-1} de torta de mamona composta), na produção da mamoneira na região semiárida do nordeste brasileiro.

2. Determinar os valores dos componentes de produção, peso e peso de sementes do racemo primário da mamoneira, sob o efeito de 25 diferentes doses formadas pela combinação de cinco doses da adubação mineral e cinco doses da adubação orgânica.

3. Verificar o número de racemos por planta, o peso de racemos, o peso total de sementes, o peso de 100 sementes e produtividade da mamoneira adubada com 25 diferentes doses formadas pela combinação de cinco doses da adubação mineral e cinco doses da adubação orgânica.

4. Quantificar os nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn) extraídos pela mamoneira em função de 25 doses combinadas da adubação mineral e orgânica (cinco doses de adubo mineral e cinco doses de adubo orgânico.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Cultura da mamona

4.1.1. Planta

A mamoneira (Ricinus communis L.) é uma oleaginosa da família Euforbiaceae e que tem provável origem no leste do continente africano. Sua origem ainda incerta é devida a evidências de sua presença nos continentes africano, asiático e americano. (AZEVEDO et al., 1997). Possui um sistema radicular pivotante que pode atingir a profundidade de até 1,5 m, e ramificações laterais que podem atingir 1,0 m. Apresenta um caule arredondado, de coloração esverdeada ou arroxeada que pode ser cerosa, dependendo da variedade. Inicialmente o caule cresce verticalmente sem ramificações culminando na primeira inflorescência. As folhas se apresentam em formatos diversos, dependendo da variedade e do clima em que é produzida, mas que geralmente são grandes, de coloração verde-escura e brilhante. A inflorescência é do tipo panícula composta de um racemo bem desenvolvido e com pequenos ramos laterais. Os racemos começam a ser emitidos a partir do ramo principal da planta, quando surge o racemo principal, ou primário. Com o desenvolvimento dos ramos laterais surgem os racemos secundários, terciários, quaternários e assim sucessivamente. Seus frutos são do tipo cápsula com três receptáculos onde se encontram as sementes, podendo ser deiscentes (abertura total), semideiscentes (abertura parcial), ou indeiscentes (não abrem espontaneamente) (DRUMOND et al., 2008).

Embora seja facilmente encontrada em praticamente todas as regiões do Brasil, a mamoneira só alcança bons índices produtivos em regiões com altitude entre 300 e 1500 m. As temperaturas ideais para o seu desenvolvimento estão próximas de 20 e 26°C, sendo que em temperaturas mais altas, acima de 40°C, podem ocorrer abortamentos e redução do teor de óleo das sementes (AZEVEDO et al., 1997). As elevadas temperaturas podem conduzir também a um aumento da proporção de flores masculinas em relação às femininas, o que acarreta em diminuição da produção (BERTOZZO et al., 2011).

A planta de mamona se desenvolve bem na maioria dos solos encontrados no Brasil. Os solos mais profundos e bem estruturados são os mais indicados, sendo que em solos muito argilosos ou com drenagem deficiente podem ocorrer problemas de germinação e desenvolvimento inicial das plântulas. Solos muito férteis também devem ser evitados por conta do elevado desenvolvimento vegetativo, em detrimento da produção (AZEVEDO et al.,

1997). O zoneamento agroecológico da mamoneira (Tab. 1) apontou 418 municípios do Nordeste do Brasil como aptos ao cultivo da mamoneira, com destaque para o estado da Bahia com 190 municípios, seguido por Piauí, Ceará, Paraíba e Pernambuco (AMORIN NETO et al., 2001). Neste zoneamento os autores levaram em consideração as condições limitantes à produção da mamona, sendo que a característica limitante foi a altitude, que deixou de fora locais em que as condições de precipitação são excelentes como a região litorânea, por exemplo.

Tabela 1. Número de municípios, por estado, que atendem as condições de altitude e precipitação pluvial para o cultivo da mamoneira na região Nordeste do Brasil

Estado	Número de municípios
Bahia	190
Piauí	51
Ceará	50
Paraíba	46
Pernambuco	44
Rio Grande do Norte	12
Maranhão	12
Alagoas	10
Sergipe	03

Fonte: AMORIN NETO et al., 2001.

4.1.2. Cultivar BRS 188 Paraguaçu

Desenvolvida pela Embrapa em parceria com a Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA) teve sua origem em processo de seleção massal na cultivar Sangue-de-Boi. Apresenta caule de coloração roxeada com serosidade e altura média de 1,6 m. O potencial produtivo médio é de 1.015 kg ha^{-1}, se observadas as devidas condições de umidade do solo. Os racemos se apresentam em formato arredondado com sementes de coloração preta com peso médio de 71 gramas por cem sementes (BELTRÃO et al., 2003).

4.1.3. Cultivo da mamoneira

Existe uma grande variedade de cultivares adaptadas às diferentes condições de clima e solo. Para a região Nordeste as cultivares recomendadas, de acordo com Drumond et al. (2008), são as que apresentam resistência a agentes, frutos semideiscentes e produtividade média de 1500 kg ha^{-1}. Dentre as variedades que apresentam estas características estão a BRS Nordestina e a BRS Paraguaçu, ambas de porte médio, e mais recentemente a BRS Energia, de porte baixo e de ciclo precoce (BELTRÃO et al., 2003).

O Nordeste brasileiro é responsável por grande parte da produção nacional de mamona, embora os índices médios de produtividade estejam abaixo de 500 kg ha^{-1}. Os baixos índices de produção registrados são reflexos do sistema produtivo adotado, que em sua grande maioria ainda é o de sequeiro. Na safra/2012 a produtividade média das áreas cultivadas com mamoneira na região Nordeste do Brasil (Tabela 3) foi de 163 kg ha^{-1} (CONAB, 2015).

Tabela 2. Produtividade em kg ha^{-1} de grãos de mamona nas safras 2011/2012 e 2012/2013.

Região/UF	2011/2012	2012/2013
Nordeste	172	163
PI	96	75
CE	79	140
RN	571	-
PE	231	267
BA	207	166

Fonte: CONAB, 2015.

4.2. Óleo, torta e casca de mamona

O principal produto da mamona é o óleo de suas sementes. O óleo de rícino, conhecido assim por conta da sua composição principal, a ricinina, é um óleo de grande utilização em diversos setores da indústria, desde lubrificantes até a medicinal (Tabela 4). Apresenta características únicas que o torna um dos mais nobres com inúmeras utilidades, como solubilidade em álcool, elevada viscosidade e estabilidade em temperaturas extremas.

São exemplos de produtos a base de óleo de mamona lubrificantes especiais para temperaturas muito altas ou muito baixas, além de solventes de tintas, cosméticos e remédios.

Tabela 3. Principais produtos obtidos a partir do óleo de rícino

Segmento	Produtos
Alimentação	Èster, aditivo redutor de viscosidade, Ácidos Graxos conjugados, Triglicerídeos de cadeia média, papéis, antiespumante, aditivo impermeabilizante.
Farmacêutica	Glicerina, ceras, ácido undecilênico, zinco undecilenato, anidro enântico, cálcio undecilenato,
Tintas e Adesivos	Polióis, ácido dimérico, poliamidas, resinas alquídicas, ácido ricinoléico, agente tixotrópico, aditivo umidificante e dispersante.
Química Textil	Surfactantes, agente umidificante, pigmento.
Plásticos e Borrachas	Agente agregante, massa de vidro, polióis.
Eletrôniocos e Telecomunicações	Sistema de poliuretano, resina de poliamida, éster, polióis, ceras, fluido capacitor.
Lubrificantes	Ácido dimérico, ácido ricinoléico, éster, ácido heptanóico, sais metálicos, ácido hidroxiesteárico, metil hidroxiestearato, inibidores de corroção, ácido sebácico.
Cosméticos	Emulsificante, éster, ácido undecilênico, desodorante, cera, triglicéride de cadeia média.
Perfumaria	Heptaldeído, ácido heptanóico, ácido undecilênico, aldeído undecilênico, álcool heptílico, heptanoato de etila, acetato heptílico.

Fonte: SCHNEIDER, 2003.

Dentre os subprodutos da mamona o que merece destaque é a torta de mamona, que é o resíduo da prensagem das sementes para extenção do óleo. Por possuir elevada quantidade de nitrogênio, em torno de 7,0%, a torta é muito utilizada como adubo orgânico, ou ainda na composição de rações, assim como o farelo de soja, na alimentação de animais, desde que seja adequadamente destoxicada para eliminação da ricinina, altamente tóxica para o organismo animal. Em comparação com outros materiais orgânicos utilizados como adubo, a torta de mamona é a que possui maior quantidade de nitrogênio (Tabela 4).

Outro subproduto que merece destaque é a casca obtida a partir do processamento dos frutos para retirada das sementes. A casca de mamona possui uma quantidade de potássio em torno de 4,0% e é adequada para adubação orgânica. Se adicionada ao solo em grandes quantidades pode ocasionar imobilização de nutrientes por apresentar uma elevada relação C/N. A minimização do efeito do baixo índice de decomposição da casca de mamona pode ser feita com a sua combinação com materiais de aceleradas decomposição. A torta de mamona possui uma taxa de mineralização mais elevado de que os materiais comumente utilizados na adubação orgânica como esterco bovino e bagaço de cana, por exemplo, (Figura 1). A rápida mineralização da torta de mamona se deve principalmente à sua baixa relação C/N e também à elevada quantidade de nutrientes (N, P e K, principalmente) (SEVERINO et al., 2004). Para cada tonelada de óleo produzido obtém-se 1,13 toneladas de torta de mamona e 1,31 toneladas de casca de mamona, o que representa uma quantidade total de 642 mil e 741 mil toneladas, respectivamente, produzidas mundialmente. (LIMA, et al 2011). Estes mesmos autores propuseram a aplicação conjunta de torta de mamona e casca de mamona numa quantidade média ideal de 45% e 55%, respectivamente para tonelada de mamona (Figura 2). Desta maneira a baixa decomposição da casca seria compensada pela acelerada decomposição da torta, além de a torta ser fonte de nitrogênio e fósforo e a casca ser fonte de potássio.

Tabela 4. Teor de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio de substratos orgânicos

Substrato	N	P	K	Ca	Mg
			%		
Bagaço de cana	0,24 fg	0,20 f	0,11 f	0,38 b	0,44 cd
Cama de frango	2,95 d	3,87 a	1,10 c	4,71 b	6,93 a
Casca de amendoim	1,53 defg	0,36 f	0,79 d	0,46 b	0,21 d
Casca de mamona	1,86 de	0,26 f	4,50 b	0,67 b	0,30 cd
Cinza de madeira	0,51 efg	3,36 b	4,85 a	26,40 a	2,70 b
Esterco bovino	0,77 efg	0,87 e	0,32 ef	0,30 b	0,18 d
Mucilagem de sisal	0,12 g	0,10 f	0,10 f	0,40 b	0,02 d
Polpa de mamona	12,82 a	1,58 d	0,58 de	0,23 b	1,20 c
Tegumento de mamona	1,69 def	0,15 f	0,60 de	1,00 b	0,38 cd
Torta de algodão	4,55 c	2,16 c	0,74 d	0,57 b	0,39 cd
Torta de mamona	7,54 b	3,11 b	0,66 d	0,75 b	0,51 cd

Valores seguidos pela mesma letra dentro da coluna não diferem entre si pelo teste de tukey a 5 % de probabilidade.
Fonte: SEVERINO et al., 2006.

Figura 1. Quantidade de carbono mineralizado, estimado através da respiração microbiana em solose receberam 10% (w/w) de torta mamona, esterco bovino e bagaço de cana.
Fonte: SEVERINO et al., 20

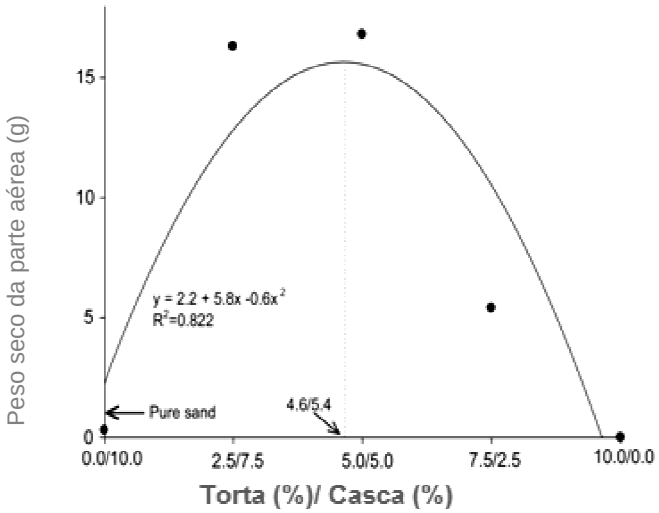

Figura 2. Massa seca de plantas de mamona submetidas à adubação com torta de mamona e casca de mamona em diferentes proporções
Fonte: LIMA et al., 2011

4.3. Adubo mineral e adubo orgânico

O adubo mineral é a principal fonte de nutrientes usada na produção agrícola mundial. São compostos minerais concentrados e solúveis que quando em contato com a solução do solo liberam os nutrientes prontamente disponíveis para as plantas. A demanda mundial por adubos minerais solúveis aumenta a cada ano, isto por conta do aumento da área cultivada e da exigência nutricional das novas variedades introduzidas. A quantidade total de adubo mineral utilizado no Brasil foi de 31.082 mil toneladas no ano de 2013, um aumento de 5,2 % em relação ao ano anterior (ANDA, 2015). No mesmo período o aumento da área plantada com grãos foi 6,3 % (Conab, 2015), que reflete uma possível ligação entre os dois índices.

A matéria prima do adubo mineral é a rocha. Após extraído, o material rochoso é submetido a procedimentos industriais de grande consumo de energia, dando origem a compostos concentrados de elevado custo de produção. Após a retirada do mineral de interesse, o restante do material é abandonado, formando "pilhas" (estéreis) completamente desestruturadas, que impedem a regeneração do solo. Devido ao elevado consumo, as reservas de alguns minerais encontram-se ameaçadas de esgotamento. Como principal exemplo tem-se o fósforo. Considerando a previsão de aumento anual da demanda por fertilizantes fosfatados de 2,5 a 3,0%, estima-se que as reservas de rocha fosfática conhecidas hoje, que são de aproximadamente 62 bilhões de toneladas, estejam esgotadas para possam atender a demanda por fósforo para produção agrícola em pouco mais de 100 anos, (GILBERT, 2009).

Os adubos minerais são compostos que apresentam alta solubilidade em água, desta forma os nutrientes (íons) liberados ficam disponíveis na solução do solo para a absorção radicular ou adsorção aos colóides. Caso os nutrientes não sejam absorvidos pelas plantas, estes ficam sujeitos a ação de fatores que promovem sua retirada da área de atuação das raízes como a lixiviação, a volatilização e o escoamento superficial. A adubação mineral, em muitos casos é feita de maneira errônea, seja pela disposição do adubo no solo que pode impedir a sua incorporação, ou ainda pela dose colocada que pode conduzir a uma perda por lixiviação. No caso de adubos nitrogenados, por exemplo, podem ocorrer perdas se o mesmo não for adequadamente parcelado em múltiplas aplicações durante o ciclo da cultura. A rápida perda de nitrogênio ocorre principalmente pela volatilização da amônia (NH_4^+), que é convertida no gás NH_3, ou pela desnitrificação, onde o nitrato (NO_3^-) é convertido em NO e N_2 e perdido para a atmosfera.

Existem diversos compostos minerais que são utilizados como adubos, dentre os principais estão: o sulfato de amônia e a uréia como fonte de nitrogênio, o super fosfato simples e o super fosfato triplo como fonte de fósforo e o cloreto de potássio como fonte de potássio. Além destes, outros compostos minerais podem conter dois ou mais nutrientes às plantas. Pela legislação brasileira que regulamenta a fabricação, comercialização e utilização de fertilizantes, os adubos compostos são misturas que podem apresentar como composição principal o NPK, NP, NK ou PK (ALCARDE, 2007). Os adubos minerais podem ainda serem misturados no campo, desde que não ocorram reações que promovam a indisponibilidade de algum nutriente. A incompatibilidade físico-química dos adubos minerais é condicionada pela higroscopicidade (capacidade de absorver água do ar atmosférico) da mistura, expressa pela "umidade relativa crítica" (URc), que é a umidade relativa do ar máxima na qual o adubo pode ser exposto sem absorver a umidade (ALCARDE, 2007).

O elevado custo da aquisição dos adubos minerais fez com que surgissem alternativas à adubação convencional do solo. Dentre estas alternativas, os materiais que eram descartados de processos industriais e da própria lavoura foram reintegrados no sistema produtivo, evitando assim a poluição do ambiente e a economia na produção agrícola. Dentre os matérias mais utilizados com adubos alternativos estão os materiais orgânicos que, além de possuir relativa quantidade de nutrientes, são de baixo custo e fácil aquisição. A utilização destes materiais é mais comum em pequenas e médias propriedades, em que restos de culturas, resíduos de podas de árvores, esterco e resíduos da agroindústria podem ser convertidos em compostos orgânicos capazes de fornecer nutrientes às plantas em quantidades satisfatórias. Em comparação com os nutrientes solubilizados pelos AM os nutrientes advindos de materiais orgânicos permanecem mais tempo no perfil do solo e são menos lixiviados (BERTOL et al., 2011).

Nos compostos orgânicos os nutrientes se encontram inicialmente presos à estrutura orgânica e são solubilizados na solução do solo à medida que ocorre a degradação e mineralização da matéria orgânica (MO). A degradação da MO promove também alterações estruturais no solo por conta da ação de agregação das partículas pela atividade microbiana. Desta maneira, ocorre minimização de perdas por erosão e selamento superficial. O procedimento de agregação das partículas sólidas do solo é complexo e está condicionado à presença de matéria orgânica e agentes agregantes biológicos minerais. Em solos com grande quantidade de carbonato de cálcio, este composto químico é o principal responsável pela "cimentação" das partículas orgânicas e minerais do solo, já para a maioria dos solos em que

este tipo de material não está presente, a glomalina é a principal responsável pelo processo de agregação do solo. A glomalina é uma glicoproteína insolúvel e hidrofóbica produzida pelas hifas e esporos dos fungos micorrízicos arbusculares que desempenha a importante função de unir as partículas orgânicas do solo e protegê-las do ataque microbiano. A partir da proteção condicionada pela ação da glomalina os compostos orgânicos se mantém mais tempo estáveis no solo. A correlação linear da quantidade de glomalina no solo (4-5 % do carbono orgânico) e da estabilidade dos agregados do solo indica a importância desta substância para o processo de agregação do solo (MERGULHÃO et al., 2008).

Além de ser fonte de nutrientes, a MO possui cargas elétricas com capacidade de retenção de íons. Em solos tropicais arenosos, em que há elevada macroporosidade, a MO é praticamente a única responsável pela capacidade de troca de cátions (CTC). Quando adicionados ao solo os resíduos orgânicos promovem aumento da CTC em praticamente 100% dos solos encontrados no Brasil, mesmo os mais ácidos (ABREU Jr et al., 2001).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Clima e solo

O experimento foi realizado no município de Crateús, estado do Ceará, (5°16'8" de latitude sul e 40°50'12" de longitude oeste), de abril a novembro de 2014. O clima é AW: tropical com estação seca, segundo a classificação Köppen-Geiger. A precipitação média anual é de 731 mm com temperatura média é de 28°C (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Estado do Ceará, 2014).

O solo da região é um ARGISSOLO Amarelo eutrófico (SANTOS et al., 2013). A amostra do solo foi composta pelo material de dez pontos amostrais. Em cada ponto amostral o material da profundidade de 0,0 a 25,0 cm foi colocado em um recipiente, enquanto que o material da profundidade de 25,0 a 40,0 cm foi colocado em recipiente distinto. Ao final da coleta do material dos dez pontos, o mesmo foi misturado e, logo em seguida, foi separada uma porção de aproximadamente 1,5 kg de terra que foi identificada e levada ao laboratório. Após serem secas ao ar e passadas em peneiras com malha de 2,0 mm de diâmetro, as amostras de terra foram submetidas à análise física para a determinação da composição granulométrica e da umidade, e à análise química para a determinação da acidez ativa, acidez potencial, macronutrientes (Ca, Mg, P, K e S), sódio e alumínio trocáveis e carbono orgânico total. Os componentes texturais do solo foram quantificados por dispersão física e química. Para a determinação da acidez ativa foi feita leitura do pH em água, numa relação solo-água 1:2,5. Os cátions trocáveis Ca^{2+} e Mg^{2+} foram determinados por titulometria e o Na^{+} e o K^{+}; por fotometria de emissão de chama, enquanto os ânions $H_2PO_4^-$ e SO_4^{2-} determinados por colorimetria. O carbono orgânico total foi determinado por oxidação úmida. (SILVA, 2009).

A composição granulométrica e a quantidade de água disponível estão descritas na Tabela 5. A textura do solo foi identificada como sendo Areia franca na profundidade até 25,0 cm, e franco arenosa na profundidade de 25,0 a 40,0 cm e a umidade na capacidade de campo foi de 7,67 g $100g^{-1}$ na camada mais superficial e de 10,11 na camada mais profunda do solo.

Os componentes do complexo sortivo estão descritos na Tabela 6. O pH do solo foi de 5,8 na cama mais superficial e de 5,2 na camada mais profunda, enquanto que a saturação por bases foi de 71% em média para as duas profundidades. Os teores de nutrientes

eram muito abaixo do requerido pela cultura, e o solo apresentou ainda uma pequena porcentagem de saturação por alumínio.

Tabela 5. Composição granulométrica, umidade e densidade para as duas profundidades de um ARGISSOLO Amarelo do município de Crateús-CE

Profundidade	Composição Granulométrica (g kg^{-1})				Umidade (g100g^{-1})			Densidade (g cm^{-3})	
	Areia Grossa	Areia fina	Silte	Argila	0,033 Mpa	1,5 Mpa	Água útil	Global	Partícula
0,0 a 25,0 cm	364	457	77	102	7,67	3,97	3,70	1,59	2,74
25,1 a 50,0 cm	536	202	88	174	10,11	5,51	4,60	1,55	2,54

Tabela 6. Composição do complexo sortivo para duas profundidades de um ARGISSOLO Amarelo do município de Crateús-CE

Profundidade	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	$H^{+} + Al^{3+}$	Al^{3+}	M O	P assimilável	V	m
				cmol$_c$ kg^{-1}				g kg^{-1}	mg kg^{-1}	%	
0,0 a 25,0 cm	5,8	0,9	0,8	0,05	0,14	0,83	0,05	5,59	13	70	3
25,1 a 50,0 cm	5,2	0,8	0,8	0,11	0,10	0,66	0,20	3,51	2	72	10

5.2. Preparo da área e plantio

O plantio foi realizado no dia 28 do mês de abril do ano de 2014. Antes da instalação do experimento o solo da área foi preparado com grade aradora e logo em seguida foi feita a marcação das covas de plantio. Com auxílio de um cordão com marcação da distância entre as plantas, foram abertas as covas com dimensões de 40,0 cm de largura por 40,0 cm de comprimento e 30,0 cm de profundidade (0,4x0,4x0,30), com utilização de enxada manual (Figura 3). Em seguida foram colocados no fundo da cova o calcário e o adubo orgânico na quantidade indicada para cada tratamento, misturados e cobertos por uma camada de terra de aproximadamente 5,0 cm. Logo acima foram colocados os adubos minerais, também na quantidade para cada tratamento, e cobertos com outra camada de terra de 5,0 cm.

As doses dos adubos minerais sulfato de amônio, cloreto de potássio foram parceladas em duas aplicações para diminuírem as perdas, assim, no plantio, foram colocadas somente a metade da quantidade da dose, sendo que a outra metade foi colocada em cobertura. Por último foram colocadas as sementes de mamona na quantidade de três em cada cova e cobertas com uma camada de terra de 3,0 cm. Foi cultivada a mamona BRS 188 Paraguaçu no espaçamento de 2,0 m entre fileira e 1,5 m entre plantas, obtendo-se assim uma população de 3333 plantas por hectare.

Figura 3. Cova de plantio com detalhe da colocação da adubação orgânica e do calcário

5.3. Sistema de irrigação

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento formado por duas fileiras de mangueiras para cada linha de plantio (Figura 4), com gotejadores espaçados a cada 15,0 cm, o que dava uma quantidade de três emissores para cada planta. Um poço profundo com vazão máxima de 5,0 $m^3 hora^{-1}$ serviu de fonte de água para a irrigação. A bomba do poço abastecia o reservatório que mantinha uma pressão por diferença de nível até a área do experimento. O sistema de irrigação foi dividido em três setores (Figura 5), um para cada bloco, desta forma pode-se administrar a diferença de pressão do sistema por conta da diferença de nível entre os blocos.

As vazões dos emissores foram 3,27, 3,90 e 5,25 $L h^{-1}$ para o bloco 1, bloco 2 e bloco 3, respectivamente. O controle da quantidade de água a ser colocada foi calculado

diariamente em função da evapotranspiração da cultura obtida por meio de informações disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia. A irrigação era mantida ligada apenas nos dias em que a quantidade de água presente no solo era insuficiente para a reposição da água perdida pela planta. Durante todo o período do experimento a quantidade irrigada foi de 1500 mm, o que dava um volume médio de aproximadamente 300 mm. O início do ensaio coincidiu com o encerramento do período chuvoso na região, de forma que as precipitações registradas ocorreram exclusivamente no mês de maio do ano de 2014. Os eventos de chuvas bem como o volume das precipitações estão descritos na Figura 6. O volume de cada evento chuvoso foi determinado por meio de um pluviômetro de campo instalado dentro da área de plantio.

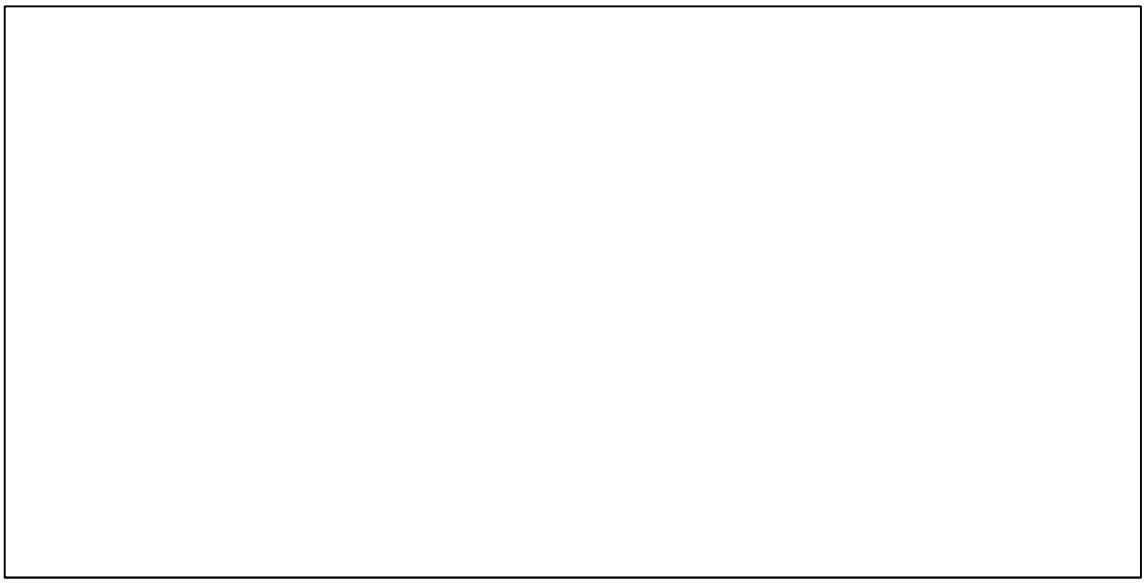

Figura 4. Distribuição das mangueiras de gotejamento no campo