

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Efeito do Uso de Torta de Mamona do Processo de  
Produção de Biodiesel Direto da Semente em Solo da  
Chapada do Apodi - RN**

**Samuel de Deus da Silva**

**2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**EFEITO DO USO DE TORTA DE MAMONA DO PROCESSO DE  
PRODUÇÃO DE BIODIESEL DIRETO DA SEMENTE EM SOLO DA  
CHAPADA DO APODI - RN**

**SAMUEL DE DEUS DA SILVA**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Everaldo Zonta**

*Co-orientação*  
**Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho**

Dissertação submetida como  
requisito parcial para obtenção do  
grau de **Mestre em Ciências**, no  
Curso de Pós-Graduação em  
Agronomia, Área de Concentração  
em Ciência do Solo

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2010

338.1738509813

2

S587e

T

Silva, Samuel de Deus da, 1982-

Efeito do uso de torta de mamona do processo de produção de biodiesel direto da semente em solo da Chapada do Apodi - RN / Samuel de Deus da Silva – 2010. 126 f.: il.

Orientador: Everaldo Zonta.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Bibliografia: f. 93-97.

1. Mamona – Aspectos econômicos - Brasil – Apodi (RN) - Teses. 2. Mamona como combustível - Teses. 3. Biodiesel - Teses. 4. Micro-organismos – Teses. I. Zonta, Everaldo, 1970-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**SAMUEL DE DEUS DA SILVA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 25/02/2010

---

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Raquel Capistrano Moreira. Dra. CENPES/PETROBRAS

---

Fábio Henrique Tavares de Oliveira. Dr. UFERSA

## **DEDICATÓRIA**

Dedico a toda minha família pelo apoio incondicional ao longo desses anos, entendendo muitas vezes pela distância que sempre estive em muitos momentos raros de crescimento e aprendizado sobre a vida por eles e que não pude acompanhar. Mas, sabendo que o sacrifício de não estar próximo será compensado pelo conhecimento adquirido e experiência de vida, algo que não pode ser tirado jamais.

## **AGRADECIMENTOS**

Como jamais podemos esquecer na nossa vida, a razão da nossa existência e sem ele nada seria possível, agradeço primeiro a Deus pela minha vida e por mais uma etapa da minha vida profissional a ser concluída. Assim como essa etapa se conclui, agradeço a todas as pessoas que contribuíram para chegarmos ao objetivo comum.

Meus sinceros agradecimentos as amizades dos laboratórios, sala de aula, alojamentos entre outros seguimentos. Aos amigos pelo incentivo, conselhos e ajuda nas dúvidas muitas vezes decisivas nas tomadas de decisão.

Agradeço ao meu orientador e professor Everaldo Zonta pela confiança depositada no trabalho, pela oportunidade em desenvolver o projeto e amizade.

Aos meus amigos e estagiários Rafael, Helen, Graciene, Dérique, Vagner, Bruno e demais estagiários e bolsistas do laboratório de fertilidade. Agradeço também aos amigos Carla, Fábio, Juliano, Patrik e Nivaldo pelo apoio moral, ajuda e companheirismo.

Aos amigos e técnicos do laboratório - LABFER Jair, Bruno, Renato, Irani e também a Helena do laboratório de física do solo. Meus agradecimentos também aos amigos Betinha, Pedro e Moraes. A Diana Costa pelo incentivo, ombro amigo sempre ao longo da graduação e até o final desta etapa, meus sinceros agradecimentos sem ela não teria conseguido chegar até aqui, e também a toda sua família Angela, Miguel, Simone e dona Glória.

A todos os professores que contribuíram com minha formação alguns desde a graduação, ao curso de pós-graduação em ciência do solo em especial aos amigos Roberto, Marcos e Luciene.

Agradeço aos órgãos de fomento Capes pela concessão da bolsa, CNPq e Fapur pelas bolsas dos estagiários entre outros investimentos e Petrobras por todo o material fornecido para o desenvolvimento do projeto e confiança no nosso trabalho.

Também aos membros da banca que aceitaram o convite em participar e contribuir com sua experiência e diferentes pontos de vista em relação ao trabalho.

Apesar de não citar todos os nomes sei que há muito mais pessoas envolvidas e que jamais serão esquecidas, meu muito obrigado, serei sempre grato.

## **BIOGRAFIA**

Samuel de Deus da Silva, nascido em 06 de maio de 1982, em Tocantinópolis, Estado do Tocantins, na época estado de Goiás. Filho de Deusina Jesus da Silva e Sebastião Branquinho de Deus. Ingressou na Escola Agrotécnica Federal de Araguatins - TO, em fevereiro de 1999 no curso de Técnico Agrícola, concluiu em dezembro de 2001. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no 2º semestre do ano de 2002 no curso de Agronomia, onde graduou em outubro de 2007. Foi bolsista de iniciação científica pela Embrapa Agrobiologia por um período de 2 anos, nas áreas de Agricultura Orgânica e Fixação Biológica de Nitrogênio em Gramíneas. Em março de 2008, ingressou no curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo.

## RESUMO GERAL

SILVA, Samuel de Deus da. **Efeito do uso de torta de mamona do processo de produção de biodiesel direto da semente em solo da Chapada do Apodi - RN.** 2010. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

Com intuito de buscar fontes alternativas de produção de energia e substituição da atual matriz energética, baseada no consumo de combustíveis fósseis como o petróleo, o biodiesel surge como uma alternativa promissora na redução dos impactos ambientais como, por exemplo, menor emissão de gases para atmosfera. Todavia, através da produção desses biocombustíveis, são gerados resíduos como a torta de mamona produzida direto da semente (torta PDS), no qual a patente industrial pertence a Petrobras/ CENPES . Assim, o uso ou reuso desses resíduos é necessário, para o fechamento da cadeia produtiva deste biodiesel, e atendendo a preceitos para manutenção dos recursos naturais. A torta de mamona é um resíduo orgânico com grande potencial no fornecimento de nutrientes e condicionador do solo. Todavia, seu uso deve ser avaliado antes de ser aplicado na agricultura, assim como para outros resíduos. Este estudo buscou avaliar as características e efeitos do uso deste material no cultivo de plantas oleaginosas em um substrato alcalino. Para tal, foi caracterizada a torta de PDS, proveniente de processamento pelo método da Petrobrás em 2008, sendo os parâmetros comparados aos da torta de PDS do ano de 2007, além de torta de mamona comercial obtida por método convencional de produção do óleo (torta CEASA). Foram apontados aspectos promissores e limitantes no uso da torta baseado na norma da ABNT/NBR 10.004:2004 e Ministério da Agricultura. Assim como, a variabilidade das características químicas das sementes e tortas obtidas no ano de 2008. Os resultados mostraram valores de sódio acima dos limites permitidos pela norma, sendo este o principal fator limitante. Desta forma, métodos para reduzir os teores de sódio na torta foram testados, como lavagem com água e solução de KCl em diferentes proporções e concentrações. Além disso, a taxa de liberação dos nutrientes pela torta foi estimada através da evolução de CO<sub>2</sub>, proveniente da respiração dos microorganismos. A taxa de liberação dos nutrientes foi maior por volta do sétimo dia de incubação, tendo maior influencia das doses de torta adicionadas ao substrato. E por fim, foram cultivadas a mamona (*Ricinus communis* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.) em casa de vegetação, sob doses crescentes da torta “in natura” e tratada com água. As maiores doses de torta apresentaram maior incremento em ganho para maioria das variáveis estudadas de forma proporcional.

**Palavras-chave:** Mamona. Micro-organismos. Substrato.

## GENERAL ABSTRACT

SILVA, Samuel de Deus da. **Effect of castor cake from biodiesel production directly seed on Chapada do Apodi - RN Soil.** 2010. 126p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

In search of alternatives sources of energy production, and to replace current energy matrix, based on consumption of fossil fuels such as petroleum, biodiesel shows to be a promising option in reducing environmental impacts, for example, lowest emissions of gases to atmosphere. However, through the production of biofuels, wastes are generated such as the castor bean residue, produced directly from seed (PDS cake), an industrial patent of Petrobras/CENPES. Thus, it required the use or re-use of the residue, to complete the production chain of this biodiesel, and following the protocols for maintenance of natural resources. The castor bean cake is an organic residue with great potential in providing nutrients and as a soil conditioner. However, its usage should be studied before application in agriculture, as any other waste. This study aimed to evaluate the characteristics and effects of usage of this material in cultivation of oilseeds plants in an alkaline substrate. Castor oil cake (PDS), obtained by Petrobras processing method in 2008, was characterized and its parameters compared to the 2007 produced cake (PDS of 2007), and a commercial castor bean cake from conventional method (CEASA cake). There were promising aspects and limitations in the usage of the castor oil cake, based on the ABNT/NBR 10.004:2004 and Ministry of Agriculture standards. As well as, the chemical characteristics variability of seed and cakes obtained in 2008 year. The results showed sodium values above the limits allowed by the standard, and this was the main limiting factor. Thus, methods to reduce sodium content in the cake were tested, by washing it with water and KCl solution in different proportions and concentrations. In addition, the evolution of CO<sub>2</sub> from the respiration of micro-organisms was estimated. The rate of release of nutrients by the cake was highest by the seventh day of incubation, with greatest influence of the cake doses added to the substrate. Castor bean (*Ricinus communis* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants were grown in the greenhouse, under increasing doses of non treated cake and treated with water cake. The highest cake dosages showed higher and proportional gain for most of the studied variables.

**Key words:** Castor bean. Micro-organisms. Substrate.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Reação de transesterificação de óleos vegetais e/ou gorduras animais em duas rotas distintas. Fonte: Adaptado da Revista Biodiesel (2010).....9
- Figura 2.** Processo resumido de produção do biodiesel direto da semente, desenvolvida pela Petrobras/Cenpes. Fonte: (ZONTA, 2008). Cat = catalisador; Sod.= sódio (contém  $\text{Na}^+$ )..... 10
- Figura 3.** Etapas do processo de redução dos teores de sódio na torta de mamona PDS: (A) Pesagem da torta; (B) Agitação sob distintos volumes de água; (C) Mensuração da condutividade elétrica do extrato não filtrado; (D) Filtragem e separação das fases; (E) Segunda mensuração da condutividade elétrica do extrato filtrado; (F) Torta de mamona após a lavagem “borra”, colocada em saco de papel com filtro de papel; (G) Torta lavada em estufa a 65 °C até peso constante; (H) Extrato da digestão da torta, para posterior determinação dos teores totais dos elementos. ....32
- Figura 4.** Teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  extraíveis na torta de mamona PDS “in natura” e tratada, nas diferentes relações entre massa de torta e água. Letras maiúsculas ou minúsculas, diferentes nas colunas de mesma aparência indicam diferença estatística entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....34
- Figura 5.** Teores extraíveis de Na e K no extrato sob distintas relações massa/volume de torta PDS. Letras maiúsculas ou minúsculas, diferentes nas colunas de mesma aparência indicam diferença entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....35
- Figura 6.** Teores de fósforo extraível na torta de mamona PDS “in natura” e tratada com água. Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....35
- Figura 7.** Teores de cálcio, magnésio e alumínio extraíveis presentes na torta de PDS “in natura” e tratada. Letras iguais na coluna de mesma aparência não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....36
- Figura 8.** Teores totais de N, P e K na torta de mamona PDS “in natura” e tratada em diferentes relações entre massa da torta e água. Letras maiúsculas ou minúsculas distintas nas colunas de mesma aparência diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....37
- Figura 9.** Teores totais de sódio na torta de mamona “in natura” e tratada sob diferentes volumes de água em relação à torta. Letras distintas nas colunas indicam diferença estatística significativa entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 38
- Figura 10.** Massa (mg) de  $\text{Na}^+$  trocável extraída da torta de mamona PDS lavada com água destilada e solvente em diferentes concentrações de KCl. Letras distintas indicam diferença significativa entre as médias de cada tratamento pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ....39
- Figura 11.** Teores de sódio e potássio trocáveis presente na torta de mamona PDS “in natura” e lavada em concentrações crescentes de KCl. Letras distintas indicam diferença significativa entre médias de cada tratamento pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ....40
- Figura 12.** Teores totais de N, P e K na torta de mamona “in natura” e tratada com solução de KCl em diferentes concentrações. Letras iguais em colunas de mesma cor ou forma não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....41
- Figura 13.** Teores totais de Ca e Mg na torta de mamona “in natura” e tratada com solução de KCl em diferentes concentrações. Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ....41

<b>Figura 14.</b> Teores de P extraível na torta “in natura” e tratada com solução de KCl em diferentes concentrações de KCl. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ....	42
<b>Figura 15.</b> Teores trocáveis de Ca e Mg na torta “in natura” e tratada com solução de KCl em diferentes concentrações de KCl. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ....	42
<b>Figura 16.</b> Unidade experimental na avaliação da taxa de mineralização da torta de mamona PDS, à esquerda vista lateral do recipiente hermeticamente fechado, e à direita vista superior do recipiente sem tampa. Ao fundo, solo + torta e sobre a mistura recipiente contendo solução de NaOH. ....	50
<b>Figura 17.</b> Mineralização da torta de mamona PDS em substrato alcalino sob dos crescentes de torta “in natura” figura (A), e torta tratada na relação (50/50) - (50 g de torta / 50 mL de água) figura (B). As doses na legenda $t = \text{Mg ha}^{-1}$ .....	54
<b>Figura 18.</b> Mineralização da torta de mamona PDS em substrato alcalino sob dos crescentes de torta tratada relação (50/100) figura (C), e torta tratada relação (50/200) figura (D). As doses na legenda indicadas por $t = \text{Mg ha}^{-1}$ .....	55
<b>Figura 19.</b> Totais de CO <sub>2</sub> evoluído ao longo do período de incubação em função das doses crescentes de torta de mamona PDS “in natura” e tratada sob distintas (relações torta (g) / água (mL)). Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 % .....	56
<b>Figura 20.</b> Localização geográfica da Chapada do Apodi no RN. Fonte: Zonta (2008). .....	64
<b>Figura 21.</b> Mapa de solos compreendendo os municípios do pólo de produção de oleaginosas para biodiesel no RN. Fonte: Zonta (2008). .....	65
<b>Figura 22.</b> Unidade experimental no cultivo da mamoneira em casa-de-vegetação. ....	66
<b>Figura 23.</b> Leitura com SPAD para determinação do teor de clorofila a e b em folhas da mamoneira. ....	67
<b>Figura 24.</b> Plantas de mamona cultivadas sob doses crescentes de torta de mamona PDS “in natura” ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). ....	71
<b>Figura 25.</b> Plantas de mamona cultivadas sob doses crescentes de torta de mamona PDS tratadas ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). ....	71
<b>Figura 26.</b> Experimento da mamoneira cultivada em casa de vegetação (condições controladas). ....	72
<b>Figura 27.</b> Teores totais de sódio ( $\text{Na}^+$ ) nas raízes (A) e na parte aérea (B), na mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições. ....	76
<b>Figura 28.</b> Relação raiz/parte área dos teores totais presentes mamoneira. N - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições. ....	77
<b>Figura 29.</b> Teor carbono orgânico total no substrato após o cultivo da mamona. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições. ....	80
<b>Figura 30.</b> Plantas de girassol após 70 dias de cultivo, sob doses crescentes de torta de mamona PDS “in natura” (A) e tratada (B). ....	81
<b>Figura 31.</b> Teores totais de sódio ( $\text{Na}^+$ ) nas raízes (A) e na parte aérea (B), presentes no girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais	

- não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições. ....85
- Figura 32.** Relação raiz/parte área dos teores totais presentes mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições. ....86
- Figura 33.** Teor de carbono orgânico total no substrato após o cultivo do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições. ....89

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores comparativos das características das tortas de mamona PDS lote 2007 PDS, PDS lote 2008 e Ceasa na massa bruta (sem alteração da amostra).....	13
<b>Tabela 2.</b> Comparação dos ensaios de lixiviação entre as tortas de mamona PDS lote 2007, 2008 e Ceasa. ....	13
<b>Tabela 3.</b> Resultados comparativos entre elementos da lixiviação - inorgânicos presentes na torta de PDS lote 2007, 2008 e torta de mamona Ceasa.....	14
<b>Tabela 4.</b> Resultados comparativos entre substâncias (pesticidas), lixiviadas das tortas de PDS lote 2007, 2008 e torta de mamona Ceasa. ....	14
<b>Tabela 5.</b> Resultados comparativos das substâncias (orgânicos) lixiviadas das tortas de mamona, lotes de 2007, 2008 e torta de mamona do Ceasa. ....	15
<b>Tabela 6.</b> Valores comparativos das tortas de PDS lote 2007, 2008 e Ceasa em relação ao pH - amostras solubilizadas. ....	16
<b>Tabela 7.</b> Comparação das amostras de solubilizados (inorgânicos), das tortas de PDS lote de 2007, torta de PDS lote 2008 e Ceasa.....	17
<b>Tabela 8.</b> Resultados comparativos entre substâncias solubilizadas (orgânicas) provenientes das tortas de PDS de lotes de 2007, 2008 e Ceasa.....	18
<b>Tabela 9.</b> Teores de macronutrientes totais presentes na torta de mamona de PDS 2007, PDS 2008 e Torta comercial (Ceasa). ....	18
<b>Tabela 10.</b> Comparação entre lotes da torta de mamona PDS 2008 “in natura” de elementos e substâncias nos ensaios de solubilização (inorgânico). ....	19
<b>Tabela 11.</b> Teores totais dos elementos presentes nas sementes e tortas de mamona PDS 2008, de diferentes bateladas (lotês), onde, se apresentaram acima do valor máximo permitido pela NBR 10.004:2004. ....	20
<b>Tabela 12.</b> Teores totais nas sementes de mamona, de diferentes lotes, proveniente da unidade experimental da Petrobras/Cenpes (UEB-2) ano de 2008. ....	21
<b>Tabela 13.</b> Teores totais nas tortas de mamona, de diferentes lotes, proveniente da unidade experimental da Petrobras/Cenpes (UEB-2) ano de 2008. ....	21
<b>Tabela 14.</b> Teores extraíveis nas tortas de mamona, de diferentes lotes, proveniente da unidade experimental da Petrobras/Cenpes (UEB-2) ano 2008. ....	22
<b>Tabela 15.</b> Condutividade elétrica no extrato filtrado e não filtrado proveniente da lavagem da torta de mamona PDS com água destilada. Médias de três repetições. ....	35
<b>Tabela 16.</b> Redução percentual dos teores totais de N, P, K e Na, na torta de mamona de PDS após a lavagem com água destilada, comparados à torta pura ou “in natura”. Médias de três repetições.....	38
<b>Tabela 17.</b> Tratamentos utilizados na avaliação da mineralização da torta de mamona de PDS adicionada a substrato alcalino através da metodologia de evolução de CO <sub>2</sub> . ....	51
<b>Tabela 18.</b> Análise química para fins de avaliação da fertilidade do substrato utilizado na mineralização da torta de PDS e no cultivo da mamoneira e girassol em casa de vegetação. ....	53
<b>Tabela 19.</b> Análise física (granulométrica) do substrato utilizado no estudo de mineralização da torta de mamona PDS. ....	53
<b>Tabela 20.</b> Valores totais de macronutrientes presentes na torta de mamona PDS 2007. Médias de três repetições.....	57
<b>Tabela 21.</b> Comparação entre torta PDS “in natura” (IN), tratada (TT) e adubação mineral (NPK), em relação às variáveis: altura, massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) na mamoneira. ....	70

<b>Tabela 22.</b> Comparação entre doses crescentes da torta de mamona PDS “in natura”, tratada e adubação mineral com NPK na cultura da mamoneira. Variáveis: área, comprimento e volume radicular. ....	72
<b>Tabela 23.</b> Comparação entre distintos métodos de estimativa de N em tecido vegetal, relacionando com doses e tipo ou estado da torta aplicada. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	73
<b>Tabela 24.</b> Teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) presente nas raízes da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	74
<b>Tabela 25.</b> Teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) presentes na parte aérea (colmo + folha) da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	75
<b>Tabela 26.</b> Teores totais de cálcio (Ca <sup>2+</sup> ) e magnésio (Mg <sup>2+</sup> ) nas raízes e parte aérea da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	75
<b>Tabela 27.</b> Densidade e volume total de poros (VTP) do substrato, após o cultivo da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	77
<b>Tabela 28.</b> Teores trocáveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo assimilável (P) no substrato após o cultivo da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	78
<b>Tabela 29.</b> Comparação entre teores trocáveis de sódio, relação de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de saturação por sódio (PST) no substrato após o cultivo da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	79
<b>Tabela 30.</b> Valores médios de acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (T) e saturação por bases (V) no substrato após o cultivo da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	79
<b>Tabela 31.</b> Comparação entre torta PDS “in natura” (IN), tratada (TT) e adubação mineral (NPK), em relação às variáveis: altura, massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) no girassol. ....	81
<b>Tabela 32.</b> Comparação entre doses crescentes da torta PDS “in natura” (IN), tratada (TT) e adubação mineral com NPK na cultura do girassol. Variáveis: área, comprimento, volume radicular e massa fresca de raiz (mfra). ....	82
<b>Tabela 33.</b> Teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) presentes nas raízes do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	82
<b>Tabela 34.</b> Teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) presentes na parte aérea (colmo + folha + capítulo) do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	83
<b>Tabela 35.</b> Teores totais de cálcio (Ca <sup>2+</sup> ) e magnésio (Mg <sup>2+</sup> ) nas raízes e parte aérea do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	84
<b>Tabela 36.</b> Densidade e volume total de poros (VTP) do substrato, após o cultivo do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	86
<b>Tabela 37.</b> Teores trocáveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo assimilável (P) no substrato após o cultivo do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	87
<b>Tabela 38.</b> Comparação entre teores trocáveis de sódio, relação de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de saturação por sódio (PST) no substrato após o cultivo do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	88
<b>Tabela 39.</b> Valores médios de acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (T) e saturação por bases (V) no substrato após o cultivo do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. ....	88

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL-----	1
2. CAPÍTULO I- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E VARIABILIDADE DA TORTA DE MAMONA PDS 2008, EM COMPARAÇÃO COM A TORTA COMERCIAL (CEASA) E PDS 2007-----	2
2.1 RESUMO -----	3
2.2 ABSTRACT-----	4
2.3 INTRODUÇÃO-----	5
2.4 REVISÃO DE LITERATURA -----	6
2.4.1 Breve histórico do uso do petróleo e biocombustíveis no Brasil e no mundo -----	6
2.4.2 Programas, metas e propostas do governo para uso de biocombustíveis no Brasil. --	7
2.4.3 Cultivo e produção da mamoneira no Brasil e no mundo-----	8
2.4.4 Características, utilização e processo de obtenção da torta de mamona direto da semente (PDS)-----	8
2.5 MATERIAL E MÉTODOS -----	11
2.5.1 Caracterização química da torta de mamona -----	11
2.5.2 Teores totais dos elementos limitantes na torta de mamona PDS 2008-----	11
2.5.3 Variabilidade da semente e torta de mamona PDS 2008-----	12
2.5.4 Análise estatística dos dados -----	12
2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	13
2.6.1 Caracterização química da torta de mamona de PDS 2008 em comparação com a torta de PDS 2007 e torta de mamona comercial Ceasa -----	13
2.6.2 Teores totais dos elementos limitantes para uso da torta de mamona PDS 2008 ---	19
2.6.3 Variabilidade da torta de mamona PDS 2008-----	20
2.7 CONCLUSÕES-----	23
3. CAPÍTULO II - ENSAIOS PARA REDUÇÃO DOS TEORES DE SÓDIO NA TORTA DE MAMONA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL DIRETO DA SEMENTE-----	24
3.1 RESUMO -----	25
3.2 ABSTRACT-----	26
3.3 INTRODUÇÃO-----	27
3.4 REVISÃO DE LITERATURA -----	28
3.4.1 Uso do sódio na indústria -----	28
3.4.2 Efeitos do Na <sup>+</sup> nos vegetais e no solo -----	28
3.4.3 Atuação da matéria orgânica em solos com elevados teores de Na <sup>+</sup> -----	30
3.5 MATERIAL E MÉTODOS-----	30
3.5.1 Tratamento da torta com água -----	31
3.5.2 Tratamento da torta de mamona com KCl-----	33
3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	34
3.6.1 Tratamento da torta PDS 2007 com água -----	34
3.6.1 Tratamento da torta com KCl -----	39
3.7 CONCLUSÕES-----	43
4. CAPÍTULO III - ESTIMATIVAS DA MINERALIZAÇÃO DA TORTA DE MAMONA PDS “IN NATURA” E TRATADA EM SOLO PROVENIENTE DA CHAPADA DO APODI-RN, UTILIZANDO A EVOLUÇÃO DE CO <sub>2</sub> -----	44
4.1 RESUMO -----	45

4.2 ABSTRACT -----	46
4.3 INTRODUÇÃO -----	47
4.4 REVISÃO DE LITERATURA -----	48
4.4.1 Atuação da matéria orgânica -----	48
4.4.2 Dinâmica dos micro-organismos -----	48
4.4.3 Estimativa da atividade microbiológica -----	49
4.5 MATERIAL E MÉTODOS -----	50
4.5.1 Local do estudo e tratamentos -----	50
4.5.2 Período de incubação e metodologia utilizada -----	51
4.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	53
4.6.1 Caracterização química e física do substrato proveniente da Chapada do Apodi - RN. -----	53
4.6.2 Resultados da taxa de mineralização das tortas -----	53
4.7 CONCLUSÕES -----	58
5. CAPÍTULO IV - EFEITO DO USO DA TORTA DE MAMONA (PDS) COMO ADUBO ORGÂNICO EM SOLO DA CHAPADA DO APODI - RN, NO CULTIVO DA MAMONA ( <i>Ricinus communis</i> L.) E DO GIRASSOL ( <i>Helianthus annuus</i> L.) -----	59
5.1 RESUMO -----	60
5.2 ABSTRACT -----	61
5.3 INTRODUÇÃO -----	62
5.4 REVISÃO DE LITERATURA -----	63
5.4.1 Importância e aplicações da torta de mamona e de outras tortas -----	63
5.4.2 Chapada do Apodi -----	63
5.5 MATERIAL E MÉTODOS -----	66
5.5.1 Determinação de clorofila nas folhas -----	67
5.5.2 A coleta do experimento -----	67
5.5.3 Determinação de parâmetros radiculares -----	67
5.5.4 Análise do material vegetal -----	68
5.5.5 Análises de solo -----	68
5.5.6 Estatística -----	69
5.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	70
5.6.1 Avaliação das variáveis fenológicas em plantas de mamona -----	70
5.6.2 Avaliações radiculares na mamoneira -----	72
5.6.3 Clorofilas, teor de nitrogênio total na folha e leitura do SPAD -----	72
5.6.4 Análise dos teores totais de NPK no tecido vegetal -----	73
5.6.5 Análises físicas do substrato após o cultivo da mamoneira -----	77
5.6.6 Análise química do substrato após o cultivo -----	78
5.6.7 Avaliação das variáveis fenológicas em plantas de girassol -----	80
5.6.8 Avaliações radiculares no girassol -----	81
5.6.9 Análise dos teores totais NPK no tecido vegetal do girassol -----	82
5.6.10 Análises físicas do substrato -----	86
5.6.11 Análises químicas do substrato -----	87
5.7 CONCLUSÕES -----	90
6 CONCLUSÕES GERAIS -----	91
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS -----	92
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	93
10 ANEXOS -----	98

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O grande desafio atualmente entre as nações é promover a redução dos impactos ambientais, onde os países buscam crescimento econômico e tentam minimizar a emissão de gases poluentes. Os países desenvolvidos são os que mais impactaram no passado e que demonstram maior resistência para tentar reverter à situação atual.

O Brasil é um dos países que se destaca na busca da geração de energia limpa e sustentável, como é o caso dos biocombustíveis, que é produzido a partir de várias matérias-primas vegetais como: mamona, soja, cana-de-açúcar girassol, dendê, pinhão manso entre outras fontes.

Como na maioria dos processos industriais a produção do biodiesel, gera resíduos como a glicerina e as tortas. Particularmente, a torta de mamona proveniente do processo de biodiesel direto da semente (PDS), que é uma tecnologia de produção do biocombustível desenvolvida pela Petrobras (detentora da patente), é resíduo rico em nutrientes, principalmente nitrogênio, que pode ser aplicado como fertilizante orgânico na agricultura. Com uso da torta de PDS, atende-se a preceitos firmados na Agenda 21, de fazer uso ou reuso de resíduos. Todavia, através do processo físico-químico de produção do biodiesel e/ou diesel - chamado transesterificação utiliza-se o hidróxido de sódio (NaOH) como catalisador, que promove aumento nos teores de sódio no material. Esse elemento é inconveniente, pois pode promover danos para a maioria das culturas, além de efeitos deletérios no solo dependendo da sua concentração no meio.

Para aplicação de um resíduo ao ambiente, devem-se determinar as características físicas, químicas e biológicas do material, para que possa ser aplicado com segurança, caso contrário corre-se o risco de está impactando mais o meio, visto que por si, a agricultura já é impactante. O uso destes materiais deve atender as legislações e normas vigentes como a ABNT/NBR 10004:2004 e normas do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. No estudo desenvolvido buscou-se avaliar essas características, e, propor alternativas para redução dos teores de sódio presentes na torta, além da avaliação dos efeitos biológicos, com adição do resíduo a um substrato alcalino em doses crescentes, no cultivo das oleaginosas mamona e girassol. Para tal, foram elaboradas quatro atividades, discutidas nos seguintes capítulos:

**Primeiro:** Caracterização química e variabilidade da torta de mamona PDS 2008, em comparação com a torta comercial (Ceasa) e PDS 2007.

**Segundo:** Ensaios de laboratório para redução dos teores de sódio na torta de mamona produzida direto da semente.

**Terceiro:** Avaliação comparativa das taxas de mineralização da torta de mamona PDS “in natura” e tratada em solo do Rio Grande do Norte, utilizando a evolução de CO<sub>2</sub>.

**Quarto:** Efeito do uso da torta de mamona (PDS) como adubo orgânico em solo do Rio Grande do Norte no cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) e do girassol (*Helianthus annuus* L.).

## **CAPÍTULO I**

### **2. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E VARIABILIDADE DA TORTA DE MAMONA PDS 2008, EM COMPARAÇÃO COM A TORTA COMERCIAL (CEASA) E PDS 2007**

## 2.1 RESUMO

Atualmente há grande preocupação com a matriz energética pela dependência de petróleo e o desafio de busca de energia limpa, aliado com interesse econômico de diversos países. Todavia, há um grande número de nações buscando soluções e propostas para redução na emissão de gases de efeito estufa e obtenção de formas de energias renováveis e sustentáveis. Os biocombustíveis são uma das alternativas para a redução de poluentes, porém sua produção gera resíduos que devem ser reaproveitados como é o caso da torta de mamona PDS (obtida através da técnica de produção de biodiesel direto da semente). A torta proveniente desse processo é um material orgânico que apresenta consideráveis teores de nutrientes para as plantas, principalmente nitrogênio. A técnica de produção de biodiesel direta da semente foi desenvolvida pela Petrobras/CENPES, sendo detentora da patente industrial. O objetivo do estudo foi caracterizar e avaliar a variabilidade da torta de mamona do PDS produzida em 2008, comparada à torta de PDS 2007 produzida em 2007 pelo mesmo processo, e a torta comercial CEASA, obtida por processo convencional de extração do óleo. Amostras em triplicata da torta de mamona PDS 2008 foram enviadas a um laboratório credenciado para a caracterização química, sendo comparados parâmetros orgânicos e inorgânicos, com as outras duas tortas de mamona, e com os valores preconizados na ABNT/NBR 10.004:2004. A instrução normativa 27 (IN 27) do Ministério de Agricultura para fertilizantes orgânicos também foi utilizada como referência. Foram apontados aspectos promissores e limitantes ao uso da torta como adubo orgânico, antes observados por Freitas (2009). A torta foi classificada como resíduo Classe II A não inerte e não perigoso. Foram realizadas análises químicas de distintos lotes de sementes e das respectivas tortas geradas por eles, com intuito de avaliar a variabilidade do material em relação aos seus teores de macronutrientes totais e trocáveis nas tortas, além do sódio, sendo evidenciadas diferenças significativas entre lotes de sementes e torta.

**Palavras-chave:** Biocombustíveis. Resíduos orgânicos. Caracterização de resíduos.

## 2.2 ABSTRACT

Currently there is great concern about our energy dependence on oil and the search for clean energy, coupled with economic interests of various countries. However, there are a number of nations seeking solutions and proposals to reduce the greenhouse gases emissions and developing renewable and sustainable technologies. Biofuels are one of the alternatives to reduction of pollutants, but their production also generates wastes, that have to be reused, as it is the case of PDS castor bean cake (obtained by the technique of directly production of biodiesel from seed). The cake from this process is an organic material that has significant levels of nutrients to plants, mainly nitrogen. The technique of producing biodiesel directly from seed was developed by Petrobras / CENPES , which holds the patent industry. The study aimed to characterize and to evaluate the variability of the castor bean PDS cake produced in 2008 comparing it to the 2007 PDS cake, both using the same process, and the commercial cake form CEASA , obtained by the conventional method of oil extraction. Samples in triplicate from the castor bean PDS cake 2008 were sent to an accredited laboratory for chemical characterization, and the values were compared with organic and inorganic parameters, with the other two castor bean cakes (2007 and CEASA ), and the values defined by ABNT / NBR 10.004:2004. The normative instruction 27 (IN 27) of the Ministry of Agriculture for fertilizers was also used as a reference. There were promising aspects and limitations in the use of cakes as organic fertilizer, as already observed by Freitas (2009). The cake was classified as Class II A wastes no-inert and not dangerous. The chemical analysis of different lots of seeds and the cakes generated by them, aiming to assess the variability of the material in relation to their total and exchangeable macronutrients content in the cakes, besides sodium, showed significant differences between seed and cake lots.

**Key words:** Biofuels. Organic wastes. Residue characterization.

## 2.3 INTRODUÇÃO

Desde a Conferência de Estocolmo em 1972, que consistiu na reunião entre 113 países, na primeira grande reunião global entre as Nações Unidas em relação às questões ambientais, este tema envolve diversas questões econômicas entre os denominados países ricos ou desenvolvidos e também subdesenvolvidos, ocorre o crescimento acelerado, e que acompanha a degradação dos recursos naturais.

Atualmente as questões ambientais são muito discutidas, várias reuniões, debates e acordos foram realizados e firmados entre os países, tais como: Agenda 21, Eco 92, Protocolo de Kyoto entre outras. Buscando alternativas e meios de reduzir os impactos ambientais e continuar crescendo economicamente, através da sustentabilidade ambiental, o que não é uma tarefa fácil, será mesmo possível consegui-la? É uma questão bem complexa de se resolver quando há interesses econômicos envolvidos.

Como alternativa viável, os biocombustíveis surgem como forma de tentar mitigar a emissão de gases poluentes, fumaça negra, enxofre e reduzir as importações do diesel comum (a partir do petróleo) no Brasil. Os biocombustíveis são produzidos a partir de matérias-primas renováveis, produzindo energia limpa e sustentável, e, diminuindo a dependência do petróleo.

A torta de mamona proveniente do processo de produção do biodiesel direto da semente (PDS), considerada um resíduo sólido agroindustrial, é gerada a partir de sementes oleaginosas, tais como a mamona, girassol, soja entre outras, que são matérias-primas renováveis, podendo garantir a sustentabilidade na geração de energia limpa.

A torta de mamona de PDS apresenta alto potencial de uso como fertilizante orgânico, libera diversos nutrientes ao meio promovendo a ciclagem de nutrientes, favorecendo a biota do solo e promove melhorias em propriedades físico-químicas do solo.

Para utilização da PDS como fertilizante, assim como qualquer outro resíduo, faz-se necessário um estudo de caracterização e variabilidade do material, observando os limites máximos permitidos pela legislação vigente no país. No Brasil atualmente segue-se a norma para resíduos sólidos da ABNT/NBR 10.004/2004, e também se faz necessário a aplicação da IN 27 para fertilizantes orgânicos do Ministério da Agricultura.

Considerando a crescente preocupação da sociedade com relação às questões ambientais e ao desenvolvimento sustentável, a ABNT criou a CEET-00.01.34 - Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos, para revisar a ABNT NBR 10.004:1987 - Resíduos sólidos - Classificação, visando a aperfeiçoá-la e, desta forma, fornecer subsídios para o gerenciamento de resíduos sólidos (ABNT, 2004).

O objetivo do estudo foi caracterizar e avaliar a variabilidade da torta de mamona de PDS produzida em 2008, comparada à torta de PDS 2007 produzida por processo similar e a torta comercial CEASA obtida por processo diferente de extração do óleo.

## 2.4 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.4.1 Breve histórico do uso do petróleo e biocombustíveis no Brasil e no mundo

Há indícios da utilização do petróleo a 4000 a.C. Habitantes do Egito, Mesopotâmia, Judéia e Pérsia já utilizavam o betume para pavimentação de estradas, calefação de grandes construções, aquecimento e iluminação das casas (SOUSA, 2008).

Segundo VESENTINI (1995), para a sociedade moderna e industrial o petróleo e seus derivados são elementos básicos, pois, além de dar origem à gasolina, diesel e outros combustíveis constituem também matéria-prima para a indústria química, como a de plásticos, de asfalto e várias outras. Analisando os fatos históricos, a sociedade industrial teve seus pilares na abundância e nos baixos preços do petróleo. Quando o mundo começou a perceber que o petróleo não é inesgotável, ocorre a crise dos anos 70. A crise foi tão grave que em 1980 o barril de petróleo estava custando 34 dólares sendo que em 1973 o barril custava 5 dólares. A crise propiciou o desenvolvimento de tecnologias para a substituição dos derivados de petróleo no Brasil e outros países do mundo.

No Brasil, a industrialização do petróleo iniciou-se tardiamente em relação a outros países. Somente em 1941 o primeiro poço passou a produzir petróleo. No início dos anos 50 com aumento no desenvolvimento das cidades brasileiras, aumentou também o consumo de petróleo, mais isso não representava problemas, aparentemente, pois durante a década de 60 existia petróleo em grande quantidade no mercado externo, e, além disso, com preço baixo. Mas, o gasto com a importação do petróleo acarretou no aumento exorbitante da dívida externa brasileira. O Brasil que com a facilidade da importação abandonou a idéia de auto-suficiência em combustíveis, voltou a pensar no assunto nos anos 70 com as crises mundiais do petróleo, onde este produto subiu demasiado. A partir de então, ainda nos governos militares iniciaram pesquisas rumo a auto-suficiência em combustíveis do Brasil. Já em 1984 a produção interna se igualou à importação. Ainda na década de 80 o governo investiu pesado no Pró-Alcool, programa criado em 1975 visando aumentar a produção de álcool na tentativa de substituir o petróleo importado e até então muito caro. Porém, antes do fim desta década o Pró-Alcool naufragou, pois o petróleo voltou a baixar no mercado colocando em cheque os programas de substituição dos hidrocarbonetos (SOUSA, 2008).

A partir do final da década de 80 com a apresentação do relatório Brundtland e início da década 90 com a Eco-92, o mundo começou a olhar o meio ambiente com olhar preocupado. A idéia de deixar um mundo sustentável para as gerações futuras fez algumas pessoas repensarem suas atitudes. A comprovação científica de que o aquecimento global é fato, veio reforçar ainda mais essas mudanças de atitudes. Porém, junto com essas mudanças de atitudes, vieram também as oportunidades de negócios, como os créditos de carbono e os agrocombustíveis (SOUSA, 2008).

Iniciou-se uma nova corrida mundial, a dos combustíveis renováveis. Os competidores estão de atentos a mais um mercado promissor, sem se preocuparem, em alguns casos, com os impactos causados pela produção e uso da nova fonte de renda. Por outro lado, a possibilidade do fim do petróleo deixou o mundo em alerta, e países grandes consumidores deste recurso, como os Estados Unidos, já estão produzindo etanol proveniente do milho em larga escala, e isso está ocasionando o aumento nos preços deste alimento essencial para a alimentação humana (SOUSA, 2008).

O crescimento industrial e econômico brasileiro se acentuou a partir da década de 70 a custa de uma matriz energética alicerçada no uso de combustíveis fósseis. Em decorrência

dessa opção, geram-se paralelamente passivos ambientais nos meios aquático, atmosférico e terrestre decorrente de vazamentos de petróleo e combustíveis de tanques de armazenamento, derramamentos durante a operação de transferência de produto e subprodutos; vazamentos devido à corrosão dos sistemas de transferência e armazenagem, falhas estruturais do tanque ou da tubulação conectada ao tanque, dentre outros.

Embora a sociedade e os cientistas estejam conscientes da necessidade de mudança da matriz energética atual, prevê-se que ainda nos próximos 50 anos, o petróleo seja nossa realidade energética (GOLDEMBERG & VILLANUEVA, 2003), mesmo que esforços estejam sendo feitos desde logo para este fim.

No século XXI, devido ao alerta com as emissões de gases tóxicos para a atmosfera e consequentemente aumento do aquecimento global, surgem os agrocombustíveis como alternativa efetiva. Nos EUA o etanol fabricado a partir do milho, o diesel de dendê na Colômbia, Equador, Indonésia e Malásia. No Brasil o etanol oriundo da cana-de-açúcar e o biodiesel proveniente de oleaginosas como a soja são as maiores expectativas do governo e dos latifundiários (SOUSA, 2008).

Dessa forma, resumidamente, é possível então se propor o uso dos resíduos provenientes da fabricação de biocombustíveis, tanto para a remediação de áreas impactadas pela exploração e produção das oleaginosas, por meio da ciclagem, e com isso ainda, aumentando a sustentabilidade e reduzindo os custos dessa produção. Porém, a aplicação de resíduos ao solo, com finalidades agrícolas, requer muitos estudos, pois existem dificuldades para o estabelecimento de estratégias para o controle de resíduos no Brasil, decorrentes, entre outros motivos, da escassez de dados e estudos técnicos sobre o assunto. O desafio está em entender como as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo afetam a capacidade deste em atuar como um receptor de resíduos, com um mínimo de efeitos indesejáveis para o ambiente. Portanto, o solo não deve funcionar como um simples depósito de resíduos, e nem o resíduo utilizado como forma de descarte. Solo e resíduo devem ser manejados como um sistema integrado de modo a obter-se o melhor aproveitamento possível.

#### **2.4.2 Programas, metas e propostas do governo para uso de biocombustíveis no Brasil**

A discussão sobre a inserção do biodiesel na matriz energética nacional tem se intensificado no Brasil, principalmente a partir do ano de 2003. Além da justificativa ambiental para a substituição do óleo de origem fóssil, várias potenciais vantagens técnicas e socioeconômicas para essa alternativa energética têm sido estudadas recentemente (ALMEIDA et al., 2004).

Centro de pesquisas, universidades e governos (federal e estaduais) têm desenvolvido estudos para aperfeiçoar o processo de fabricação e para definir os parâmetros físico-químicos que assegurem qualidade aceitável para o biodiesel. Como resultado espera-se que o biodiesel, assim como o etanol da cana-de-açúcar, constitua-se numa alternativa técnica e economicamente viável da matriz energética de combustível do país (ALMEIDA et al., 2004).

Segundo FOSTER (2004) citado por Almeida et al. (2004), diz que por outro lado o governo federal pretende, com Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel (PROBIODIESEL), reduzir o nível de desemprego e de distribuição de renda no país com a adoção desse biocombustível. Essa tendência em focar aspectos socioeconômicos é observada na diretriz governamental, que determina 40% da produção nacional de biodiesel tenha como matéria-prima para produção, a partir de cultivos oriundos da agricultura familiar.

Para alcançar a meta proposta pelo Governo, serão necessários investimentos públicos e privados na produção da mamona em todo o país, sendo que, com base nas expectativas do Governo, espera-se que 50% seja produzido pela agricultura familiar do semi-árido

nordestino, em razão do impacto sócioeconômico na geração de emprego e renda nessas regiões (LIMA, 2004).

### **2.4.3 Cultivo e produção da mamoneira no Brasil e no mundo**

A cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma das mais tradicionais no semi-árido brasileiro. É de relevante importância econômica e social, com inúmeras aplicações industriais. Apesar de ser originária da Ásia, é encontrada de forma espontânea em várias regiões do Brasil, desde o Amazonas até o Rio Grande do Sul. Embora seja considerada uma planta de elevada resistência à seca, para produzir bem, a mamona necessita de pelo menos 17 nutrientes essenciais e aproximadamente 500 mm de chuva bem distribuída ao longo de seu ciclo (COSTA et al., 2004).

A mamoneira é uma planta cultivada em diversas regiões do país e é totalmente aproveitável: enquanto a semente é usada para produção do biocombustível e óleo, as folhas podem ser usadas para criação de bichos-da-seda, o caule pode transformar-se em lenha e a casca do fruto e torta são adubos ricos em elementos como fósforo, nitrogênio e potássio (PETROBRAS, 2007). É cultivada tradicionalmente em quase toda a Bahia, principalmente por pequenos agricultores, em sistema de consórcio com milho ou feijão. A planta é de grande importância para o Estado, por ser rústica e resistente à seca, sendo geradora de renda e ocupação. Apesar de sua importância socioeconômica, a espécie conta com poucas cultivares melhoradas para o Nordeste, embora possua ampla variabilidade genética e seu melhoramento na Região ocorra desde a década de 1960 (BAHIA et al., 2008).

Segundo CARVALHO (2005), existem perspectivas para obtenção de cultivares que possam aumentar a produtividade do fruto e o teor de óleo das sementes, e permitir a identificação de fontes de resistência às principais pragas e doenças da cultura, já que sua diversidade é ainda pouco explorada. De acordo com AZEVEDO & LIMA (2001), a mamona se constitui num considerável potencial para a economia do país e em alternativa viável para a Região Nordeste porque é um arbusto de grande resistência a períodos de estiagem. Acrescenta-se a isso, o fato de seu óleo ser de grande versatilidade e de utilidade comparável apenas ao petróleo.

### **2.4.4 Características, utilização e processo de obtenção da torta de mamona direto da semente (PDS)**

O biodiesel pode ser definido como um produto da transesterificação de óleos vegetais que atende aos parâmetros fixados pelas normas americanas através da especificação americana ASTM D 6751 (AMERICAN STANDARD TESTING METHODS, 2003) e da especificação europeia DIN 14214 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2003). Biodiesel pode ser entendido como um combustível composto de mono-álquil-éster de cadeia longa de ácidos graxos, derivado de óleos vegetais ou gorduras animais, designado B100 quando é 100%. É tipicamente produzido através da reação de óleos vegetais ou gorduras animais com álcool (metanol ou etanol), na presença de catalisadores, para se produzirem mono-álquil ésteres, glicerina e torta, que são removidos (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, 2003).

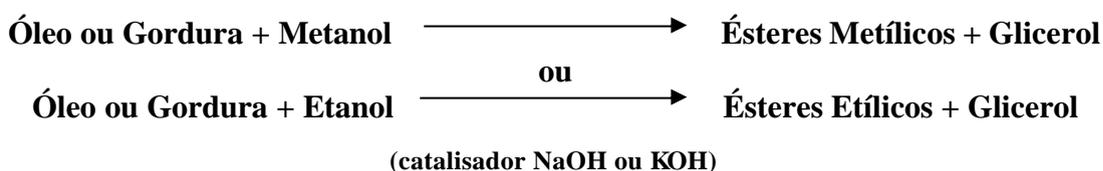
I - Biodiesel - B100: combustível composto de alqui-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, conforme a especificação contida no Regulamento Técnico nº 4/2004, parte integrante desta Resolução;

II - Mistura óleo diesel/biodiesel - B2: combustível comercial, composto de 98%, em volume, de óleo diesel, conforme a especificação da ANP, e 2% em volume de Biodiesel, que deverá

atender à especificação prevista pela Portaria ANP nº 310, de 27 de dezembro de 2001, e suas alterações;

III - Mistura autorizada óleo diesel / Biodiesel: combustível composto de Biodiesel e óleo diesel, em proporção definida quando da autorização concedida para testes e uso experimental, conforme previsto pela Portaria ANP nº 240, de 25 de agosto de 2003.

Na Figura 1 pode-se observar a reação de transesterificação para a produção do biodiesel (reação geral). E também, o processo de obtenção do biodiesel direto da semente (Figura 2). Ocorrendo à geração de resíduos do processo industrial, como a torta de mamona e a glicerina, sendo necessária a utilização destes co-produtos, para fechamento no balanço energético da mamoneira, e também contemplando os acordos firmados entre os países signatários, no reaproveitamento ou reuso dos resíduos gerados, evitando assim impactos ambientais. A reação de transesterificação é a etapa da conversão, propriamente dita, do óleo ou gordura, em ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, que constitui o biodiesel. A reação pode ser representada pelas seguintes reações:



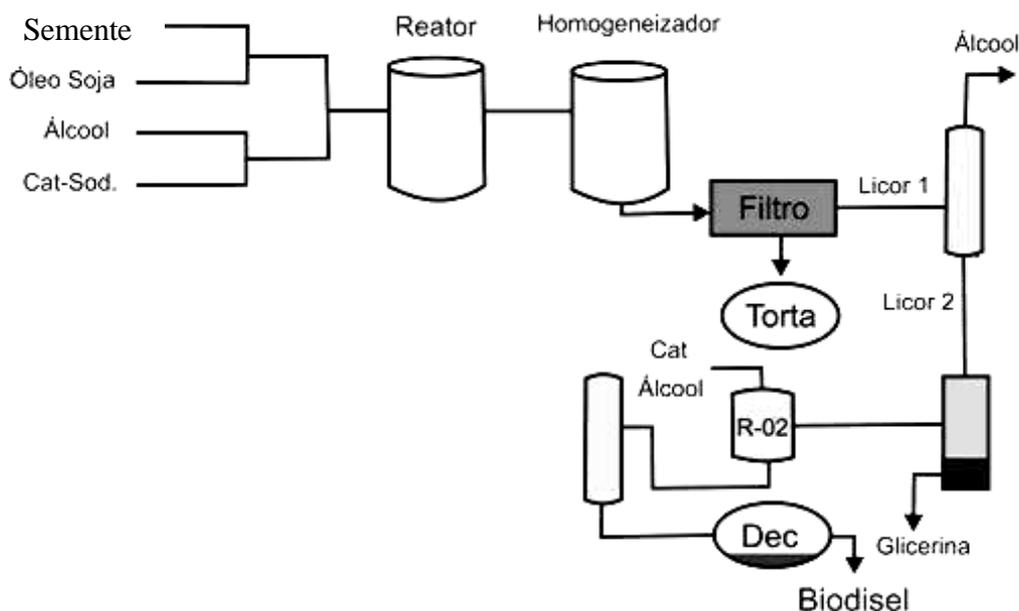
**Figura 1.** Reação de transesterificação de óleos vegetais e/ou gorduras animais em duas rotas distintas. Fonte: Adaptado da REVISTA BIODIESEL (2010).

A primeira equação química representa a reação de conversão, quando se utiliza o metanol (álcool metílico) como agente de transesterificação, obtendo-se, portanto, como produtos os ésteres metílicos que constituem o biodiesel, e o glicerol (glicerina). A segunda equação envolve o uso do etanol (álcool etílico), como agente de transesterificação, resultando como produto o biodiesel ora representado por ésteres (REVISTA BIODIESEL, 2010). No caso da torta de PDS, as sementes entram direto no processo, são esmagadas e o óleo reage com o álcool para produzir o biodiesel, restando à torta e a glicerina.

Sob o ponto de vista objetivo, as reações químicas são equivalentes, uma vez que os ésteres metílicos e os ésteres etílicos tem propriedades equivalentes como combustível, sendo ambos, considerados biodiesel. As duas reações acontecem na presença de um catalisador, o qual pode ser empregado, o hidróxido de sódio (NaOH) ou o hidróxido de potássio (KOH), usados em pequenas proporções. A diferença entre eles, com respeito aos resultados na reação, é muito pequena. No Brasil o hidróxido de sódio é muito mais barato do que o hidróxido de potássio. Pesando as vantagens e desvantagens é muito difícil decidir, genericamente, o catalisador mais recomendado, e dessa forma, por prudência, essa questão deverá ser remetida para o caso a caso (REVISTA BIODIESEL, 2010).

No Brasil, a rota etílica tem sido estudada, mas, sendo a rota metílica a mais utilizada no momento. A rota etílica está sendo ajustada e pode no futuro agregar vantagens em virtude da oferta desse álcool, de forma disseminada em todo o território nacional. Assim, os custos diferenciais de fretes, para o abastecimento de etanol versus o abastecimento de metanol, em certas situações, possam influenciar a decisão. Do ponto de vista ecológico, o uso do etanol leva vantagem sobre o metanol, quando este álcool é obtido a partir de derivados do petróleo, no entanto, é importante lembrar que o metanol pode ser produzido a partir da biomassa,

quando essa suposta vantagem ecológica, pode desaparecer. Em todo o mundo, o biodiesel tem sido obtido via metanol (REVISTA BIODIESEL, 2010).



**Figura 2.** Processo resumido de produção do biodiesel direto da semente, desenvolvida pela Petrobras/Cepes. Fonte: (ZONTA, 2008). Cat = catalisador; Sod.= sódio (contém  $\text{Na}^+$ ).

Atualmente não se tem muitas informações a respeito da torta PDS, sendo necessária a caracterização do material, atendendo as exigências das normas em vigor, assim também, como compromissos firmados entre países de várias nações do mundo, preocupadas com a degradação ambiental.

Segundo a EMBRAPA (2004), a torta da mamona obtida por processo tradicional de extração do óleo para posterior transesterificação, apresenta teores de umidade de 8,13%, óleo 13,10%, proteína bruta 28,74%, cinzas 12,11% e para os macronutrientes N, P e K apresenta 4,6%, 3,0% e 0,96% respectivamente.

A torta de mamona possui alto potencial como adubo orgânico, fornecendo nutrientes tais como N, P, K, Ca, Mg, S entre outros, além das vantagens proporcionadas pela presença da matéria orgânica no solo, onde favorece as propriedades físicas, químicas e biológicas. Entretanto, para sua utilização na agricultura deve-se avaliar os constituintes presentes antes de lançar ao ambiente, obedecendo aos preceitos da Conferência de Estocolmo, Agenda 21 e Eco 92, que marcam a grande preocupação em preservar o Meio Ambiente.

As normas da (ABNT/NBR 10.004:2004), caracterizam um resíduo sólido nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviável em face à melhor tecnologia disponível.

## **2.5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.5.1 Caracterização química da torta de mamona**

O estudo foi realizado no Departamento de Solos da UFRRJ, localizado no município de Seropédica, RJ. A torta de mamona produzida direto da semente (PDS) foi proveniente da Unidade Experimental de Produção de Biodiesel da Petrobras UEB-2, localizada no município de Guamaré, Rio Grande do Norte.

Uma amostra composta da torta de mamona de PDS 2008, advinda de seis bateladas (lotes), produzida em 2008, foi enviada para quantificação dos constituintes químicos, e posterior comparação com os outros resultados de duas tortas (uma torta de mamona PDS lote 2007 produzida na UEB-2, e outra comercial adquirida no Ceasa), sendo a primeira obtida pelo mesmo processo e a segunda obtida pela forma tradicional de extração do óleo.

As análises foram realizadas em triplicata como recomenda a norma técnica da ABNT/NBR 10.004/2004 para resíduos sólidos. A caracterização foi realizada no laboratório Analytical Solutions S.A., localizada no município do Rio de Janeiro. Foram realizadas avaliações das amostras do lixiviado para elementos orgânicos e inorgânicos. Também foram realizadas análises do solubilizado orgânico e inorgânico, sendo o relatório de ensaio analítico baseado nas NBR 10.004, NBR 10.005 e NBR 10.006.

A lixiviação, no texto da NBR 10.005:2004 é definida como sendo o processo que determina a capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no extrator. Quando excedido o limite de concentração no extrato da lixiviação, o resíduo é classificado como resíduo perigoso – anexo F da NBR10.004:2004 (ABNT, 2004).

Segundo a NBR 10004:2004 os Resíduos Classe II: Não Perigosos, são ainda divididos em duas classes distintas e esta classificação se baseia no teste de solubilização, no qual os resíduos são submetidos a um contato dinâmico e estático com água deionizada à temperatura ambiente, e a partir da análise de seus constituintes solubilizados, segue valores críticos definidos na respectiva Norma quanto a padrões de potabilidade da água, excetuando-se os aspectos cor, turbidez, dureza e sabor. A partir destes valores, são classificados então como Classe II A (Não Inertes) quando alguns de seus constituintes solubilizados ultrapassam os valores máximos estabelecidos e como Classe II B (Inertes) se todos os constituintes estiverem dentro dos limites conforme a norma (ABNT, 2004).

De acordo com as normas vigentes (ABNT/NBR 10.004:2004) e com a Instrução Normativa 23 (IN 23) para fertilizantes orgânicos do MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2005) foram avaliados os teores dos elementos nutrientes da torta de PDS produzido em 2008, e observados de acordo com valor máximo permitido pela norma, também foram indicados os elementos ou substâncias mais promissores e os mais limitantes para utilização da torta como fertilizante orgânico.

### **2.5.2 Teores totais dos elementos limitantes na torta de mamona PDS 2008**

Para maior segurança na utilização da torta de mamona, foram realizadas determinações específicas dos elementos mais limitantes, antes apontados nas análises da ABNT/NBR 10.004:2004 completa, da torta de mamona PDS 2007 e 2008. Constituindo-se de seis lotes distintos coletados em diferentes épocas, para cada lote de semente uma torta correspondente ou gerada a partir desta. As amostras foram enviadas ao laboratório Analytical Solutions S.A., onde, foram determinados os teores totais de alumínio, cádmio, ferro total, manganês, selênio e sódio.

### **2.5.3 Variabilidade da semente e torta de mamona PDS 2008**

As sementes foram maceradas e levadas à estufa de circulação forçada de ar a 65 ° C por um período de 24 h. As tortas foram destorroadas seguiram diretamente para estufa ficando por período equivalente e temperatura. Foram realizadas análises das sementes e tortas nos seis lotes distintos referentes ao ano de 2008. Também, realizou-se digestão sulfúrica e nitroperclórica das tortas, sendo determinados a partir do extrato da digestão os teores totais de N, P, K, Ca, Mg e Na, de acordo com as metodologias propostas por TEDESCO et al. (1995). Além disso, foram realizadas as determinações dos elementos extraíveis de P, K, Ca, Mg, Al e Na, apenas nos lotes das tortas segundo a metodologia postulada pela EMBRAPA (1997).

### **2.5.4 Análise estatística dos dados**

Foram realizados testes de homogeneidade e normalidade dos erros, atendendo as pressuposições, realizou-se análise de variância, e testes de média utilizando Tukey a 5 % de probabilidade. Para tal, fez-se uso do programa estatístico Saeg v. 9.1 (EUCLYDES, 1983). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado.

## 2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.6.1 Caracterização química da torta de mamona de PDS 2008 em comparação com a torta de PDS 2007 e torta de mamona comercial Ceasa

São observados na Tabela 1 valores comparativos da massa bruta das tortas, se mostrou acima do valor máximo permitido no que se refere ao ponto de fulgor, que indica a inflamabilidade das tortas. Esse comportamento pode ser justificado por se tratar de um material essencialmente orgânico.

Os demais valores como pH em suspensão, que indica a corrosividade das tortas, se encontram dentro dos limites máximos estabelecidos para todas as tortas analisadas, assim como os demais valores sulfeto, cianeto (quanto a reatividade).

**Tabela 1.** Valores comparativos das características das tortas de mamona PDS lote 2007 PDS, PDS lote 2008 e Ceasa na massa bruta (sem alteração da amostra).

Determinações	Unidade	LQ	CEASA	PDS 2007	PDS 2008	VMP
Ponto de Fulgor	(°C)	--	> 60	> 60	> 60	60 (a,d)
pH (Suspensão 1:1)	--	0 - 14	5,6	8,6	8,2	2,0-12,5 (b)
Sulfeto (como H <sub>2</sub> S)	□(mg kg <sup>-1</sup> )	2	< 2	< 2	< 2	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	(% p/p)	0,05	88,6	86,9	85	--
Cianeto (como HCN)	□(mg kg <sup>-1</sup> )	0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	250 (c)

(a) = Avaliação da inflamabilidade; (b) = corrosividade; (c) = reatividade; (d) = valor máximo para resíduos líquidos. LQ = Limite de quantificação; PDS = Torta de mamona proveniente da produção de biodiesel direto da semente; VMP = valor máximo permitido pela ABNT/NBR 10.004/2004.

Nas análises pelo teste de lixiviação (Tabela 2), o tempo de lixiviação demonstra o mesmo comportamento para os três tipos de torta, com valor igual a 18 h, portanto, atende o intervalo exigido, ou seja, está de acordo com o valor máximo permitido pela legislação. No que diz respeito à solução de extração e pH final do lixiviado apresentaram valores de 1 e 5,31 respectivamente, sendo assim, iguais para os três tipos de torta, porém, não sendo comparado com o valor máximo permitido, por não ter sido disponibilizado no relatório de análise.

**Tabela 2.** Comparação dos ensaios de lixiviação entre as tortas de mamona PDS lote 2007, 2008 e Ceasa.

Determinações	Unidade	*(CEASA)	*PDS 2007	*PDS 2008	VMP
Tempo de lixiviação	h	18	18	18	16-20
Solução de extração	--	1	1	1	--
pH final do lixiviado	--	5,31	5,31	5,31	--

\* = Parâmetros analíticos; PDS = Torta de mamona proveniente da produção de biodiesel direto da semente; VMP = Valor Máximo Permitido segundo ABNT/NBR 10.004:2004.

No que se refere aos elementos inorgânicos (arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo, cromo total, fluoreto, mercúrio, prata e selênio) representados na Tabela 3, para torta de PDS produzida em 2008, todos os valores estão abaixo do valor máximo permitido, ou não foram detectados na amostra. A mesma tendência foi observada para torta de PDS 2007 e Ceasa, com exceção do valor para o cromo total, que não foi analisado para a torta Ceasa.

**Tabela 3.** Resultados comparativos entre elementos da lixiviação - inorgânicos presentes na torta de PDS lote 2007, 2008 e torta de mamona Ceasa.

Elementos	Torta Ceasa	PDS 2007	PDS 2008	VMP
----- (mg L <sup>-1</sup> ) -----				
Arsênio	< 0,01	N.D.	N.D.	1,0
Bário	0,161	0,082	0,289	70,0
Cádmio	< 0,001	0,0048	0,0036	0,5
Chumbo	< 0,01	N.D.	N.D.	1,0
Cromo	< 0,02	N.D.	N.D.	5,0
Cromo total	N.A.	N.D.	N.D.	5,0
Fluoreto	0,1	0,53	17,07	150,0
Mercúrio	0,00005	N.D.	N.D.	0,1
Prata	0,005	N.D.	N.D.	5,0
Selênio	0,008	N.D.	N.D.	1,0

VMP = Valor máximo permitido segundo ABNT/NBR 10.004:2004; N.A. = Não analisado; PDS = Torta de mamona proveniente da produção de biodiesel direto da semente; N.D. = Não detectado (abaixo do limite de quantificação).

De acordo com os resultados da caracterização da torta de PDS, atendendo as exigências da NBR 10.004:2004, não foi detectado ou não analisado a presença de pesticidas (Tabela 4), nas três tortas de mamona.

**Tabela 4.** Resultados comparativos entre substâncias (pesticidas), lixiviadas das tortas de PDS lote 2007, 2008 e torta de mamona Ceasa.

Substâncias	Torta Ceasa	PDS 2007	PDS 2008	VMP
----- (mg L <sup>-1</sup> ) -----				
Aldrin	N.A.	N.D.	N.D.	0,003
Dieldrin	N.A.	N.D.	N.D.	0,003
Aldrin e Dieldrin	< 3E-5	N.D.	N.A.	0,003
Clordano (isômeros)	< 0,0001	N.D.	N.D.	0,02
DDT (isômeros)	< 0,0005	N.D.	N.A.	0,2
DDT	N.A.	N.D.	N.D.	0,2
DDD	< 0,0003	N.D.	N.D.	0,2
DDE	N.A.	N.D.	N.D.	0,2
2,4 D	< 0,0005	N.D.	N.D.	3,0
Clorobenzeno	< 0,001	N.D.	N.D.	100
Endrin	< 0,0001	N.D.	N.D.	0,06
Heptacloro	N.A.	N.D.	N.D.	0,003
Heptacloro e H. epóxido	0,00002	N.D.	N.A.	0,003
Heptacloro epóxido	N.A.	N.D.	N.D.	0,003
Lindano	< 0,001	N.D.	N.D.	0,2
Metoxicloro	< 0,0005	N.D.	N.D.	2,0
Pentaclorofenol	< 0,0005	N.D.	N.D.	0,9
Toxafeno	< 0,01	N.D.	N.D.	0,5
2,4,5 -T	< 0,001	N.D.	N.D.	0,2
2,4,5 -TP	< 0,001	N.D.	N.D.	1,0

VMP = Valor máximo permitido segundo ABNT/NBR 10.004:2004; N.A. = Não analisado; PDS = Torta de mamona proveniente da produção de biodiesel direto da semente; N.D. = Não detectado (abaixo do limite de quantificação).

Nas tortas de mamona PDS 2007 e 2008, para das substâncias analisadas, não foi detectada a presença de pesticidas, estando seus teores abaixo do limite de quantificação, portanto, observa-se similaridade entre os dois materiais obtidos em épocas distintas, e a ausência de pesticidas é uma característica favorável por se tratar de substâncias nocivas, sendo que o material (à torta) será adicionado ao solo e poderá causar menos impacto.

Os valores comparativos entre as tortas de mamona, para as substâncias orgânicas nos testes de lixiviação (Tabela 5), se encontram abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação, para os três tipos de torta. A torta de mamona PDS 2008, para a maioria das substâncias, apresenta valores não detectados dos elementos, ou seja, abaixo do limite de quantificação do método aplicado. Apesar das diferenças entre as tortas de mamona PDS 2007 e PDS 2008, mais uma vez comprovou-se, valor abaixo dos limites máximos permitido pela legislação, o que é favorável por se tratar de substâncias tóxicas que agredem o ambiente. As três tortas de mamona se mostram favoráveis para uso na agricultura segundo a norma.

**Tabela 5.** Resultados comparativos das substâncias (orgânicos) lixiviadas das tortas de mamona, lotes de 2007, 2008 e torta de mamona do Ceasa.

Substâncias	Torta Ceasa	PDS 2007	PDS 2008	VMP
----- (mg L <sup>-1</sup> ) -----				
Benzeno	< 0,001	N.D.	N.D.	0,50
Benzo (a) pireno	< 0,0003	N.D.	N.D.	0,07
Cloreto de Vinila	< 0,001	N.D.	N.D.	0,50
Clorobenzeno	< 0,001	N.D.	N.D.	100,0
Clorofórmio	0,011	0,01	0,0168	6,0
Cresol total	N.A.	0,0014	0,00289	200,0
o-cresol	< 0,001	0,0003	0,00096	200,0
m-Cresol	< 0,001	0,0007	0,00124	200,0
p-cresol	< 0,001	0,0004	0,00069	200,0
1,4-diclorobenzeno	< 0,001	N.D.	N.D.	7,5
1,2-dicloroetano	< 0,001	N.D.	N.D.	1,0
1,1-dicloroetileno	< 0,001	N.D.	N.D.	3,0
2,4-dinitrotolueno	< 0,001	N.D.	N.D.	0,1
Hexaclorobenzeno	< 0,0005	N.D.	N.D.	0,1
Hexaclorobutadieno	< 0,001	N.D.	N.D.	0,5
Hexacloroetano	< 0,001	N.D.	N.D.	3,0
Metiletilcetona	< 5,0	N.D.	N.D.	200,0
Nitrobenzeno	< 0,001	N.D.	N.D.	2,0
Piridina	< 5,0	N.D.	N.D.	5,0
Tetracloroeto de C.	< 0,001	N.D.	N.D.	0,2
Tetracloroetano	< 0,001	N.D.	N.D.	4,0
Tetracloroetileno	N.A.	N.D.	N.D.	7,0
2,4,5-triclorofenol	< 0,001	N.D.	N.D.	400,0
2,4,6-triclorofenol	< 0,0005	N.D.	N.D.	20,0

VMP = Valor máximo permitido pela ABNT/NBR 10.004:2004; N.A. = Não analisado; PDS = Torta de mamona proveniente da produção de biodiesel direto da semente; N.D. = Não detectado (abaixo do limite de quantificação).

A Tabela 6 representa os valores de pH final nos testes de solubilização, sendo analisado para torta de PDS 2007 e 2008 com valores de 8,53 e 8,20 respectivamente, ou seja, pH alcalino. O valor de pH na torta de mamona Ceasa se apresentou ácido próximo à neutralidade com valor igual a 6,28. Entretanto, não se pode comparar com valor máximo permitido pela legislação, em decorrência da ausência deste nas análises.

**Tabela 6.** Valores comparativos das tortas de PDS lote 2007, 2008 e Ceasa em relação ao pH - amostras solubilizadas.

Determinação	LQ	(CEASA)	PDS 2007	PDS 2008	VMP
pH Final do Solubilizado	--	6,28	8,53	8,20	--

N.A. = Não analisado, PDS = Torta de mamona proveniente da produção de biodiesel direto da semente; LQ = Limite de quantificação; VMP = Valor máximo permitido pela ABNT/NBR 10.004:2004.

No que diz respeito aos elementos e substâncias inorgânicos obtidos pelo teste de solubilização das tortas (Tabela 7), são observados valores acima dos limites máximos permitidos pela legislação, na torta de mamona de PDS 2008 para: alumínio, ferro, manganês, sódio, surfactantes e cádmio no limite do valor aceitável para o último.

Na torta de mamona PDS 2007, foram observados acima para elementos e substâncias: fluoreto, sódio e surfactantes. No caso da torta de mamona Ceasa apresentou-se acima para nos valores de: ferro, fluoreto, índice de fenóis e manganês além do chumbo (um pouco acima dos limites aceitáveis pela legislação). Entretanto, os elementos ferro e manganês apesar dos teores estarem acima, estes são absorvidos pelas plantas em pequenas quantidades por se tratarem de micronutrientes.

Os teores de Na<sup>+</sup> tanto para torta de mamona de PDS 2007, como para a PDS 2008, estão acima dos valores permitidos pela norma, e, segundo ZONTA et al. (2008), indicam que esses altos teores são justificados pelo processo de obtenção do óleo, com uso do catalisador o NaOH, sendo proposta por ZONTA et al. (2008) a substituição desse catalisador por KOH ou lavagem da torta de PDS com água ou solução de KCl, objetivando a redução dos teores de Na<sup>+</sup>. Este elemento é um dos principais elementos presentes na torta de PDS que pode limitar seu uso como fertilizante orgânico.

Na lavagem da torta, a grande desvantagem é a redução nos teores de alguns macronutrientes essenciais, mas, se busca no estudo (lavagem da torta com KCl) novas formas de compensar estas “perdas” de nutrientes tão importantes na nutrição vegetal, e economia na redução do uso de fertilizantes minerais.

Na comparação entre as tortas de PDS 2007 “in natura” e tratada em amostras solubilizadas de acordo com a ABNT/NBR 10.004:2004 observaram-se a redução nos teores de sódio na torta tratada, ou seja, após a lavagem da torta com água na proporção 1:4 (m/v), evidenciou-se uma redução de 906,49 mg L<sup>-1</sup> na torta “in natura” contra 208,48 mg L<sup>-1</sup> na torta tratada. Portanto, a lavagem da torta promoveu uma redução de cerca de 77% nos teores de sódio no material, sendo favorável esse comportamento. Além disso, os teores de sódio se aproximam do valor máximo permitido pela legislação que é de 200 mg L<sup>-1</sup> para amostras de solubilizados inorgânicos.

**Tabela 7.** Comparação das amostras de solubilizados (inorgânicos), das tortas de PDS lote de 2007, torta de PDS lote 2008 e Ceasa.

Elementos e substâncias	Torta Ceasa	PDS 2007	PDS 2008	VMP
	----- (mg L <sup>-1</sup> )-----			
Alumínio	0,127	N.D.	0,591	0,20
Arsênio	< 0,01	N.D.	N.D.	0,01
Bário	0,144	0,029	0,1	0,70
Cádmio	< 0,001	< 0,0033	0,0159	0,01
Chumbo	0,018	N.D.	N.D.	0,01
Cianeto	< 0,025	N.D.	N.D.	0,07
Cloreto	89,9	73,94	61,07	250,00
Cobre	0,157	0,03	0,793	2,00
Cromo	< 0,01	N.A.	N.D.	0,05
Ferro	2,2	0,18	1,457	0,30
Fluoreto	38,7	5,6	N.D.	1,50
Índice de Fenóis	2,8	N.A.	N.A.	0,01
Manganês	1,1	N.D.	0,181	0,10
Mercurio	< 0,00005	N.D.	N.D.	0,001
Nitrato (N)	3,4	N.D.	0,73	10,00
Prata	< 0,005	N.D.	N.D.	0,05
Selênio	0,151	N.D.	N.D.	0,01
Sódio	4,1	453,73	377,11	200,00
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	132	127,86	231,3	250,00
Surfactantes	< 0,1	3,199	4,755	0,50
Zinco	0,369	0,034	2,915	5,00

VMP = Valor máximo permitido segundo ABNT/NBR 10.004:2004; N.A. = Não analisado; PDS = Torta de mamona proveniente da produção de biodiesel direto da semente; N.D. = Não detectado (abaixo do limite de quantificação).

Observa-se para os valores solubilizados orgânicos (Tabela 8), com exceção dos fenóis totais nas tortas PDS 2007 e 2008, a maioria das substâncias analisadas mostraram-se abaixo dos valores máximos permitido pela legislação. Somente a torta Ceasa atendeu a todos os requisitos exigidos pela norma nos quais foram analisados.

De acordo com os resultados observados anteriormente, houve a necessidade de uma avaliação mais específica, dos elementos ou substâncias que se mostraram acima dos limites máximos estabelecidos pela legislação ABNT/NBR 10.004:2004. As substâncias ou elementos limitantes apontados foram: alumínio, cádmio, ferro, manganês, sódio, surfactantes, selênio e índices de fenóis (detectados em amostras de solubilizado inorgânico), sendo que, o último valor citado encontra-se acima dos limites máximos permitido apenas na torta de mamona PDS 2007. Lembrando que o manganês e ferro podem ser utilizados pelas plantas como nutrientes.

A torta de mamona de PDS, de acordo com análises anteriores, apresentou elementos promissores tais como: nitrogênio (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) e zinco. Estes elementos foram apontados como promissores, pois podem favorecer a fertilidade dos solos na mineralização da torta, sendo absorvidos e assimilados pelos vegetais, estimulando o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

**Tabela 8.** Resultados comparativos entre substâncias solubilizadas (orgânicas) provenientes das tortas de PDS de lotes de 2007, 2008 e Ceasa.

Substâncias	Torta Ceasa	PDS 2007	PDS 2008	VMP
2,4,5-T	< 0,001	< 0,001	N.D.	0,002
2,4,5-TP	< 0,001	< 0,001	N.D.	0,03
2,4-D	< 0,0005	< 0,0005	N.D.	0,03
Aldrin e Dieldrin	< 3 E-5	N.D.	N.D.	3 E-05
Dieldrin	N.A.	N.D.	N.D.	0,00003
Clordano (isômeros)	< 0,0001	< 0,0001	N.D.	0,0002
DDT (isômeros)	< 0,0005	< 0,0005	N.D.	0,002
DDT	N.A.	N.D.	N.D.	0,2
DDD	N.A.	N.D.	N.D.	N.A.
DDE	N.A.	N.D.	N.D.	N.A.
Endrin	< 0,0001	< 0,0001	N.D.	0,0006
Hexaclorobenzeno	< 0,0005	< 0,0005	N.D.	0,001
Metoxicloro	< 0,0005	< 0,0005	N.D.	0,02
Toxafeno	< 0,001	< 0,001	N.D.	0,005
Heptacloro e Hept. Epóxido	< 2 E-5	< 2 E-5	N.D.	0,00003
Lindano (g-BHC)	< 0,001	< 0,001	N.D.	0,002
Fenóis totais	N.A.	0,0896	1,2714	0,01

VMP = Valor máximo permitido segundo ABNT/NBR 10.004:2004; N.A. = Não analisado; PDS = Torta de mamona proveniente da produção de biodiesel direto da semente; N.D. = Não detectado (abaixo do limite de quantificação).

De acordo com COSTA (2008), podem-se observar valores médios dos macronutrientes N, P e K, em valores 46, 6 e 6 g kg<sup>-1</sup> respectivamente, em torta de mamona, em estudo comparativo com outras oleaginosas.

Segundo a EMBRAPA (2004), a torta da mamona apresenta teores de umidade de 8,13%, óleo 13,10%, proteína bruta 28,74%, cinzas 12,11% e para os macronutrientes N, P e K apresenta 4,6%, 3,0% e 0,96% respectivamente. Os teores dos macronutrientes totais presentes nas tortas de mamona, dispostos na (Tabela 9), permitem observar variações nos teores entre os distintos materiais. A torta de mamona PDS apresenta assim, grande potencial agrícola como fertilizante orgânico, fornecendo nutrientes ou promovendo benefícios pela ação da matéria orgânica, por exemplo, atuando como condicionador de solo e promovendo a ciclagem de nutrientes.

**Tabela 9.** Teores de macronutrientes totais presentes na torta de mamona de PDS 2007, PDS 2008 e Torta comercial (Ceasa).

Identificação	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P	K <sub>2</sub> O	K	Ca	Mg
	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----						
Torta PDS 2007	31,2	12,5	5,4	3,3	2,8	17,0	0,9
Torta PDS 2008	32,7	12,5	5,4	13,2	11	8	2,1
Torta Ceasa	58,0	14,7	6,4	6,6	5,5	17,9	0,9

Fonte: Adaptado de FREITAS (2009)

Comparando diferentes lotes da torta PDS 2008 “in natura” (coletado em épocas distintas), em relação às amostras que se realizou testes de solubilização da torta, identificando e comparando os elementos ou substâncias inorgânicas (Tabela 10), observa-se variação nos teores de manganês e ferro. Em relação ao manganês, este se apresenta acima do valor máximo permitido em todos os lotes testados, já o ferro apenas no lote 1.

Para o sódio, surfactantes e fenóis totais, todos se apresentaram acima do valor máximo permitido em todos os lotes.

Apenas os elementos alumínio e selênio atendem as exigências da norma vigente, ou seja, seus teores nas tortas estão abaixo do limite de quantificação para o método utilizado.

**Tabela 10.** Comparação entre lotes da torta de mamona PDS 2008 “in natura” de elementos e substâncias nos ensaios de solubilização (inorgânico).

Elementos e Substâncias	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6	VMP
	(mg L <sup>-1</sup> )						
Alumínio	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,2
Cádmio	0,0043	0,003	0,002	0,0024	0,0022	0,002	0,005
Ferro	0,503	0,125	0,106	0,192	0,127	0,067	0,3
Manganês	0,141	0,102	0,075	0,118	0,144	0,258	0,1
Selênio	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01
Sódio	1120,1	946,6	690,3	737,94	881,67	543,5	200
Surfactantes	5,721	2,655	3,962	4	3,043	3,014	0,5
Fenóis totais	2,814	2,194	0,507	1,772	0,26	1,835	0,01

VMP = Valor Máximo Permitido, segundo ABNT/NBR 10.004:2004, Anexo F; N.D. = Não Detectado Acima do Limite de Detecção (abaixo do limite de quantificação).

### 2.6.2 Teores totais dos elementos limitantes para uso da torta de mamona PDS 2008

Os elementos mais limitantes foram avaliados em um segundo momento em cada uma das amostras das 6 bateladas (lotes), sendo, semente e torta de mamona correspondente para cada lote (Tabela 11). Observou-se que os teores de sódio são elevados nas tortas em relação aos demais elementos ou substâncias limitantes, e, que houve variação entre os lotes. Como a torta de mamona é produzida direto da semente de mamona, e ao longo do processo faz-se uso do NaOH (hidróxido de sódio) como catalisador de reação, observam-se claramente elevados teores de sódio nas tortas em relação as sementes para todos os lotes analisados.

Nos lotes de sementes da mamoneira os teores de sódio são baixos, estando abaixo do limite de quantificação para maioria dos lotes, com exceção do lote 3.

Os teores de cádmio e selênio não foram detectados acima do limite de quantificação, tanto para semente quanto para as tortas em todos os lotes. Para Ferro total, observou-se de maneira geral para todos os lotes, menor teor presente nas sementes, sendo superior os teores em cerca de sete vezes na torta de mamona do lote 1, em comparação com as sementes do mesmo lote. Os teores de ferro total são crescentes nas tortas em relação às sementes, pode-se prever um aumento nos teores desse elemento ao longo do processo de produção do biodiesel.

**Tabela 11.** Teores totais dos elementos presentes nas sementes e tortas de mamona PDS 2008, de diferentes bateladas (lotes), onde, se apresentaram acima do valor máximo permitido pela NBR 10.004:2004.

Elementos		alumínio	cádmio	ferro total	manganês	selênio	sódio
----- (mg kg <sup>-1</sup> ) -----							
<b>Lote 1</b>	semente	11,81	N.D.	48,90	20,92	N.D.	N.D.
	torta	32,42	N.D.	367,40	28,82	N.D.	4128,69
<b>Lote 2</b>	semente	10,13	N.D.	44,18	17,76	N.D.	N.D.
	torta	26,02	N.D.	182,90	36,16	N.D.	2704,41
<b>Lote 3</b>	semente	13,42	N.D.	53,50	28,04	N.D.	33,07
	torta	30,61	N.D.	200,78	40,14	N.D.	3655,60
<b>Lote 4</b>	semente	12,18	N.D.	42,61	17,18	N.D.	N.D.
	torta	21,23	N.D.	157,66	39,98	N.D.	3285,00
<b>Lote 5</b>	semente	7,24	N.D.	37,94	19,32	N.D.	N.D.
	torta	33,63	N.D.	187,58	38,27	N.D.	3454,83
<b>Lote 6</b>	semente	10,45	N.D.	37,87	16,52	N.D.	N.D.
	torta	36,38	N.D.	226,16	39,66	N.D.	4060,59

N.D. = não detectado (abaixo do limite de quantificação).

Observou-se mesma tendência nos teores de alumínio e manganês, ou seja, maior teor destes elementos nas tortas em relação às sementes correspondentes, de alguma forma o processo de obtenção do biodiesel com a prensagem das sementes contribuiu para elevar os teores destes elementos se mostrando até cerca de 4 vezes maior na torta em relação às sementes para alumínio no lote 5.

E também, até cerca de 2,4 vezes maior nos teores de manganês na torta do lote 6, em comparação as sementes do mesmo lote. Para o alumínio, o maior teor foi observado na torta do lote 6, e para manganês, na torta referente aos lotes 3 e 6.

No processo de produção do biodiesel direto da semente, observa-se que, após a prensagem da semente, sendo retirado o óleo (éster), é justificado o aumento nos teores dos elementos e/ou substâncias em decorrência de está concentrando a massa de torta com a retirada do óleo, a prensagem no caso da torta PDS.

### 2.6.3 Variabilidade da torta de mamona PDS 2008

Os teores totais de macronutrientes nos diferentes lotes das sementes de mamona (Tabela 12), indicaram variação entre eles nos constituintes, diferindo estatisticamente para os elementos P, K, Ca, Mg.

Para os teores de N e Na total não houve diferença estatística significativa entre os lotes analisados, indicando pouca variação nos teores totais destes elementos. Os maiores coeficientes variação foram observados para Ca e Na, 14,09 % e 22,84 % respectivamente.

Essas variações nos teores dos elementos presentes nas sementes de mamona são justificadas, pelos diferentes sistemas de produção, genótipos, manejo, entre outros aspectos que afetam as proporções destes constituintes.

**Tabela 12.** Teores totais nas sementes de mamona, de diferentes lotes, proveniente da unidade experimental da Petrobras/Cenpes (UEB-2) ano de 2008.

Teores	N	P	K	Ca	Mg	Na
Lotes	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----					(mg kg <sup>-1</sup> )
L1	30,4 A	15,3 A	7,2 B	2,3 C	4,1 A	9,0 A
L2	32,2 A	11,0 B	5,9 B	3,7 AB	3,1 BC	8,0 A
L3	29,1 A	14,0 A	4,4 C	2,6 BC	3,6 AB	10,0 A
L4	28,9 A	7,1 C	3,7 C	2,0 C	1,8 D	8,0 A
L5	30,5 A	9,8 B	6,1 B	4,7 A	2,7 C	6,0 A
L6	31,7 A	4,5 A	10,6 A	4,0 A	3,2 B	11,0 A
C.V. (%)	6,14	6,57	8,05	14,09	6,54	22,84

Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Para os teores totais nas tortas de mamona (Tabela 13), foi observada diferença estatística significativa para todos os elementos analisados, indicando assim, grande variabilidade e heterogeneidade do material obtido, ou seja, variação nas tortas produzidas direto das sementes em diferentes bateladas ou épocas. Segundo KIEHL (1985) a composição química dos resíduos sólidos produzidos pela agroindústria é muito variável. Há materiais mais celulósicos, lenhosos, com teores de nitrogênio variáveis entre 5 e 20 g.kg<sup>-1</sup>; outros possuem teores mais elevados de proteínas, apresentando de 30 a 50 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio. Os teores de fósforo e potássio variaram de 5 a 20 g.kg<sup>-1</sup>, em média. Os resultados observados para N, P, K totais seguem esse comportamento para os diferentes lotes da torta nas faixas dos elementos presentes observadas pelo autor.

**Tabela 13.** Teores totais nas tortas de mamona, de diferentes lotes, proveniente da unidade experimental da Petrobras/Cenpes (UEB-2) ano de 2008.

Teores	N	P	K	Ca	Mg	Na
Lotes	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----					(mg kg <sup>-1</sup> )
L1	51,5 A	10,9 A	8,6 A	3,9 C	4,5 B	151 A
L2	33,2 C	6,4 C	6,4 D	7,3 A	3,6 B	72 C
L3	47,4 AB	9,2 B	7,5 BC	5,1 B	6,3 A	116 B
L4	41,2 BC	8,2 B	6,4 D	5,0 B	5,1 AB	104 B
L5	44,8 AB	9,3 B	6,8 CD	4,6 B	3,9 B	109 B
L6	53,9 A	10,8 A	8,2 AB	3,7 C	4,4 B	115 B
C.V. (%)	7,65	4,79	3,90	4,34	13,20	5,74

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferiram ente si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Segundo TEDESCO et al. (2008), as sementes oleaginosas, após sofrerem prensagem para extração do óleo (obtida por processo comum), deixam como resíduo um produto comercialmente conhecido como torta vegetal. Dos nutrientes primários encontrados na composição química das tortas, o nitrogênio é o que se apresenta em maior conteúdo, cerca de 30 a 50 g.kg<sup>-1</sup>, sendo que os teores de fósforo e de potássio variam entre 15 a 30 g.kg<sup>-1</sup>. No caso do lote das tortas de PDS, os teores totais de P e K foram inferiores aos observados por este autor.

Os teores de sódio apresentados nas tortas foram superiores, comparado aos observados nas sementes para todos os lotes, em decorrência do processo de obtenção do biodiesel como já mencionado, pelo uso do NaOH como catalisador. Na relação entre o teor total de sódio na torta, pelo teor total na semente, foram observados acréscimos nas tortas cerca de 9 a 18 vezes, nos lotes 2 e 5 respectivamente. O lote 1 foi superior em relação ao sódio, diferindo significativamente em relação aos demais lotes de torta.

Em relação aos valores trocáveis para os distintos lotes de torta (Tabela 14), observa-se diferença estatística significativa para P, K, Na. Não ocorrendo diferença estatística para os elementos Ca e Mg

Os teores extraíveis nas tortas, dos distintos lotes indicam variações entre lotes, dependendo das características das sementes processadas em relação ao genótipo, sistema de produção, manejo entre outros aspectos. Portanto, foi verificado heterogeneidade dos constituintes nas tortas, mesmo sendo geradas por processo similar, sendo que, os teores dos elementos variam naturalmente nas sementes por vários fatores como genótipo, manejo, fatores climáticos e principalmente em relação à fertilidade e adubação do solo.

**Tabela 14.** Teores extraíveis nas tortas de mamona, de diferentes lotes, proveniente da unidade experimental da Petrobras/Cenpes (UEB-2) ano 2008.

Teores	P	K	Ca	Mg	Na
Lotes	(mg kg <sup>-1</sup> )	-----	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-----	-----
L1	69 b	1,63 a	5,1 a	2,6 a	2,24 a
L2	51 c	1,30 d	4,1 a	3,2 a	1,07 d
L3	71 b	1,50 b	4,7 a	2,9 a	1,28 c
L4	70 b	1,43 c	5,1 a	3,2 a	1,24 c
L5	67 b	1,42 c	3,8 a	2,8 a	1,23 c
L6	86 a	1,60 a	5,1 a	2,8 a	1,38 b
C.V.(%)	6,37	1,54	14,82	17,44	1,81

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade.

As tortas de mamona PDS 2007 e 2008 apresentam grande potencial de uso na agricultura por apresentar consideráveis teores de nutrientes que são absorvidos pelos vegetais e pode favorecer as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Pode atuar como fornecedor de nutrientes ou condicionador de solo, na ciclagem de nutrientes. Todavia, possui teores de sódio acima dos limites máximos permitidos, via de regra é um elemento prejudicial para maioria das culturas atualmente exploradas economicamente.

Segundo TEDESCO et al. (2008), as tortas de mamona e cacau são as mais empregadas como fertilizantes orgânicos. As que podem ser utilizadas para alimentação animal, alcançam preços elevados no mercado, não sendo usadas como adubo. Essas tortas possuem altos teores de proteínas digestíveis (35 a 40 %) e entram no arraçoamento dos animais como alimento concentrado e de alto valor nutritivo. Também, apresentam grande potencial de mineralização de nitrogênio e condicionador de solo.

## 2.7 CONCLUSÕES

- A torta de mamona de PDS 2008 foi classificada como resíduo Classe II A (não perigoso e não inerte);
- A torta PDS 2008 apresentou-se, acima dos limites máximos permitido para os elementos ou substâncias: alumínio, cádmio, ferro, manganês, fenóis totais, sódio e surfactantes. Considerando a norma da ABNT/NBR 10.004:2004;
- Independente do lote, o sódio foi o principal elemento limitante para o uso da torta de mamona PDS como fertilizante orgânico;
- Na variabilidade entre os lotes de sementes, não houve diferença significativa para os teores totais de N e Na;
- Diferenças significativas nos teores totais de N, P, K, Ca, Mg e Na, em todos os lotes de torta PDS 2008.
- Verificou-se a heterogeneidade das tortas entre lotes, variando de acordo com os diferentes constituintes minerais nas sementes processadas, e aumento nos teores na torta, após o processo de produção do biodiesel, ao prensar as sementes retirando o óleo concentra-se esses elementos na massa de torta.

## **CAPÍTULO II**

### **3. ENSAIOS PARA REDUÇÃO DOS TEORES DE SÓDIO NA TORTA DE MAMONA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL DIRETO DA SEMENTE**

### 3.1 RESUMO

A torta de mamona oriunda do processo de produção do biodiesel direto da semente (Torta de PDS) é um resíduo orgânico que possui altos teores de nutrientes que podem promover melhorias de ordem física, química e biológica quando adicionada ao solo. Porém, apresenta teores de sódio elevados em decorrência do processo industrial que utiliza o NaOH como catalisador. Os teores de elementos e/ou substâncias na torta se apresentaram acima do limite máximo permitido pela legislação, além disso, pode limitar o crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais. O objetivo deste estudo foi avaliar qual o volume de água aplicado, e a concentração de diferentes soluções KCl (cloreto de potássio) para lavagem ou tratamento da torta de mamona PDS, que poderão promover maior redução nos teores de sódio ( $\text{Na}^+$ ), para posterior utilização em substrato alcalino proveniente da Chapada do Apodi-RN. Foram realizadas lavagens da torta com água destilada e deionizada em diferentes relações (m/v), (50/50; 50/100; 50/150 e 50/200) torta (g) / água (mL) respectivamente. Também foi realizada a lavagem da torta com solução de KCl em concentrações crescentes (0,0; 0,05; 0,1; 0,5; e 1,0 mol.L<sup>-1</sup>) e volume constante de 200 mL. Após agitação por 30 minutos, filtragem rápida e secagem, foram determinados os teores dos macronutrientes totais e sódio de acordo com a metodologia proposta por (TEDESCO et al., 1995), e trocáveis (EMBRAPA, 1997), no extrato e na torta “in natura” como (testemunha) e tratada (borra). As duas formas de tratamento se mostraram eficientes na redução dos teores de sódio na torta de PDS, onde, o maior volume de água aplicado 200 mL, apresentou maior redução dos teores de sódio, assim também como a solução de KCl mais concentrada de 1,0 mol L<sup>-1</sup> promoveu maior deslocamento de sódio da massa.

**Palavras-chave:** “In natura”. Sódio. Potássio.

### 3.2 ABSTRACT

The castor bean originating from the production process of biodiesel directly from seed (PDS cake) is an organic residue that has high levels of nutrients for plants, and that can improve physical, chemical and biological soil characteristics. However, it has high levels of sodium as a result of the industrial process using NaOH as a catalyst. The Na contents of the cake are above the maximum permitted by law; besides, it may limit the plant growth and development. The objective of this study was to assess amount of water and the concentration of different solutions of KCl (potassium chloride), applied for washing or processing castor bean PDS cake, in order to promote reduction in the levels of sodium ( $\text{Na}^+$ ), for later use in alkaline substrate from the Chapada of Apodi - RN. Cake washes were carried out with water and distilled water in different ratios (v/v), (50/50; 50/100; 50/150 and 50/200) cake (g) / water (mL), respectively. The cake was also washed with increasing concentrations (0.0; 0.05; 0.1; 0.5 and  $1.0 \text{ mol L}^{-1}$ ) of a KCl solution, for a constant volume of 200 mL. After shaking for 30 minutes, rapid filtration and drying, the levels of macronutrients and total sodium were determined according with methods proposed by Tedesco et al. (1995), and the exchangeable sodium by EMBRAPA (1997), in the extract of the cake "in nature" (control) and in the treated (sludge) residue. Both treatments proved effective in reducing the levels of sodium in the PDS cake. As for amount, the largest volume of water applied, 200 mL, had greatest reduction in the sodium levels of sodium. The same for the more concentrated KCl solution ( $1.0 \text{ mol L}^{-1}$ ), that promoted greatest displacement of sodium from the mass.

**Key words:** "In nature". Sodium. Potassium.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Para determinadas espécies vegetais, o  $\text{Na}^+$  (sódio) é utilizado na nutrição, desempenhando funções específicas no metabolismo, sendo considerado um elemento benéfico. O sódio pode ser absorvido em substituição ao  $\text{K}^+$  (potássio). Porém, para maioria das espécies cultivadas, o  $\text{Na}^+$  é prejudicial, seja de forma direta ou indireta no crescimento e desenvolvimento normal dos vegetais, reduzindo assim a produtividade. Este elemento dificulta a absorção de água e nutrientes essenciais na nutrição, e quando se apresenta em elevados níveis de concentração no solo, pode promover a dispersão das argilas, afetando a estruturação e por consequência reduz a infiltração de água no solo, as trocas gasosas e desenvolvimento normal das raízes, limitando um maior volume de solo a ser explorado.

Alguns solos do Rio Grande do Norte, em particular os da Chapada do Apodi, podem apresentar características naturais em relação a elevadas concentrações de sais, em decorrência do material de origem, clima ou também por interferência humana nos manejos agrícolas, por exemplo, manejo inadequado da irrigação. Portanto, para amenizar esse efeito ou como fonte de nutrientes pode-se utilizar uma fonte orgânica, como é o caso das tortas de oleaginosas. Particularmente, a torta de mamona PDS, que no decorrer do processo de produção, faz-se uso do catalisador NaOH (hidróxido de sódio), e, por consequência ocorre o aumento na concentração de sódio, pode intensificar os problemas com sais nestes solos, se não utilizada de forma racional ou se os teores de Na não forem reduzidos.

O objetivo deste estudo foi avaliar qual o volume de água aplicado, e a concentração de diferentes soluções KCl (cloreto de potássio) para lavagem ou tratamento da torta de mamona PDS, que poderá promover maior redução nos teores de sódio ( $\text{Na}^+$ ), para posterior utilização em substrato alcalino proveniente da Chapada do Apodi – RN.

## 3.4 REVISÃO DE LITERATURA

### 3.4.1 Uso do sódio na indústria

Os catalisadores são substâncias que alteram a velocidade de uma reação química sem sofrerem nenhuma alteração. São positivos: designados simplesmente catalisadores, aumentam a velocidade de uma reação, e, os catalisadores negativos, denominados inibidores ou estabilizadores, diminuem a velocidade das reações. Os catalisadores são muito importantes no nível industrial, uma vez que permitem obter produtos com maior rapidez, não obrigando a recorrer a técnicas mais dispendiosas (EBAH, 2010). Algumas dessas substâncias apresentam sódio em sua constituição.

O hidróxido de sódio (NaOH), também conhecido como soda cáustica, é um hidróxido cáustico usado na indústria como catalisador (principalmente como uma base química), na fabricação de papel, tecidos, detergentes, alimentos e biodiesel. Reage de forma exotérmica com a água e é produzido por eletrólise de uma solução aquosa de cloreto de sódio (salmoura), sendo produzido juntamente com o cloro (WAPEDIA, 2010). Além deste, existem outros catalisadores utilizados na indústria para diversas aplicações que são base de sódio, como o metóxido de sódio, aluminato de sódio, bicarbonato de sódio entre outros.

Os catalisadores geralmente são utilizados nos processos industriais para acelerar as reações, no caso do biodiesel produzido direto da semente é comumente utilizado o NaOH (hidróxido de sódio). O NaOH ou o KOH (hidróxido de potássio), são usados em pequenas proporções, onde, diferença entre eles, com respeito aos resultados na reação, é muito pequena. No Brasil o hidróxido de sódio é muito mais barato do que o hidróxido de potássio. Avaliando-se as vantagens e desvantagens é muito difícil decidir, genericamente, o catalisador mais recomendado, e dessa forma, por prudência, essa questão deverá ser remetida para o caso a caso (REVISTA BIODIESEL, 2003).

### 3.4.2 Efeitos do Na<sup>+</sup> nos vegetais e no solo

O sódio é um elemento requerido apenas por algumas plantas e é normalmente absorvido na forma iônica (Na<sup>+</sup>). Na planta o Na<sup>+</sup> é relativamente móvel. As concentrações de Na em tecidos vegetais variam de 0,0013 a 3,51% na matéria seca e de 0,016 a 16,78% nas cinzas. As plantas halófitas são muito ricas em Na, ao contrário plantas como o trigo, milho e girassol possuem muito baixo teor de Na (KORNDÖRFER, 2006). O principal papel do Na<sup>+</sup> na nutrição mineral de plantas é substituir o K<sup>+</sup> em determinadas funções fisiológicas (metabólicas e osmóticas). Em determinadas espécies, 95% do K<sup>+</sup> pode ser substituído pelo Na<sup>+</sup> (MARSCHNER, 1997). É considerado um elemento benéfico para algumas espécies vegetais.

Segundo MEURER (2006), os solos afetados por sais podem ser classificados como salinos (apresenta altas concentrações de sais solúveis), sódicos (com altas concentrações de sódio trocável) e salino-sódicos (apresentam altas concentrações de sais e de sódio trocável). Os solos de regiões áridas e semi-áridas podem apresentar acúmulo de sais em níveis prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, em razão de processos naturais de salinização ou interferência humana, pelo manejo inadequado da irrigação (SILVA et al., 2007). A ocorrência de solos salinos e sódicos é comum em áreas onde ocorre baixa precipitação e alta evaporação. Nestas condições os sais não são lixiviados, acumulando-se em quantidades prejudiciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas, impedindo algumas vezes a atividade agrícola (KORNDÖRFER, 2006). Solos normais submetidos à irrigação mal conduzida com águas salinas podem se tornar improdutivos devido ao excesso de sais.

Mesmo com um bom controle da qualidade da água de irrigação, o que raramente é feito na prática, é comum o acúmulo de sais no solo (SOUZA, 1995).

No Brasil, aproximadamente nove milhões de hectares são afetados pela presença de sais, cobrindo sete Estados. A maior área afetada está localizada no Estado da Bahia (44% do total), seguido pelo Estado do Ceará, com 25% da área total do país (GHEYI & FAGERIA, 1997). Quando a concentração de sais de sódio atinge valores muito altos, o  $\text{Na}^+$  solúvel começa a ser adsorvido pelo complexo de troca, iniciando-se aí a primeira etapa do processo de sodificação, que leva à formação dos solos sódicos. A passagem do  $\text{Na}^+$  para o complexo de troca começa a ser importante quando este cátion constitui a metade ou mais dos cátions solúveis da solução do solo (USSL, 1954) nestas condições, os carbonatos e bicarbonatos de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , por serem menos solúveis, se precipitam sempre que a solução do solo se concentra, em consequência da evapotranspiração, deixando o  $\text{Na}^+$  como cátion predominante da solução; desta forma e apesar da menor seletividade, o  $\text{Na}^+$  consegue deslocar os outros cátions por ação de massa (RIBEIRO et al., 2003).

O excesso de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas além de trazer problemas pelo efeito de íons tóxicos específicos, a ponto de afetar seu rendimento e a qualidade da produção (USSL STAFF, 1954; MEIRI et al., 1982; ALENCAR et al. (2003). Entretanto, quando o  $\text{Na}^+$  está presente no solo em quantidades significativas, particularmente em proporção a outros cátions, ele pode ter efeitos adversos sobre a produtividade das culturas, seja diretamente, dificultando a absorção de água e cátions nutrientes pela planta, ou indiretamente, pelo seu efeito dispersante sobre as argilas, causando desestruturação do solo e prejudicando a infiltração de água, oxigênio e crescimento das raízes. Tais adversidades são restritas aos solos com problemas de excesso de salinidade como Solos Halomórficos (TOMÉ JÚNIOR., 1997). Os solos sódicos apresentam, normalmente, reação alcalina, com valores de pH superiores a 8,5 e elevada concentração de cátions de sódio adsorvido no complexo trocável, resultando num solo difícil de ser trabalhado (KORNDÖRFER, 2006).

De maneira geral os sintomas de toxicidade estão associados à redução no crescimento e produção, além do amarelecimento e murchamento das plantas. A função do Na nas plantas é similar a do potássio: ativador de uma ampla gama de enzimas; ativador da ATPase (transporte através da membrana); está envolvido na osmose da membrana; facilita absorção de N, P, K em algumas plantas devido permeabilidade das células aos sais (ex: beterrabas e cenoura); favorece a acumulação de frutose, promove conversão de frutose à glicose; aumenta o conteúdo de sacarose em algumas plantas; reduz a mobilidade da aberturas de estômatos; sua absorção na presença de K é capaz de melhorar o vigor e cor de folhagem; em plantas C4 é necessário no transporte de  $\text{CO}_2$  até as células onde é reduzido a carboidrato (KORNDÖRFER, 2006).

É comum ser observada uma lesão causada pelo excesso de  $\text{Na}^+$  em espécies arbóreas como o abacate (*Persea americana* Mill), citrus (*Citrus* spp.) e em frutas de caroço (*Prunus* spp.). Após a absorção pelas raízes, o  $\text{Na}^+$  é translocado para a parte aérea da planta, causando a queima-das-folhas dessas espécies. A maioria das espécies frutíferas cultivadas é classificada como sensível aos sais (RHOADES & LOVEDAY, 1990). As plantas cultivadas apresentam diferentes respostas à salinidade, variando desde sensíveis até tolerantes (MAAS; HOFFMAN, 1977). A cultura do feijão, por exemplo, é considerada pouco tolerante à salinidade da água de irrigação, podendo haver redução de até 50% na produção da cultura quando irrigada com água com valores acima de  $2,4 \text{ dS.m}^{-1}$  de condutividade elétrica (BERNARDO, 1996). Por outro lado, existem plantas como a beterraba forrageira, beterraba, espinafre que mostram efeitos positivos do sódio no crescimento, sempre na presença de níveis adequados de potássio.

### **3.4.3 Atuação da matéria orgânica em solos com elevados teores de Na<sup>+</sup>**

Os processos e as reações que envolvem a matéria orgânica na química do solo são fundamentais para compreender a fertilidade e disponibilidade de nutrientes para as plantas (CAMARGO et al., 2006). No solo, os compostos orgânicos podem ser adsorvidos, precipitados, degradados ou volatilizados. A matéria orgânica humificada, devido às suas características e grupos funcionais, atua como um tampão, um trocador de íons, um surfactante, um agente quelante, ou como um adsorvente geral (MEURER, 2006). Em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados a matéria orgânica tem grande importância para o fornecimento de nutrientes às culturas, a retenção de cátions, a complexação de elementos tóxicos, a estabilidade da estrutura, a infiltração e retenção de água, a aeração, e a atividade e biomassa microbiana, constituindo-se assim, um componente fundamental da sua capacidade produtiva (BAYER & MIELNICZUC, 1999).

GOMES et al. (2000) avaliaram a possibilidade do uso de condicionadores orgânicos na recuperação de solos sódicos salinos e relataram uma redução na percentagem de saturação por sódio (PST), nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, com destaque para a camada mais superficial, onde ocorreu diminuição de 48,5 para 14%, no tratamento com esterco de curral; de 46 para 29%, no tratamento com casca de arroz, e de 25 para 17,7%, no tratamento com gesso. Tradicionalmente, estes dois produtos têm sido utilizados como adubo orgânico, sendo a torta comercializada por conter alto teor de nitrogênio e as cascas apenas levadas de volta para dentro da lavoura ou aproveitadas na própria fazenda (LIMA et al., 2006).

## 3.5 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.5.1 Tratamento da torta com água

O estudo foi realizado no Departamento de solos da UFRRJ, município de Seropédica, RJ. Para tal, foram utilizados 50 g de torta de mamona PDS para todos os tratamentos, onde variou apenas o volume de água destilada. Foram 4 tratamentos, repetidos três vezes, constituídos das seguintes proporções (m/v): 50/50, 50/100, 50/150 e 50/200, onde, o primeiro valor indica a massa de torta “in natura” (g) e o segundo, o volume de água destilada (mL) respectivamente. Utilizou-se erlenmeyer com capacidade de 250 mL, onde se adicionou os 50 g de torta e foram adicionados os distintos volumes de água destilada. Após adição da torta e da água, os recipientes foram vedados com papel alumínio e fita adesiva, e levados a agitação. Fez-se uso de agitador horizontal (aparelho), Novatecna modelo NT 155. Essa agitação durou cerca de 30 minutos com velocidade máxima.

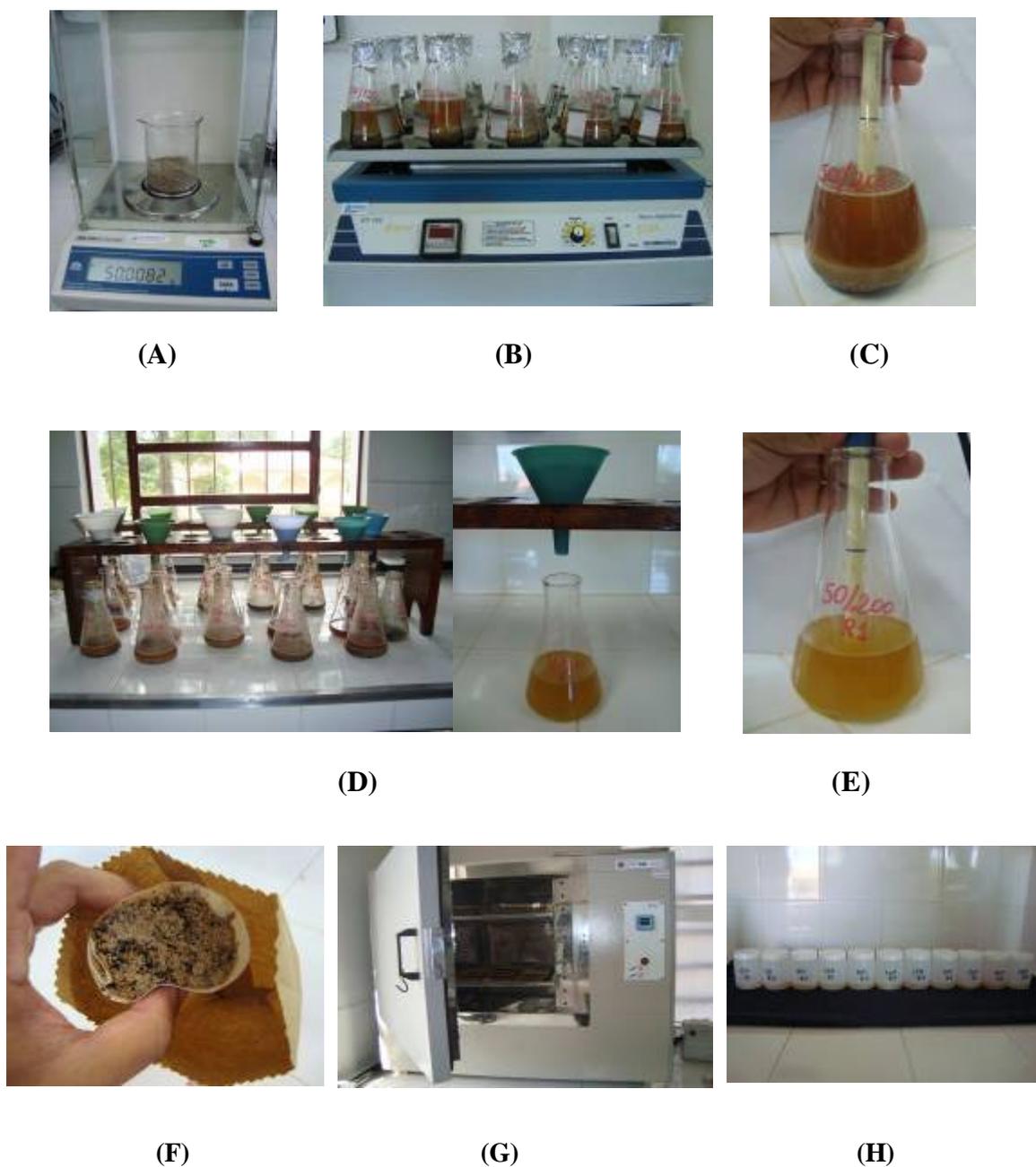
Após a agitação, determinou-se condutividade elétrica do extrato não filtrado. Para determinar esta variável, utilizou-se o condutivímetro Leitfähigkeit modelo LF 37. Depois, realizou-se a filtração do material através de filtros de papel, quantitativo Vetec com diâmetro 11 cm para filtração, por um período de aproximadamente 24 h. Após esta etapa, ocorreu a separação dos materiais, constituindo-se de uma fase sólida e outra líquida. No filtro de papel restou à fase sólida, que foi denominado “borra” da torta de mamona ou torta lavada (tratada). Esta, contendo certo teor de umidade foi colocada em sacos de papel, e em seguida mantida em estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante. As etapas da metodologia proposta, para redução dos teores de sódio na torta de PDS 2007 estão esquematizadas na (Figura 3).

Após atingir peso constante, a borra e a torta “in natura” foram analisadas. Após realizar a digestão sulfúrica e nitroperclórica (extratos da digestão) pela metodologia proposta por TEDESCO et al. (1995), foram determinados os teores totais de (N, P, K, Ca, Mg e Na) e os teores extraíveis do (P, K, Ca, Mg, Na) determinados utilizando a metodologia postulada pela EMBRAPA (1997).

Na fase líquida ou extrato filtrado, realizou-se nova mensuração da condutividade elétrica após a filtração. Nesta fase, também foram determinados os teores de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraíveis pela leitura direta da solução no espectrofotômetro.

Os teores determinados a partir, da torta “in natura” ou não tratada foram utilizados como parâmetros comparativos, sendo esta, a testemunha absoluta, ou seja, apresentando máximo teor de Na<sup>+</sup> em relação aos outros tratamentos.

Nas análises estatísticas, foram realizados testes de homogeneidade e normalidade dos dados, e atendendo estas pressuposições aplicou-se análise de variância e teste de médias Tukey a 5%, para isso, utilizou-se o programa estatístico SAEG versão 9.1.



**Figura 3.** Etapas do processo de redução dos teores de sódio na torta de mamona PDS: (A) Pesagem da torta; (B) Agitação sob distintos volumes de água; (C) Mensuração da condutividade elétrica do extrato não filtrado; (D) Filtragem e separação das fases; (E) Segunda mensuração da condutividade elétrica do extrato filtrado; (F) Torta de mamona após a lavagem “borra”, colocada em saco de papel com filtro de papel; (G) Torta lavada em estufa a 65 °C até peso constante; (H) Extrato da digestão da torta, para posterior determinação dos teores totais dos elementos.

### 3.5.2 Tratamento da torta de mamona com KCl

Em erlenmeyer de 250 mL, foram adicionadas 50 g de torta de mamona PDS 2007, mais 200 mL de solução de cloreto de potássio em concentrações crescentes (0,05; 0,1; 0,5; 1,0 mol L<sup>-1</sup>). Um tratamento apenas com água na mesma relação (50/200) torta (g) / água (mL) foi utilizado como testemunha absoluta. Os recipientes, devidamente vedados, a fim de evitar extravasamento durante o processo. Procedeu-se a agitação horizontal por 30 minutos, com velocidade de 150 oscilações por minuto, em agitador Novatecnia, modelo NT 155.

Após a agitação do material, realizou-se a filtração com auxílio de filtros de papel, quantitativo com diâmetro 11 cm para filtração rápida. Aguardou-se 24 h aproximadamente, para garantir a melhor drenagem livre possível, obtendo-se então uma fase sólida e outra fase líquida.

A fase sólida que restou no filtro de papel foi denominada de torta lavada ou tratada, que foi levada para estufa de circulação forçada, juntamente com uma amostra de torta PDS “in natura” (IN), a uma temperatura de 65 °C até peso constante. Foram então determinados os teores totais de N, P, K, Ca, Mg e Na, conforme metodologia proposta por TEDESCO et al. (1995). Também foram determinados os teores de Na e K trocáveis de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (1999).

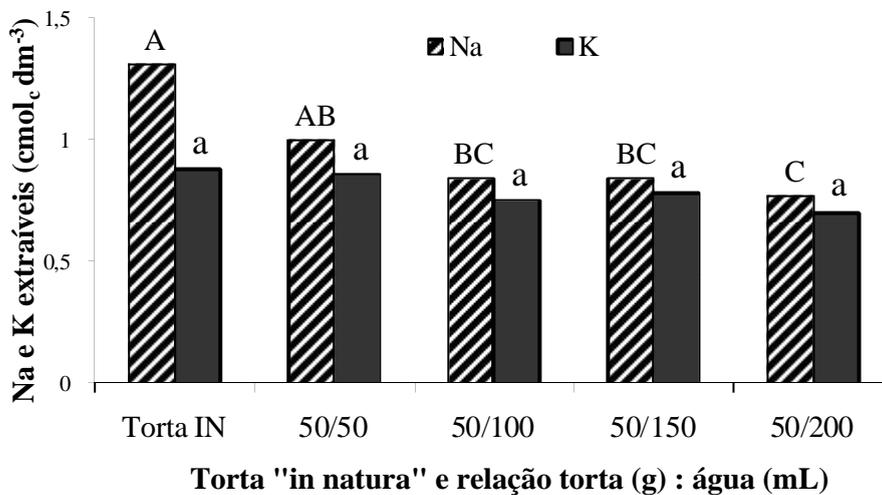
No extrato filtrado, ou seja, a fase líquida realizou-se a quantificação dos teores de Na por fotometria de chama. A determinação dos teores da torta “in natura” não tratada serviu como parâmetro comparativo, em relação à torta tratada.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado. Os dados obtidos foram submetidos aos testes de homogeneidade e normalidade dos erros, para posterior análise de variância e teste de médias - Tukey a 5%, utilizando o programa estatístico SAEG versão 9.1.

### 3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.6.1 Tratamento da torta PDS 2007 com água

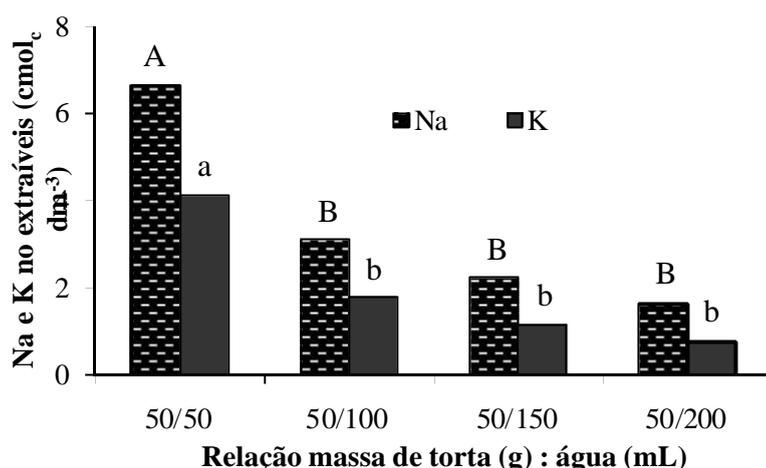
Na Figura 4 são comparados os teores extraíveis de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  na torta PDS “in natura” (testemunha), em relação a três tratamentos da torta tratada sob distintos volumes de água, os teores médios de sódio trocável foram reduzidos à medida que se aumentou o volume de água utilizado, apresentando diferença significativa na redução, onde, o tratamento (50/200) promoveu maior remoção nos teores de sódio. Em relação aos teores de  $\text{K}^+$ , havia expectativa de redução, devido às características deste cátion. Porém não houve redução significativa nos tratamentos onde se realizou a lavagem com água.



**Figura 4.** Teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  extraíveis na torta de mamona PDS “in natura” e tratada, nas diferentes relações entre massa de torta e água. Letras maiúsculas ou minúsculas, diferentes nas colunas de mesma aparência indicam diferença estatística entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 5 observa-se a redução nos teores extraíveis de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , à medida que se aumentou o volume de água para todos os tratamentos, foram observados teores médios mais baixos no extrato, sendo justificado pela maior diluição. O tratamento com maior volume de água em relação à torta (50/200) apresentou menores valores tanto de  $\text{Na}^+$  quanto de  $\text{K}^+$ .

Na Tabela 15 são apresentados os valores médios da condutividade elétrica, que está diretamente relacionado com a concentração de sais do meio. Segundo MEURER (2006), íons em solução conduzem corrente elétrica e quanto maior a concentração salina, maior a concentração de íons e mais intensa é a corrente conduzida pela solução. De acordo com os valores observados, ocorreu uma redução da condutividade elétrica, tanto no extrato filtrado, quanto para o extrato não filtrado (mensuração direta da condutividade após o período de agitação), proporcional ao volume, quanto maior o volume de água utilizado para lavagem da torta de PDS. Isso indica que o tratamento 50/50, apresenta maior concentração de sais, sendo o oposto observado para o tratamento 50/200. Porém mais uma vez, em decorrência da diluição para o tratamento com maior volume de água utilizado na lavagem (50/200), apresentou menor condutividade elétrica.



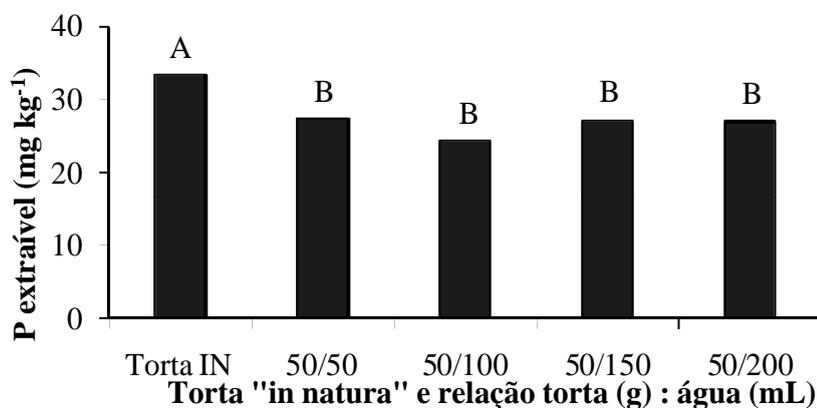
**Figura 5.** Teores extraíveis de Na e K no extrato sob distintas relações massa/volume de torta PDS. Letras maiúsculas ou minúsculas, diferentes nas colunas de mesma aparência indicam diferença entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 15.** Condutividade elétrica no extrato filtrado e não filtrado proveniente da lavagem da torta de mamona PDS com água destilada. Médias de três repetições.

Relação (m/v)	Extrato não filtrado	Extrato filtrado
	----- (mS cm <sup>-1</sup> ) -----	
50/50	3,41 A	6,70 A
50/100	3,83 B	4,92 B
50/150	3,15 C	3,67 C
50/200	1,33 D	2,93 D

Letras maiúsculas diferentes na coluna, indicam diferença estatística significativa entre médias aplicando o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

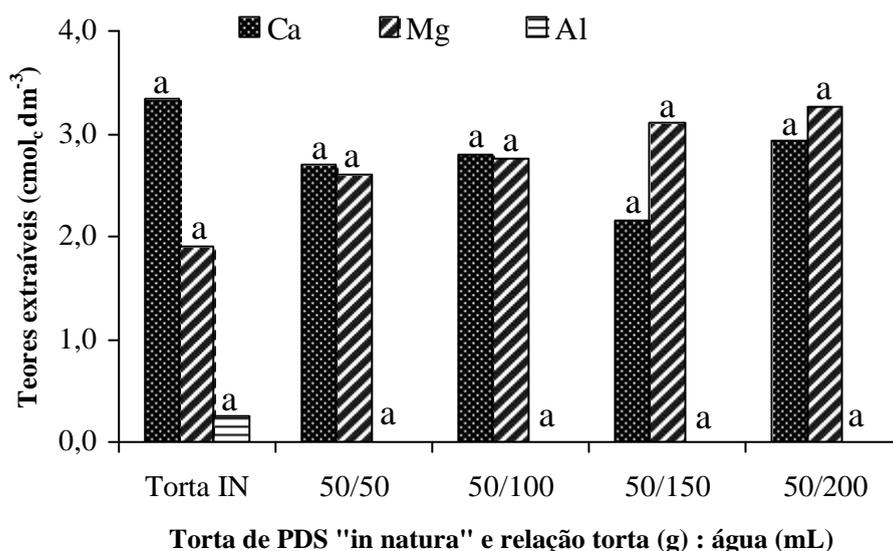
Em relação ao fósforo extraível da torta PDS (Figura 6), observaram-se reduções significativas dos teores médios deste elemento em todos os tratamentos da torta lavada em relação à torta “in natura”, sendo significativa essa redução, todavia não foi observada diferença significativa entre os tratamentos onde se realizou a lavagem da torta com água.



**Figura 6.** Teores de fósforo extraível na torta de mamona PDS “in natura” e tratada com água. Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 7 são apresentados os valores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) trocáveis, onde para os três elementos não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Esse comportamento é favorável, por se tratar de nutrientes essenciais na nutrição vegetal. Uma das funções do Ca já foi citada (componente da parede celular), mas são conhecidas outras funções desse macronutriente secundário. De acordo com VITTI et al. (2006), o cálcio tem importante papel na absorção iônica, particularmente na correção do efeito desfavorável da concentração hidrogeniônica excessiva, sendo essencial para que tal efeito não diminua a absorção de nutrientes que necessitam do Ca, pois é indispensável à manutenção da estrutura das membranas celulares (em particular da plasmalema). As funções do Mg nas plantas estão relacionadas, principalmente, com a sua capacidade de interagir com ligantes nucleofílicos como os grupos fosforílicos por meio de ligações iônicas, e agindo como elemento de ligação e/ou formando complexos de diferentes estabilidades. Embora muitas das ligações envolvendo o Mg sejam principalmente iônicas, algumas são covalentes, como na molécula de clorofila. Grande parte do Mg total da planta está envolvida na regulação do pH celular e no balanço cátion-ânion.

O alumínio é um elemento tóxico dependendo das concentrações e forma no solo, e apesar de não ter ocorrido diferença significativa nos seus teores, é desejável a redução deste elemento após a lavagem da torta.

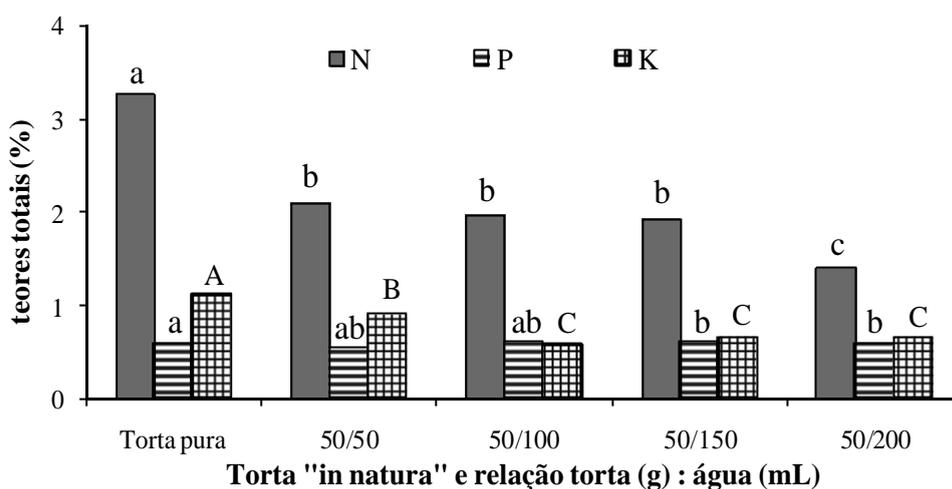


**Figura 7.** Teores de cálcio, magnésio e alumínio extraíveis presentes na torta de PDS “in natura” e tratada. Letras iguais na coluna de mesma aparência não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de N, P e K totais (Figura 8) indicam redução significativa e acentuada nos teores destes elementos, comparado aos teores da torta “in natura”. À medida que se aumentou o volume de água na relação massa de torta e água, reduziram-se na torta tratada os valores destes nutrientes. O N, P e o K são macronutrientes essenciais para crescimento das plantas, onde, segundo a EMBRAPA (2004), seus teores determinados na torta de mamona obtida a partir da cultivar BRS nordestina, foram de 4,6%, 3% e 0,96% para N, P e K respectivamente. Na torta de mamona PDS 2007 “in natura” a partir de diferentes cultivares de mamona, observou-se valores médios de 3,3%, 0,5% e 1,1% para N, P e K, respectivamente.

Em relação aos teores totais P (fósforo), observou-se pouca variação, porém, estatisticamente significativa em comparação com a torta “in natura”, que representa o

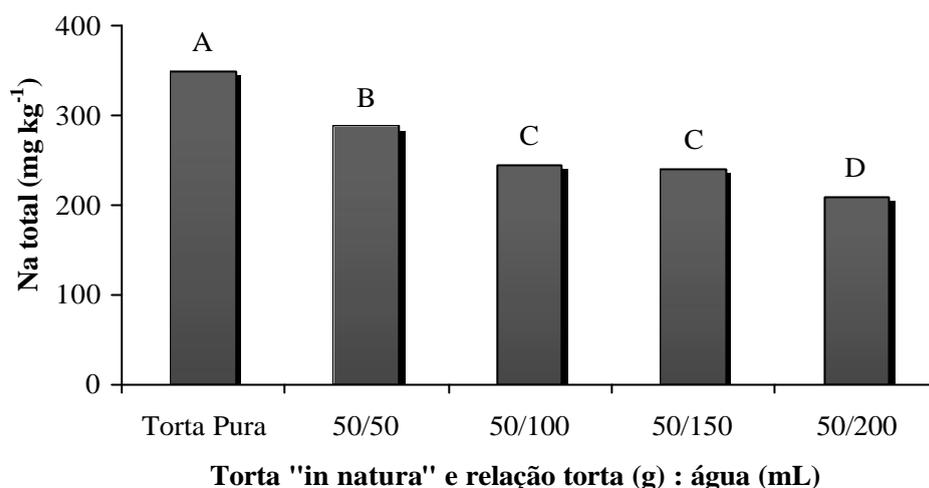
máximo teor dos nutrientes presentes na torta de PDS (testemunha absoluta). O P tem sido o elemento que mais se destaca na nutrição mineral, não somente por se encontrar em menor teor nos solos brasileiros, como também por influenciar decisivamente na produção de frutos, em peso e número de frutos por racemo. O fósforo estimula a antecipação da emissão do racemo primário. Na região semi-árida, sua importância é evidente, pois estimula o desenvolvimento do sistema radicular predispondo a planta para suportar períodos prolongados de seca (SAVY FILHO, 2005).



**Figura 8.** Teores totais de N, P e K na torta de mamona PDS “in natura” e tratada em diferentes relações entre massa da torta e água. Letras maiúsculas ou minúsculas distintas nas colunas de mesma aparência diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de sódio total são apresentados na Figura 9, e fica evidente a redução na torta tratada para N, P e K. À medida que se aumentou a quantidade de água na relação massa volume, ocorreu maior extração dos teores totais de sódio na torta PDS. Essa redução na torta tratada foi significativa em comparação a torta “in natura”. De acordo com MEURER (2006), nos solos salinos, a concentração de sais é elevada, a ponto de restringir o crescimento das plantas. O excesso de sódio no solo, além de limitar o crescimento das plantas, pode provocar a dispersão das argilas e, quando o teor é muito alto, pode ocorrer também a dispersão da matéria orgânica. O sódio é o principal componente da salinidade dos solos, a qual consiste, por sua vez, em uma das condições adversas que reduzem a produtividade das lavouras (DIÁRIO DO NORDESTE, 2009).

Como a torta de PDS será utilizada como adubo orgânico adicionada ao solo, deve ser realizado o tratamento desta, reduzindo os teores de sódio, para posterior adição, a fim de evitar adicionar mais solo ao sistema.



**Figura 9.** Teores totais de sódio na torta de mamona “in natura” e tratada sob diferentes volumes de água em relação à torta. Letras distintas nas colunas indicam diferença estatística significativa entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No tratamento proposto para a torta de PDS, podemos observar a redução nos teores de sódio à medida que se aumenta o volume de água em relação à torta. De acordo com os valores observados, o tratamento na relação 50/200 torta e água respectivamente, foi o mais promissor na redução dos teores de sódio comparado com a testemunha a torta “in natura”.

Os valores da Tabela 16 mostram a redução percentual dos teores médios da torta de mamona PDS, após a lavagem, sob diferentes volumes de água utilizados com intuito de remover os teores de sódio presente. Entretanto, após a lavagem da torta, além de reduzir os teores de sódio, que é prejudicial às plantas, há redução dos teores de outros nutrientes que são essenciais ao pleno crescimento e desenvolvimento vegetal, tais como, N e K principalmente.

**Tabela 16.** Redução percentual dos teores totais de N, P, K e Na, na torta de mamona de PDS após a lavagem com água destilada, comparados à torta pura ou “in natura”. Médias de três repetições.

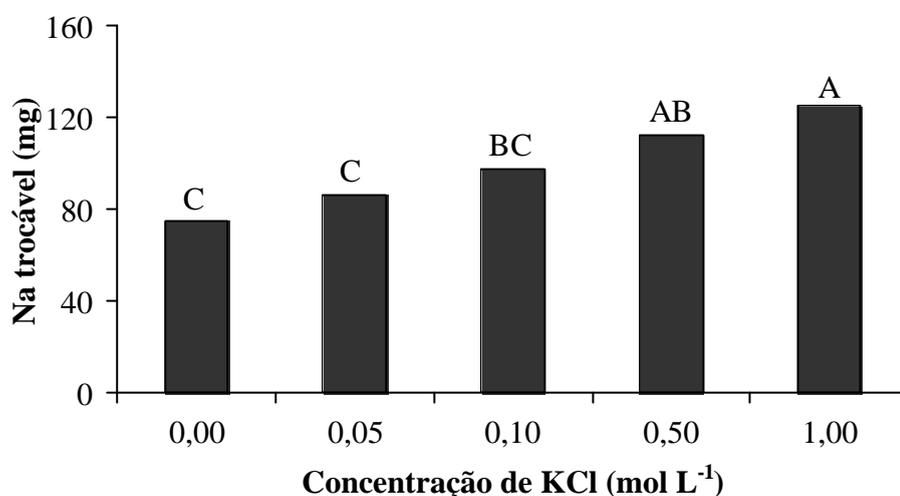
Relação torta tratada	N	P	K	Na
	----- (%) -----			
50/50	0	30	18,6	18
50/100	30	32	48,3	30
50/150	45	40	41,5	31
50/200	54	56	41,5	40

De maneira geral, observou-se uma redução nos teores médios de todos os elementos, em relação à torta “in natura”, à medida que se aumentou o volume de água aplicada, em relação à torta, na lavagem ou tratamento da torta de mamona de PDS. Portanto, o tratamento 50/200 foi o mais promissor na redução dos teores médios totais de sódio, mas, foi o que mais reduziu os teores de N e P, de forma proporcional.

Os teores médios de K foram mais reduzidos no tratamento de 50/100, e, os teores médios de P total após a lavagem da torta, apresentou maior redução percentual na relação (m/v) de 50/200.

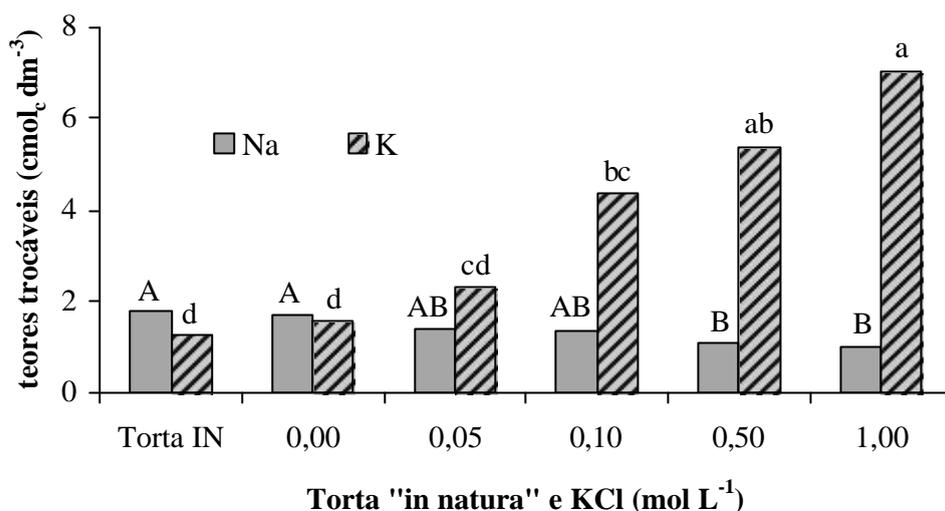
### 3.6.1 Tratamento da torta com KCl

O tratamento da torta de mamona PDS com solução de KCl é uma alternativa de redução dos teores de Na e enriquecimento com K. No tratamento ou lavagem da torta de mamona em diferentes concentrações de KCl, observou-se que a remoção de sódio da massa de torta foi proporcional a concentração da solução, ou seja, à medida que aumentou-se a concentração de KCl, deslocou-se mais  $\text{Na}^+$  para o extrato ou fração líquida (Figura 10). O  $\text{Na}^+$  extraído da massa de torta, foi significativamente maior no tratamento de concentração  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ .



**Figura 10.** Massa (mg) de  $\text{Na}^+$  trocável extraída da torta de mamona PDS lavada com água destilada e solvente em diferentes concentrações de KCl. Letras distintas indicam diferença significativa entre as médias de cada tratamento pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

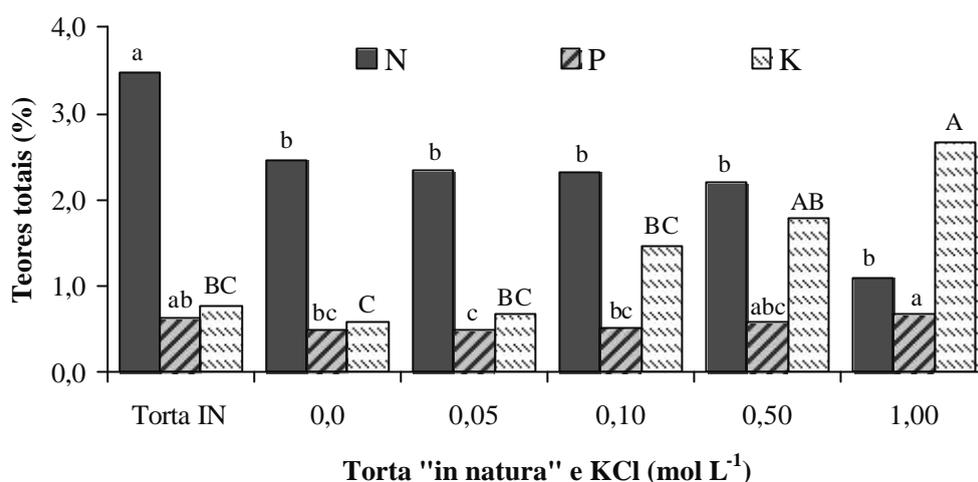
Observou-se também que independente da concentração de KCl, extraiu-se maior conteúdo de  $\text{Na}^+$  em comparação ao tratamento apenas com água. Os menores valores de Na trocável na borra foram observados no tratamento de maior concentração de KCl  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e inversamente, os maiores conteúdos de K trocável, também foram encontrados neste tratamento (Figura 11). Portanto, à medida que aumenta a concentração da solução de KCl, se reduz o teor de Na e aumenta-se significativamente os teores trocáveis de K na torta PDS.



**Figura 11.** Teores de sódio e potássio trocáveis presente na torta de mamona PDS “in natura” e lavada em concentrações crescentes de KCl. Letras distintas indicam diferença significativa entre médias de cada tratamento pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

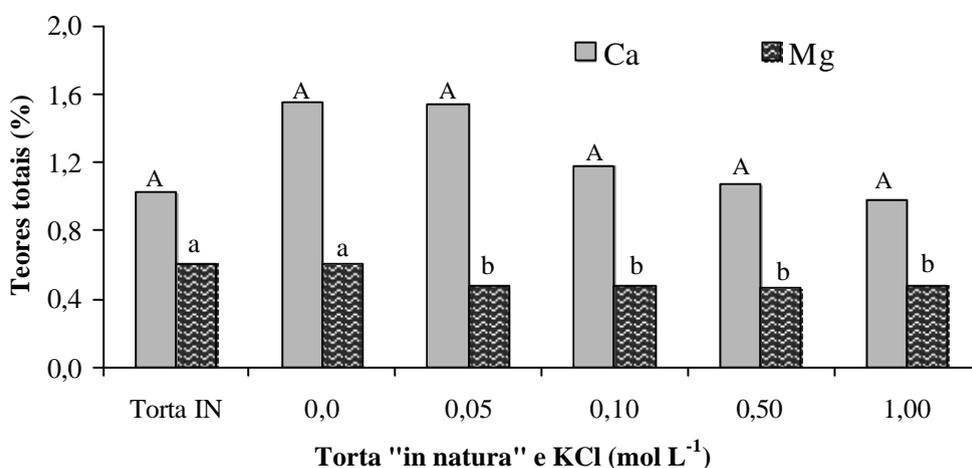
O potássio é o cátion mais abundante no vegetal, sendo absorvido em grandes quantidades pelas raízes (MEURER, 2006). Tem importante função no estado energético da planta, na translocação e armazenamento de assimilados e na manutenção da água nos tecidos vegetais. O potássio atua em muitos processos fisiológicos no vegetal: ativa mais do que 60 sistemas enzimáticos (sintetases, oxidoredutases, desidrogenases, transferases, kinases), atua na fotossíntese, favorece um alto estado de energia (necessária para a produção da ATP), mantém o turgor das células, regula a abertura e fechamento dos estômatos, promove a absorção de água, regula a translocação de nutrientes na planta, favorece o transporte e armazenamento de carboidratos, incrementa a absorção do nitrogênio e a síntese de proteínas, participa na síntese de amido nas folhas (MARSCHNER, 1995).

Quanto aos macronutrientes N, P e K após o tratamento com distintas soluções de KCl (Figura 12), observou-se redução significativa nos teores de N principalmente, em todos os tratamentos, em comparação com o teor na testemunha torta “in natura”. Os teores de P apresentaram oscilação, onde, houve redução e aumento significativo nos diferentes tratamentos. O K foi o elemento que mostrou maior incremento após o tratamento, em decorrência da presença de K nas soluções com KCl. Houve um aumento exponencial e significativo dos teores de K na torta, proporcional ao aumento na concentração das soluções de KCl.



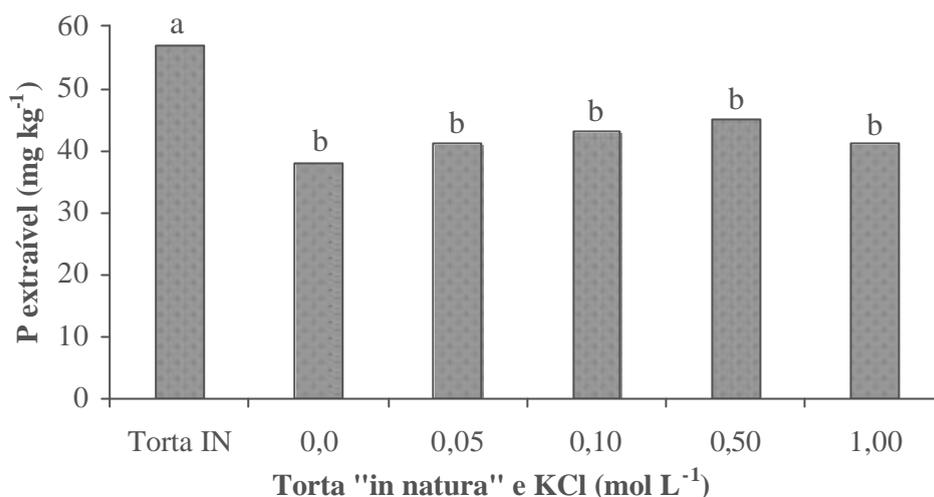
**Figura 12.** Teores totais de N, P e K na torta de mamona “in natura” e tratada com solução de KCl em diferentes concentrações. Letras iguais em colunas de mesma cor ou forma não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação aos teores totais de Ca e Mg, apresentados na Figura 13, observaram-se variações nos teores de Ca, porém não significativas estatisticamente, com tendência a redução com o aumento da concentração de KCl. Já os teores de Mg foram reduzidos de forma significativa, proporcionalmente ao aumento da concentração da solução de KCl. O aumento na concentração de KCl deslocou mais desse elemento para a fase líquida, removida na filtragem, retirando-o da massa de torta.



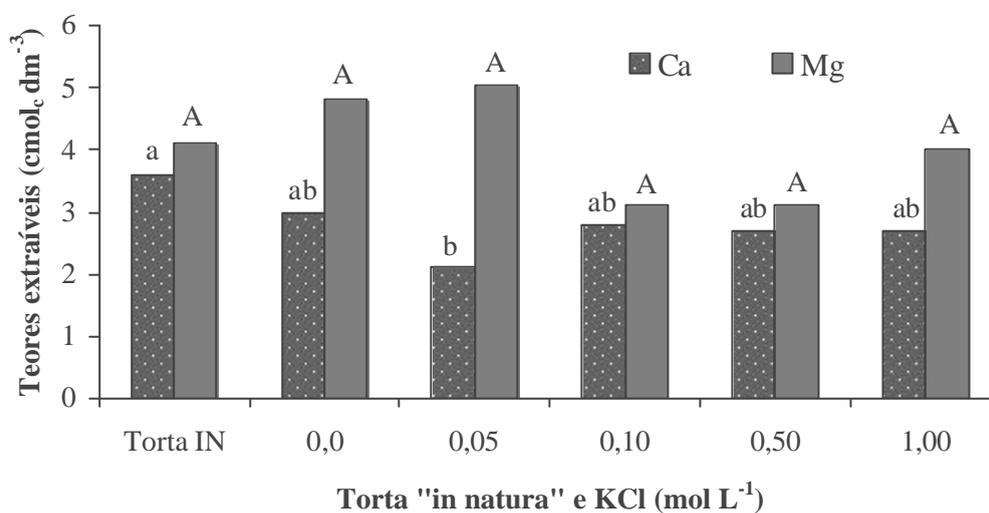
**Figura 13.** Teores totais de Ca e Mg na torta de mamona “in natura” e tratada com solução de KCl em diferentes concentrações. Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Os teores de P assimilável (Figura 14) foram reduzidos significativamente em todos os tratamentos, quando comparado com a torta IN, porém o aumento da concentração de KCl não surtiu nenhuma diferença.



**Figura 14.** Teores de P extraível na torta “in natura” e tratada com solução de KCl em diferentes concentrações de KCl. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Os teores de Ca e Mg extraíveis da torta após a lavagem variaram com os tratamentos (Figura 15), mas, de maneira significativa apenas para o Ca. A maior redução dos teores Ca foi observada no tratamento com solução de KCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>. Portanto, essa redução não apresentou relação direta com o aumento da concentração de KCl nas soluções.



**Figura 15.** Teores trocáveis de Ca e Mg na torta “in natura” e tratada com solução de KCl em diferentes concentrações de KCl. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

O tratamento da torta de mamona PDS com solução de KCl é uma alternativa para redução dos teores de Na, novos estudos de ordem biológica e viabilidade econômica devem ser realizados, com intuito de comprovar esse comportamento de redução nos teores de Na, e aumento nos teores de K um nutriente essencial.

### 3.7 CONCLUSÕES

- Os teores de Na foram reduzidos de forma proporcional ao volume de água aplicado com intuito de lavar a torta de PDS, a relação que mais retirou Na foi a de 50/200 (m/v);
- No tratamento da torta com KCl, o maior teor de Na extraído da torta foi observado na maior concentração da solução de KCl;
- O tratamento da torta com água promoveu significativa redução nos teores de sódio, porém, reduziu nutrientes essenciais como N e K;
- À medida que se aumentou a concentração da solução de KCl, ocorreu maior redução nos teores de Na e aumentou os de K, sendo significativo na concentração de 1,0 mol L<sup>-1</sup> para ambos os elementos.

## **CAPÍTULO III**

### **4. ESTIMATIVAS DA MINERALIZAÇÃO DA TORTA DE MAMONA PDS “IN NATURA” E TRATADA EM SOLO PROVENIENTE DA CHAPADA DO APODI-RN, UTILIZANDO A EVOLUÇÃO DE CO<sub>2</sub>**

#### 4.1 RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar a taxa de mineralização da torta de mamona PDS 2007, adicionada a substrato alcalino originado de amostra de CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, coletada na profundidade de 0-20 cm situado em área da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. A torta é proveniente da produção de biodiesel direto da semente, tendo como característica, altos teores de sódio ( $\text{Na}^+$ ), visto que durante o processo de extração do óleo se utiliza NaOH como catalisador. A torta de mamona de PDS utilizada foi oriunda da Unidade experimental da Petrobras/CENPES UEB-2, localizada em Guamaré, RN. A torta foi utilizada em seu estado “in natura” e tratada com água destilada para a remoção do excesso de  $\text{Na}^+$ , conforme descrito no capítulo II desta dissertação. O material foi incubado sob doses crescentes (0, 5, 10, 20, 40, 80 e  $160 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) por um período de 29 dias. Utilizou-se a metodologia para quantificar a evolução de  $\text{CO}_2$  foi adaptada por MENDONÇA & MATOS (2005). O aumento na liberação de  $\text{CO}_2$  foi proporcional as doses crescentes, no geral para os dois tipos de torta (“in natura” e tratada), e, o pico de mineralização (ou evolução de  $\text{CO}_2$ ) ocorreu por volta dos sete de dias incubação, apresentou comportamento similar para todos os tipos ou formas de torta.

**Palavras-chave:** Torta de mamona. Mineralização. Atividade Biológica.

## 4.2 ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the mineralization rate of castor bean cake PDS 2007, added to an alkaline substrate from surface soil of an Euthrudept sampled at a depth of 0-20 cm, located in an area in the Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte State, Brazil. The cake was from the production of biodiesel directly of the seed, having as characteristic high levels of sodium ( $\text{Na}^+$ ), due to the process of extracting the oil using NaOH as catalyst. The castor bean cake PDS originated from the Experimental Unit of Petrobras/CENPES UEB-2, located in Guamaré, RN. The cake was used in its natural state (“in nature”) and after treatment with distilled water to removal excess  $\text{Na}^+$ , as described in Chapter II of this dissertation. The material was incubated at increasing doses (0, 5, 10, 20, 40, 80, and  $160 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) for a period of 29 days. The method to quantify the evolution of  $\text{CO}_2$  was adapted by MENDONÇA & MATOS (2005). The increase in the release of  $\text{CO}_2$  was proportional to the doses, in general, for both types of cake (fresh and processed). The peak mineralization (or  $\text{CO}_2$  evolution) occurred around seven days of incubation, and the behavior was similar for all cake types or forms.

**Key words:** Castor bean. Mineralization. Biological activity.

### 4.3 INTRODUÇÃO

Com a busca cada vez mais incessante do homem moderno e sua maior conscientização em preservar os recursos naturais, visa-se o reaproveitamento ou a reciclagem de materiais e de resíduos. Estas atitudes também promovem a redução da degradação ambiental, sendo uma idéia cada vez mais difundida pela sociedade. A torta de mamona gerada na produção do biodiesel direto da semente (PDS) é um resíduo, ou se visto por outros lados, um co-produto da produção industrial do biodiesel, e possui várias aplicações, sendo que seu uso como adubo orgânico pode ser a forma mais viável e correta, pois promove a ciclagem de nutrientes, e há retorno destes nutrientes para áreas produtivas.

Por se tratar de um resíduo orgânico, com baixa relação C/N 9,6 na torta PDS 2007 segundo FREITAS (2009), esta pode favorecer a biota do solo, que atua por sua vez na mineralização ou degradação do resíduo, liberando nutrientes que serão aproveitados pelos vegetais na nutrição mineral, além de outros benefícios promovidos pela transformação da matéria orgânica adicionada ao solo.

Quando um resíduo é adicionado ao solo, e, que apresente em sua constituição alta relação C/N, este se decompõe mais lentamente, ou seja, há menor atuação da biota sobre ele, portanto, a característica dos materiais adicionados, influencia diretamente na dinâmica populacional dos organismos do solo.

Avaliar a taxa de mineralização ou liberação de nutrientes é importante, pois, através desta informação pode-se adotar o manejo da fertilidade, através da utilização de resíduo ou material orgânico adicionado ao solo. Sabendo-se qual o pico de mineralização, estimado pela evolução do CO<sub>2</sub> e a época de maior exigência da cultura explorada, pode-se determinar a melhor época de aplicação do material, com o objetivo que a liberação dos nutrientes, coincida com a época de maior demanda de nutrientes pela cultura. Através da medição da atividade microbiana, pode-se estimar a taxa de mineralização dos resíduos orgânicos, por ação dos micro-organismos atuantes, sendo correlacionada a maior taxa de liberação dos nutrientes com a respiração ou liberação de CO<sub>2</sub>.

O presente estudo tem como objetivo avaliar a taxa de mineralização da torta de mamona PDS “in natura” e tratada com água, em substrato coletado do horizonte superficial de um Solo da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte.

## 4.4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.4.1 Atuação da matéria orgânica

O processo de extração do óleo das sementes de mamona produz um importante co-produto, chamado torta de mamona, o qual possui excelentes propriedades químicas para uso na agricultura, tendo elevado teor de nitrogênio e outros importantes nutrientes (COSTA et al., 2004; FREITAS, 2009).

O principal uso da torta de mamona tem sido como adubo orgânico, pois usos mais nobres, como alimento animal, ainda dependem de tecnologia industrial para sua destoxicação e desalergenização (SEVERINO et al., 2004). Como adubo orgânico, a torta de mamona de PDS, poderá promover vários processos e efeitos no solo, de ordem química como a mineralização de nutrientes envolvido diretamente com a fertilidade do solo, troca de cátions relacionado com a disponibilidade de nutrientes, aumento do poder tampão e reações com micronutrientes e metais tóxicos. Efeitos da torta nas características físicas estão relacionados com a estruturação do solo e retenção de água. Nos processos biológicos, destacam-se como fonte de energia para os micro-organismos, estímulo à atividade enzimática e ao desenvolvimento de plantas (Adaptado de MEURER, 2006).

De acordo com MANZATTO et al. (1990), a matéria orgânica no solo (MOS) apresenta-se como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e por uma transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos. A formação e a estabilização da matéria orgânica podem ser interpretadas a partir de esquemas evolutivos, que por definição, analisam conjuntamente os ciclos de ganhos e perdas de carbono e a contribuição relativa dos processos bioquímicos, físicos e pedoclimáticos de estabilização do húmus em função de aspectos quantitativos e qualitativos detectados no ecossistema.

Na maioria dos solos, o teor de matéria orgânica (MOS) varia de 0,5 a 5% nos horizontes minerais superficiais, podendo apresentar valores mais elevados em solos orgânicos. Apesar de encontrar-se em pequena quantidade em comparação com a fração mineral, a MOS é importante para os sistemas de produção nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e no crescimento e desenvolvimento das plantas (MEURER, 2006).

### 4.4.2 Dinâmica dos micro-organismos

A concentração e atividade dos micro-organismos do solo são influenciadas pela disponibilidade de matéria orgânica no solo e pela qualidade dos resíduos orgânicos adicionados. Fatores inerentes à matéria orgânica, como a relação C/N, presença de lignina e granulometria (tamanho das partículas), são fatores que interferem na composição microbiana (ALEXANDER, 1977). SCHULTEN & HEMPFLING (1992) demonstraram que o crescimento da microflora do solo é limitado quando ocorre intenso cultivo e baixa disponibilidade ou baixa qualidade de fonte energética (matéria orgânica). A incorporação ao solo de materiais orgânicos afeta a dinâmica populacional dos micro-organismos e também a disponibilidade de alguns nutrientes, em especial o nitrogênio. Materiais com alta relação C/N geralmente são lentamente mineralizados e induzem deficiência de nitrogênio às plantas, pois os micro-organismos utilizam grande parte do N disponível, o qual só volta a ser disponibilizado posteriormente (MIELNICZUK, 1999).

A mineralização da matéria orgânica constitui a fase de perdas ocorridas durante a decomposição dos compostos orgânicos em duas prováveis etapas. A primeira, denominada de mineralização primária, que compreende a transformação de cerca de 70 a 80% da matéria

orgânica em moléculas simples, como CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, permanecendo no solo uma pequena fração de compostos fenólicos solúveis e compostos lignificados parcialmente transformados, a partir dos quais irão se desenvolver os demais processos.

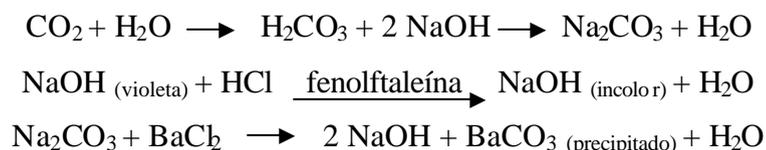
Existe ainda a possibilidade de degradação da matéria orgânica relativamente estabilizada. Os micro-organismos atuantes nessa fase utilizam, no seu metabolismo, o nitrogênio presente em cadeias alifáticas de moléculas orgânicas pouco condensadas, como as que ocorrem em ácidos fúlvicos e húmicos castanhos. Esse processo, bem como outros semelhantes, caracteriza a mineralização secundária. Os compostos fenólicos solúveis e os tecidos lignificados pouco transformados que permanecem no solo após a mineralização da matéria orgânica fresca são estabilizados por processos bio-físico-químicos que ocorrem nas condições pedoclimáticas, formando as frações ou substâncias humificadas (GUERRA et al., 2008).

No solo se desenvolve uma vasta e diversificada comunidade de organismos, tendo como principais representantes as bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários e algas, além de partículas de vírus e animais invertebrados macro e microscópicos. O crescimento e desenvolvimento desses organismos no solo, em particular os micro-organismos, depende da interação de diversos fatores, que incluem a disponibilidade de substratos orgânicos; fatores ambientais (temperatura, umidade e aeração); disponibilidade de nutrientes minerais como N, P, S, Ca, pH, potencial redox, etc (MENDONÇA & MATOS, 2005).

#### 4.4.3 Estimativa da atividade microbiológica

Segundo SEVERINO et al. (2004), a medição da respiração microbiana é uma forma de estimar o nível de atividade dos micro-organismos do solo, a qual reflete a velocidade de decomposição da matéria orgânica do solo ou de algum material a ele adicionado. Quando um material orgânico é adicionado ao solo, os micro-organismos realizam sua decomposição, a qual pode ocorrer de forma rápida se houver fatores propícios como umidade, pH, temperatura. Porém, a qualidade do material orgânico e a disponibilidade de nutrientes é também um fator importante.

O método de respirometria, evolução de C-CO<sub>2</sub> ou C mineralizável tem como objetivo medir o quanto de C é respirado pelos micro-organismos do solo em um determinado período de tempo, e é uma estimativa da atividade biológica. Este método baseia-se na captura do C-CO<sub>2</sub>, emitido de uma amostra de solo, em solução de NaOH ou KOH e sua dosagem por titulação com HCl (MENDONÇA & MATOS, 2005). Esta metodologia foi adaptada de CURL & RODRIGUEZ-KABANA (1972) & STOTZKY (1965) e pode ser realizada no campo ou em laboratório (MENDONÇA & MATOS, 2005). De acordo com esses autores, as reações, decorrentes do processo determinação do CO<sub>2</sub> microbiano, são descritas assim:



## 4.5 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.5.1 Local do estudo e tratamentos

A avaliação da mineralização da torta de mamona, foi realizada no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizada no município de Seropédica-RJ. O experimento foi conduzido por um período de 29 dias, durante os meses de março a abril de 2009. A torta de mamona de PDS foi produzida na Estação experimental da Petrobras/Cenpes, localizada em Guamaré, RN no ano de 2007. O substrato utilizado é advindo da região da Chapada do Apodi, RN, onde foi coletada do horizonte superficial de um CAMBISSOLO HÁPLICO Tb eutrófico típico com pH alcalino, a profundidade de 0 a 20 cm. Sendo, encaminhado para UFRRJ, para realização em laboratório das taxas de mineralização da torta adicionada ao solo sob diferentes doses crescentes de torta.

Também foram realizadas, análises de rotina da fertilidade do substrato segundo a metodologia da EMBRAPA (1999), e análise física (granulométrica) metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), a partir de terra fina seca ao ar (TFSA), coletaram-se 3 sub-amostras simples, formando uma composta para cada análise.

Para avaliação da taxa de mineralização, foram testados 26 tratamentos, consistindo de torta “in natura” (sem lavar para reduzir  $\text{Na}^+$ ) e torta tratada (lavada) sob diferentes proporções de água destilada, sendo, constituído das seguintes relações (50/50, 50/100 e 50/200; ver capítulo 2), onde, o primeiro valor representa quantidade de torta (g), e o segundo valor indica o volume de água (mL).

As tortas de mamona PDS foram misturadas ao substrato sob diferentes doses (5, 10, 20, 40, 80 e 160  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) proporcionais ao volume de substrato usado nas unidades experimentais, que foi de 100 g de TFSA. Nos tratamentos com substrato + torta foi adicionado água a 80 % da capacidade de campo. Logo, cada unidade experimental (Figura 16), foi constituída de 100 g de TFSA, utilizou-se um recipiente plástico com capacidade de 500  $\text{cm}^3$ , contendo em seu interior, outro recipiente, de 50 mL contendo 30 mL de solução de NaOH (capturar o  $\text{CO}_2$ ).



**Figura 16.** Unidade experimental na avaliação da taxa de mineralização da torta de mamona PDS, à esquerda vista lateral do recipiente hermeticamente fechado, e à direita vista superior do recipiente sem tampa. Ao fundo, solo + torta e sobre a mistura recipiente contendo solução de NaOH.

A testemunha absoluta foi o solo (sem adição de torta) e ainda uma parcela do experimento apenas com solução de NaOH, que consistiu no branco do ensaio. Os recipientes

ficaram abertos por um período de 15 minutos para ocorrer as trocas gasosas no intervalo das leituras (titulação) e troca da solução de NaOH que captura o CO<sub>2</sub> emanado. A incubação foi realizada em local escuro e protegido como determina a metodologia.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, e a disposição dos tratamentos seguiu o esquema fatorial de (6 x 4 x 3) + 6 (6 doses de torta x 4 tipos de torta (3 tratadas e 1 “in natura”) x 3 repetições + 6, sendo, 3 unidades com branco (solução de NaOH) e 3 unidades com zero de torta, ou seja, testemunha apenas com substrato), totalizando assim, 78 unidades experimentais (Tabela 17).

**Tabela 17.** Tratamentos utilizados na avaliação da mineralização da torta de mamona de PDS adicionada a substrato alcalino através da metodologia de evolução de CO<sub>2</sub>.

Doses de torta “in natura” (Mg ha <sup>-1</sup> )	Doses de torta tratada (Mg ha <sup>-1</sup> )	Relação torta (g) / água (mL)
5, 10, 20, 40, 80 e 160	5, 10, 20, 40, 80 e 160	50 / 50
Substrato (Zero de torta)	5, 10, 20, 40, 80 e 160	50 / 100
Branco absoluto (NaOH)	5, 10, 20, 40, 80 e 160	50 / 200

#### 4.5.2 Período de incubação e metodologia utilizada

O período de incubação foi de 29 dias, sendo realizadas leituras nos dias (1, 2, 3, 7, 11, 15, 19, 23 e 29), onde correspondente a 24, 48, 72, 168, 264, 360, 456, 552 e 764,5 horas.

A metodologia de evolução de CO<sub>2</sub> utilizada, denominada também por respirometria ou C mineralizável, foi postulada por CURL & RODRIGUEZ-KABANA (1972) & STOTZKY (1965) sendo adaptado por MENDONÇA & MATOS (2005). O objetivo é medir o quanto de C é respirado pela microbiota do solo em determinado período de tempo. Este método baseia-se na captura do CO<sub>2</sub>, emitido de uma amostra de solo, em solução de NaOH ou KOH e sua dosagem por titulação com HCl. Essa determinação pode ser realizada no campo ou em laboratório. Quando realizada no campo, mede-se o C respirado em todo solo que está sob uma determinada cobertura vegetal e uma determinada época do ano. Quando realizado no laboratório, existe a possibilidade de se trabalhar com amostras deformadas ou indeformadas (MENDONÇA & MATOS, 2005).

Em cada coleta, a solução que capturava o CO<sub>2</sub> emanado foi colocada em um recipiente (copo plástico) com capacidade de 50 mL, sendo colocado 30 mL de solução de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>, sendo que, apenas uma alíquota de 10 mL desta solução foi utilizada na titulação com HCl 0,25 mol L<sup>-1</sup>. Na titulação, sendo o titulante o HCl, e o titulado o volume de 10 mL da solução de NaOH, utilizou-se também junto ao titulado, 10 mL da solução de BaCl<sub>2</sub> e 3 gotas do indicador fenolftaleína. A titulação era interrompida quando através da cor, que passava da coloração rosa a incolor.

A partir da terceira avaliação, houve a necessidade de ajuste nas concentrações das soluções de HCl e NaOH, sendo estas dobradas passando a 0,50 mol L<sup>-1</sup> e 1,0 mol L<sup>-1</sup> respectivamente, em decorrência da necessidade, pois estava ocorrendo níveis respiratórios elevados, assim não seria capturado todo o CO<sub>2</sub> emanado pelos micro-organismos nas concentrações iniciais do experimento. A concentração da solução de BaCl<sub>2</sub> também foi dobrada a partir quinta avaliação passando a nova concentração de 0,10 mol L<sup>-1</sup>, pela mesma justificativa anterior de aumento na concentração das soluções anteriores. A primeira leitura só foi realizada depois de decorrido o período de 24 h, as demais leituras foram realizadas a partir das 18:00 h com exceção da última, às 14:30 h.

Para estimar o CO<sub>2</sub> emanado na respiração, fez-se uso da fórmula a seguir, onde o resultado é expresso em C-CO<sub>2</sub> (mg).

$$C-CO_2(mg) = (B-V) \times M \times 6 \times (v_1/v_2)$$

Onde:

*B* = Volume do HCl no branco (mL)

*V* = volume de HCl gasto na amostra (mL)

*M* = molaridade do HCl (mol.L<sup>-1</sup>)

6 = peso equivalente do carbono

*v*<sub>1</sub> = volume total de NaOH usado na captura do CO<sub>2</sub> (mL)

*v*<sub>2</sub> = volume de NaOH usado na titulação (mL)

A quantidade total de C-CO<sub>2</sub> produzido é igual ao somatório dos valores obtidos durante cada amostragem.

Os dados obtidos nos teores totais mineralizados foram submetidos aos testes de homogeneidade e normalidade dos erros, para posterior análise de variância e teste de médias Tukey a 5%, utilizando o programa estatístico SAEG versão 9.1.

## 4.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.6.1 Caracterização química e física do substrato proveniente da Chapada do Apodi - RN.

De acordo com análise química (Tabela 18), o substrato (antes solo), apresenta altos teores de elementos ou nutrientes essenciais na nutrição vegetal e também da biota do solo tais como: cálcio, magnésio, fósforo, potássio, carbono orgânico, alta saturação por bases indicado pelo valor (V%), sendo, considerado de alta fertilidade. O teor de sódio apresentou-se baixo, e o teor de alumínio zero. Em relação ao pH, mostrou-se alcalino. Os teores de carbono orgânico também se revelaram altos.

**Tabela 18.** Análise química para fins de avaliação da fertilidade do substrato utilizado na mineralização da torta de PDS e no cultivo da mamoneira e girassol em casa de vegetação.

Solo (substrato)	Na	Ca	Mg	H+Al	Al	S	T	V	m	n	pH	Corg	P	K
	----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----						---- (%) ----			1:2,5	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )		
Cambissolo	0,032	7,0	4,4	0,8	0	11,66	12,5	94	0	0	7,7	34,8	33	88

Os resultados da análise física (granulométrica) indicam que o substrato proveniente do solo em estudo (Tabela 19), apresentou em sua constituição, 800 g kg<sup>-1</sup> de areia total, que corresponde a 80% das frações minerais, sendo este classificado como substrato de classe areia franca (LEMOS & SANTOS, 1996). Solos com essa característica apresentam boa aeração, que é favorável para estudo das taxas de mineralização da torta, por promover melhor troca de gases, favorecendo a respiração dos micro-organismos.

**Tabela 19.** Análise física (granulométrica) do substrato utilizado no estudo de mineralização da torta de mamona PDS.

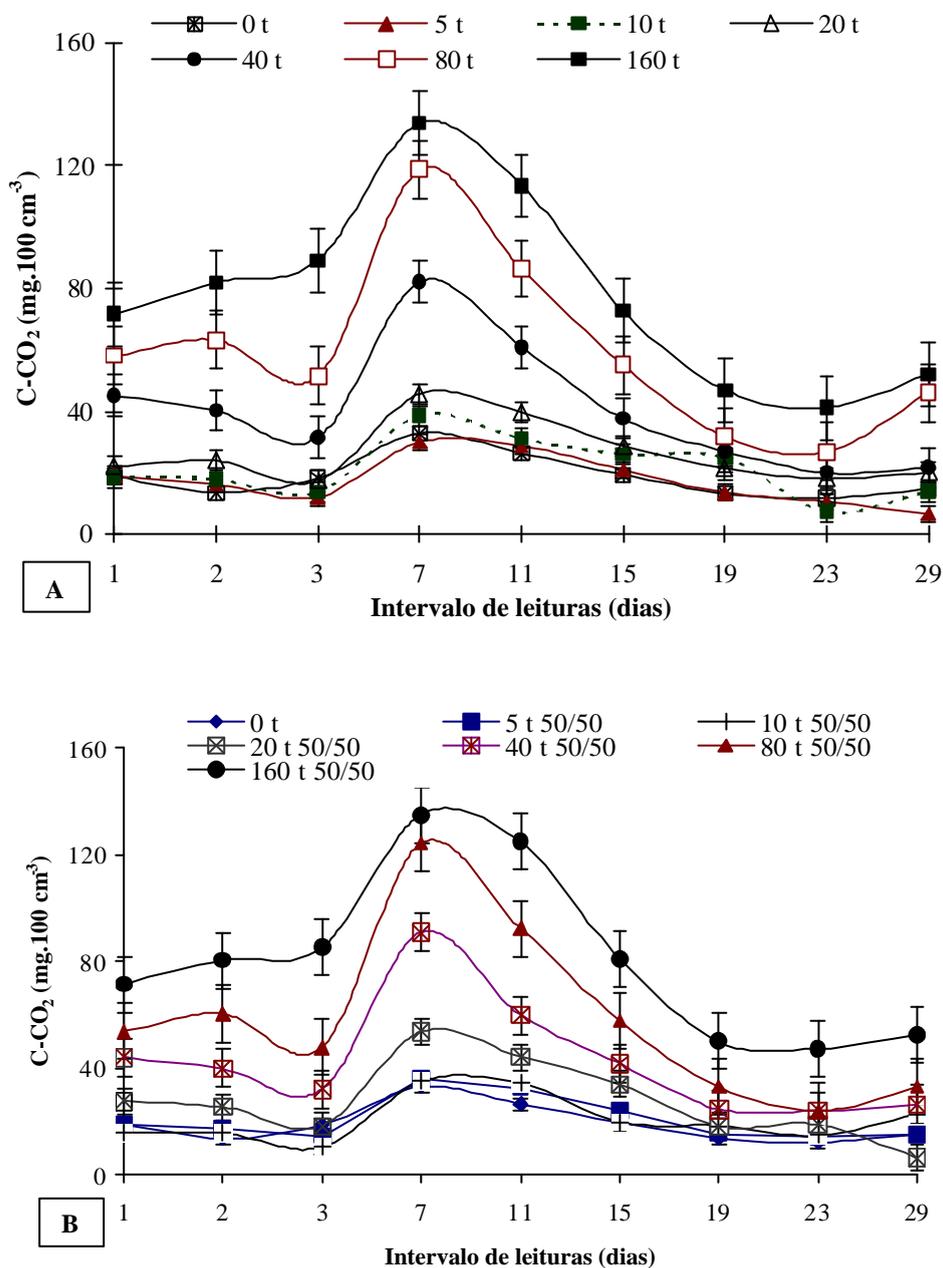
Amostra	Argila total	Argila natural	Areia total	Areia fina	Areia grossa	Silte
Cambissolo	----- (g kg <sup>-1</sup> )-----					
(0 – 20 cm)	120	50	800	20	780	80

### 4.6.2 Resultados da taxa de mineralização das tortas

A torta de mamona PDS “in natura” ou tratada adicionada ao solo apresentou resultados similares na evolução de CO<sub>2</sub> ao longo do período de incubação (Figura 17 e Figura 18). Observou-se que a maior taxa de respiração em função do tempo foi diretamente proporcional a maior dose de torta adicionada ao substrato.

Em todos os tratamentos, independente da dose ou tipo de torta, observou-se maior pico de liberação de CO<sub>2</sub> ou mineralização por volta dos sete dias de incubação. Resultados semelhantes foram obtidos por FREITAS (2009), onde, avaliando a taxa de mineralização de duas diferentes tortas de mamona em solo ácido, observou um maior pico de desprendimento

de CO<sub>2</sub> ou mineralização, a partir do sétimo, até décimo segundo dia de incubação. Porém, em relação à torta “in natura” e tratada PDS em substrato alcalino, o maior desprendimento de CO<sub>2</sub>, iniciou-se a partir do terceiro dia, sendo, o valor máximo observado no sétimo dia de incubação, e ocorrendo declínio a partir desse período para todas as doses.

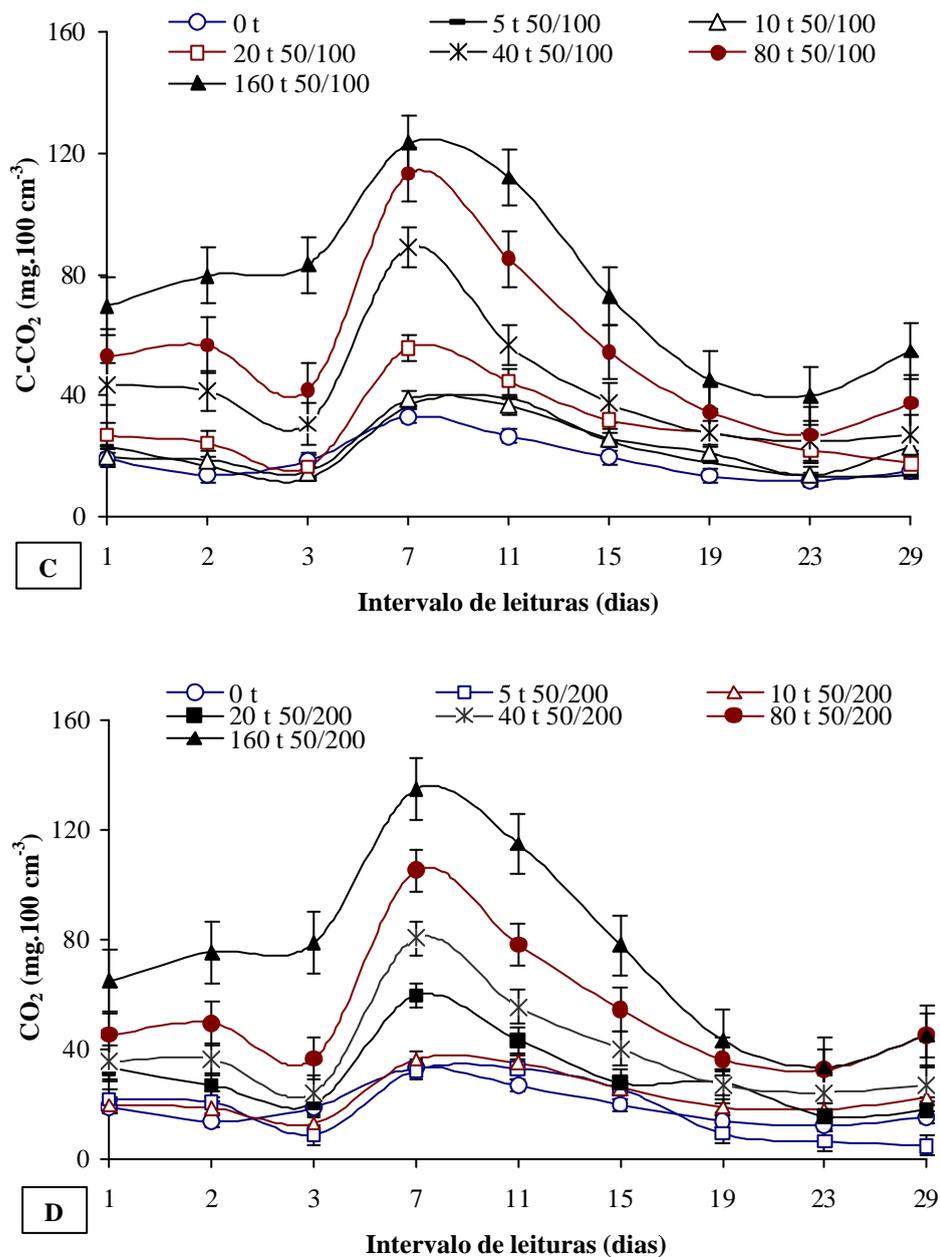


**Figura 17.** Mineralização da torta de mamona PDS em substrato alcalino sob dos crescentes de torta “in natura” figura (A), e torta tratada na relação (50/50) - (50 g de torta / 50 mL de água) figura (B). As doses na legenda t = Mg ha<sup>-1</sup>.

Os resultados estão de acordo com a literatura, como em SEVERINO et al. (2004), que avaliou a mineralização da torta de mamona em comparação com esterco bovino e bagaço de cana, observaram rápida taxa de mineralização da torta, sendo que, após 33 dias de incubação, a torta de mamona apresentou um total de 35 mg kg<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> contra 5,0 mg kg<sup>-1</sup> e 2,4 mg kg<sup>-1</sup>, sendo 6 e 14 vezes mais rápida na mineralização do que esterco bovino e bagaço

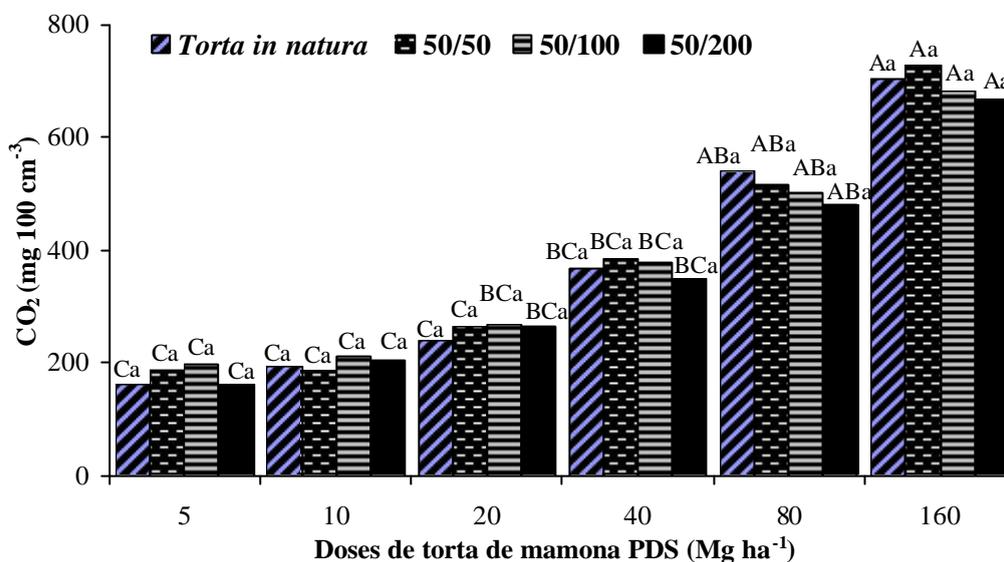
de cana respectivamente. Esses autores, concluíram que, a torta de mamona apresentou-se de forma mais intensa e rápida na mineralização em comparação com os outros dois materiais.

Biologicamente, a matéria orgânica aumenta a concentração e a atividade dos micro-organismos do solo, por ser fonte de energia e de nutrientes. Fatores inerentes à matéria orgânica, como a relação C/N, presença de lignina e granulometria, interferem na dinâmica microbiana. A relação C/N da torta de mamona é de 11:1 (KIEHL, 1985). Com base nessas afirmações, é justificado o comportamento da torta de mamona PDS lavada ou pura, sendo mineralizada por volta de sete dias, por ter baixa relação C/N (valor de 9,6), disponibilizando ou liberando nutrientes rapidamente, além dos benefícios da matéria orgânica no solo.



**Figura 18.** Mineralização da torta de mamona PDS em substrato alcalino sob dosagem de 50/100 figura (C), e torta tratada relação (50/200) figura (D). As doses na legenda indicadas por t = Mg ha<sup>-1</sup>.

Como já discutido, observou-se maior taxa de mineralização proporcionalmente a maior dose de torta PDS aplicada 160 Mg ha<sup>-1</sup> ao substrato, com diferença significativa, porém não para o tipo de torta “in natura” e tratada (Figura 19). De maneira geral, os resultados são similares aos observados no estudo realizado por FREITAS (2009), sendo, a mineralização proporcional a maior dose de torta aplicada ao substrato.



**Figura 19.** Totais de CO<sub>2</sub> evoluído ao longo do período de incubação em função das doses crescentes de torta de mamona PDS “in natura” e tratada sob distintas (relações torta (g) / água (mL)). Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %.

Nos teores totais de CO<sub>2</sub> foram observados ao longo dos 29 dias de incubação, na torta de mamona PDS “in natura” ou tratada, que houve similaridade nas taxas mineralização de ambos os tipos de torta, não influenciando de maneira negativa na dinâmica populacional dos micro-organismos, mesmo com maior teor de sódio no caso da torta “in natura”.

SEVERINO et al. (2004) destacam que há vantagem do uso de adubo orgânico em relação à aplicação de fertilizantes minerais a liberação gradual dos nutrientes à medida que são demandados para o crescimento da planta. Se os nutrientes forem imediatamente disponibilizados no solo, como ocorre com os fertilizantes minerais, podem ser perdidos por volatilização (principalmente o nitrogênio), fixação (fósforo) ou lixiviação (principalmente o potássio). A torta de mamona PDS apresenta elementos já citados por esses autores, sendo esta favorável para utilização na agricultura (Tabela 20).

**Tabela 20.** Valores totais de macronutrientes presentes na torta de mamona PDS 2007. Médias de três repetições.

Tipos de torta	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P	K <sub>2</sub> O	K	Ca	Mg
	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----						
Torta de PDS “in natura”	32,7	12,4	5,4	13,2	11	5,4	2,1
Torta de PDS lavada 50/50	31,0	12,4	5,4	10,8	9	6,2	7,5
Torta de PDS lavada 50/100	23,0	10,3	4,5	7,2	6	7,6	7,7
Torta de PDS lavada 50/200	15,0	10,3	4,5	7,2	6	7,9	7,9

A torta de mamona PDS é um fertilizante orgânico com potencial de uso na agricultura, que, além do fornecimento de nutrientes e benefícios de ordens físicas, químicas e biológicas promovidas pela matéria no solo, apresenta mineralização rápida ao longo do tempo e favorece o desenvolvimento da fauna do solo, principalmente da micro-fauna que consome C-orgânico entre outros elementos, degradando o material e disponibilizando-os as para nutrição mineral das plantas.

Através da estimativa da mineralização de um material, nesse caso a torta PDS que é orgânico, pode-se utilizar essa informação, ou seja, o maior pico de evolução de CO<sub>2</sub> que está diretamente correlacionado com maior taxa de liberação de nutrientes, como forma de aproveitamento mais eficaz do fertilizante, identificando qual o momento mais adequado para aplicação no cultivo, como por exemplo, adubação em cobertura aplicando sete dias antes do maior pico de absorção de nutrientes da espécie cultivada, se tem menores “perdas” de bases, principalmente em solos arenosos.

#### 4.7 CONCLUSÕES

- De maneira geral a torta de mamona PDS 2007 “in natura” ou tratada adicionada ao substrato proporcionou maior taxa de mineralização ou respiração por volta do sétimo dia de incubação, sendo estas reduzidas a partir desse período;
- Os teores de sódio ( $\text{Na}^+$ ) na torta “in natura” não influenciaram de forma negativa na dinâmica populacional dos micro-organismos, pois apresentaram comportamento similar em ambas das tortas ao longo dos 29 dias de incubação;
- A torta de PDS favoreceu a atividade dos micro-organismos de forma proporcional as maiores doses de torta aplicada ao substrato.

## **CAPÍTULO IV**

### **5. EFEITO DO USO DA TORTA DE MAMONA (PDS) COMO ADUBO ORGÂNICO EM SOLO DA CHAPADA DO APODI - RN, NO CULTIVO DA MAMONA (*Ricinus communis* L.) E DO GIRASSOL (*Helianthus annus* L.)**

## 5.1 RESUMO

A torta de mamona gerada a partir da produção de biodiesel direto da semente (torta PDS) apresenta significativos teores de elementos essenciais à nutrição vegetal com destaque para o N, além do que poderá promover outros benefícios de ordem física, química e biológica quando adicionada ao solo. Entretanto, ao longo do processo de produção do óleo pelo processo direto da semente, utiliza-se o catalisador NaOH, que eleva os teores de sódio no material, que se apresentam acima do valor máximo permitido pela NBR 10.004:2004. O sódio é prejudicial para maioria das espécies vegetais e pode promover danos ao solo dependendo da concentração. O objetivo do estudo foi avaliar o potencial de uso da torta de mamona PDS sob doses crescentes no cultivo da mamona e girassol em solo proveniente da região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. A mamona foi cultivada durante os meses de maio a julho e o girassol de junho a agosto de 2009 por um período de 70 dias em casa de vegetação. As plantas foram cultivadas em vasos contendo 2,5 kg de substrato proveniente da parte superficial de um CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, coletado na Chapada do Apodi-RN. Foi mantida apenas uma planta por vaso ao final do cultivo. As doses crescentes de torta para ambos os cultivos foram de 5, 10, 20, 40 e 80 Mg.ha<sup>-1</sup>, nas formas de torta, “in natura” e tratada, mais um tratamento com adubação mineral NPK e outro contendo apenas substrato (testemunha). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados. Ao final do cultivo foram avaliados dados fenológicos, os teores de macronutrientes totais nos tecidos das raízes e parte aérea, e análise radicular. Também foram realizadas análises físicas e químicas do substrato. As doses apresentaram mais diferenças significativas em comparação com o tipo de torta. Para maioria das variáveis analisadas as doses crescentes de torta PDS, promoveram ganhos proporcionais, independente do tipo ou estado desta. Mesmo estando acima dos limites máximos permitidos pela legislação, os teores de sódio pouco influenciaram no crescimento e desenvolvimento das plantas de mamona e girassol.

**Palavras-chave:** Substrato. Fertilizante Orgânico. Alcalino.

## 5.2 ABSTRACT

The castor bean cake generated from the production of biodiesel directly from seed (PDS cake) has significant levels of essential elements for plant nutrition with emphasis on N, in addition to other benefits, physical, chemical and biological, when added to soil. However, during the process of production of oil by the directly process of the seed it is used as catalyst the NaOH, increasing levels of sodium in the material, to values above the maximum allowed by NBR 10.004:2004 regulation. Sodium is detrimental to most plant species and may promote damage to the soil, depending on the concentration. The aim of this study was to evaluate the potential usage of castor bean PDS, with increasing dosages, in the cultivation of castor beans and sunflower seed, in a soil from the Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte State, Brazil. The castor bean was cultivated from May to July and the sunflower from June to August of 2009, for a period of 70 days in a greenhouse. They were grown in pots containing 2.5 kg of substrate from the superficial horizon of a Euthrustept soil, sampled at Chapada do Apodi – Rio Grande do Norte State, Brazil. It was maintained only one plant per pot at the end of cultivation. The increasing cake dosages for both crops were of 5, 10, 20, 40 and 80 Mg ha<sup>-1</sup> in the form of cake, in its natural state and treated, plus a treatment with NPK fertilizers, and another containing only the substrate (control). The experimental design was of randomized blocks. At the end of the crop phenological data were evaluated, the total content of macronutrients in the tissues of roots and shoots, and root analysis. Also, the substrate was analyzed for physical and chemical properties. The dosages showed more significant differences than the type of cake. For most variables, the increasing dosages of PDS cake promoted proportional gains, regardless of the type or condition of the cake. Even when above the maximum limit allowed by law, the levels of sodium had little influence on the growth and development of castor bean and sunflower plants.

**Key words:** Substrate. Organic Fertilizer. Alkaline.

### 5.3 INTRODUÇÃO

A política energética atual busca formas para substituição do petróleo, buscando cada vez mais a menor dependência deste recurso natural não renovável, que contribuiu grandemente para emissão de poluentes no planeta. Existem alternativas para substituição ou pelo menos redução no consumo mundial deste produto, por decorrência da futura escassez do recurso ou por questões ambientais.

O biodiesel já utilizado em outros países como, por exemplo, na Alemanha, entretanto, no caso do Brasil, está sendo introduzido no mercado de forma gradativa ao diesel comum. A queima desse combustível (biodiesel) promove a menor emissão de gases de efeito estufa, quando comparado com a queima de combustíveis fósseis, se não uma ciclagem mais rápida do carbono.

Como co-produto da produção do biodiesel a partir de oleaginosas como a mamona, girassol, dendê, pinhão manso, soja entre outras oleaginosas, com grande potencial de uso como adubo orgânico, além de outras aplicações, é produzida a torta de mamona, no estudo direto da semente. Quando adicionada ao solo, promove benefícios de ordem física, química e biológica, além disso, a sua utilização atende a preceitos exigidos pela sociedade atual, com maior consciência ecológica, atendendo normas de compromisso na preservação e reuso dos recursos.

A utilização dos resíduos industriais, onde está incluída a torta de PDS, após processo investigativo dos efeitos benéficos, ou não, causados pelo lançamento destes produtos ao ambiente, pode ser uma das alternativas para redução de impactos ambientais. Esta deve ser utilizada de forma racional, não apenas com intuito de descarte do material, pois, neste caso estaria-se promovendo o contrário do que se propõe como forma de reciclagem.

Para utilização da torta de mamona PDS com suas características particulares, há necessidade de se realizar vários estudos, com maior segurança, identificando seus constituintes e teores comparados à legislação.

O estudo tem por objetivo avaliar o potencial de uso da torta de mamona PDS, utilizando doses crescentes no cultivo da mamona e girassol em solo proveniente da Chapada do Apodi, RN.

## 5.4 REVISÃO DE LITERATURA

### 5.4.1 Importância e aplicações da torta de mamona e de outras tortas

Tradicionalmente, o processo de descascamento e extração do óleo de mamona produz dois importantes resíduos: a casca do fruto e a torta. O adequado aproveitamento desses produtos permite o aumento das receitas da cadeia produtiva e conseqüentemente a sua rentabilidade. As cascas de mamona são geradas na propriedade rural, e indubitavelmente devem retornar aos solos para ciclagem imediata. Entretanto, a torta é gerada na indústria de extração do óleo, que geralmente está situada a distâncias consideráveis da plantação (LIMA et al., 2008).

Para cada tonelada de semente de mamona processada são gerados 620 kg de casca (SEVERINO et al., 2005) e 530 kg de torta de mamona (SEVERINO, 2005). Como a produção brasileira de mamona foi de 210 mil toneladas em 2005, estima-se que tenham sido produzidas aproximadamente 130 mil t de cascas e 111 mil t de torta. Tradicionalmente, estes dois produtos são utilizados como adubo orgânico, sendo a torta comercializada pela indústria por conter alto teor de nitrogênio e as cascas apenas levadas de volta para dentro da lavoura, embora às vezes sejam queimadas para evitar o custo de transporte até a lavoura, o que não é recomendável.

Além do uso como adubo e alimento animal (deve ser tratada antes), a torta de mamona pode ser usada como matéria-prima para a produção de plástico, em especial biodegradáveis, colas, inseticidas e outros produtos, (MACHADO et al., 1957). A torta da mamona ainda pode ser usada para controle de nematóide no solo em diversas culturas. AKHTAR & MOHMOOD (1996) testaram diversos produtos no controle de nematóides, sendo um deles a torta colocada 15 dias antes do plantio na quantidade de 2.700 kg ha<sup>-1</sup> equivalente a 110 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. A torta promove o aumento do *Meloídogene aquaticus* que é predador de várias espécies de nematóides causadores de doenças nas plantas.

A torta de mamona PDS é uma fonte orgânica de nutrientes que promove o retorno destes ao solo, ou seja, promove a ciclagem ou reciclagem dos nutrientes. Esses elementos antes nos tecidos e frutos da planta, se depositam no solo, e, em condições favoráveis são reduzidos ou degradados pela biota do solo, sendo novamente absorvido pelos vegetais.

O uso da adubação orgânica pode substituir totalmente a adubação mineral. A quantidade a ser empregada depende da qualidade do adubo disponível e das condições locais como: solo, clima e manejo. Quando do uso de quantidades menores, deve-se lançar mão de adubação mineral complementar. Para a cultura, é altamente recomendável o reuso dos restos culturais (cascas e torta) em qualquer situação, com vistas a garantir a ciclagem dos nutrientes e reduzir a competição por adubos minerais com as culturas produtoras de alimentos.

Em decorrência dos elevados custos da adubação mineral, os resíduos orgânicos produzidos pela indústria, pelas cidades ou pelo meio rural (agrícola) passaram a ter maior importância como materiais recicláveis, melhorando as condições e fertilidade dos solos. A grande maioria desses resíduos pode ser utilizada diretamente pelo agricultor como adubo orgânico, sem passar anteriormente por procedimentos que conduzam a melhoria do produto como fertilizante (TEDESCO et al., 2008). No caso da torta de PDS há necessidade de realizar prévio tratamento por apresentar elevados teores de Na<sup>+</sup>

### 5.4.2 Chapada do Apodi

A Chapada do Apodi (Figura 20), região de estudo, está localizada no estado do Rio Grande do Norte, compreendem os municípios de Mossoró, Baraúna, Governador Dix-Sept Rosado, Felipe Guerra e Apodi, sendo considerado um divisor de águas entre as bacias

hidrográficas dos rios Jaguaribe e Apodi. A Chapada do Apodi é uma formação geológica localizada na divisa entre os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte. Tem aproximadamente 1.600.000 ha. Destes, 1/3 aproximadamente é utilizado, e tem no mínimo um potencial de uso de mais 1/3.



**Figura 20.** Localização geográfica da Chapada do Apodi no RN. Fonte: Zonta (2008).

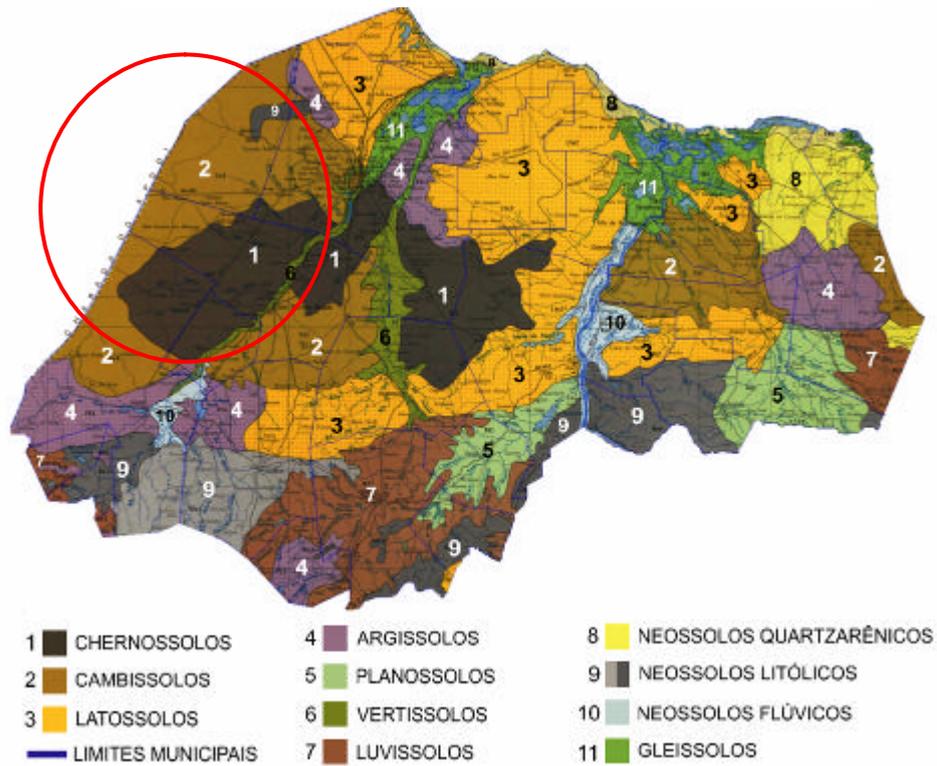
As classes de solos que predominam na Chapada do Apodi são os Cambissolos e os Chernossolos. O mapa de solos dessa região está destacado com um círculo na Figura 21.

A área do calcário Jandaira estende-se por uma faixa paralela ao litoral norte e alarga-se na Chapada do Apodi onde ocupa maior extensão. Derivam desta formação geológica principalmente os Chernossolos, Cambissolos, Vertissolos, Neossolos e Latossolos. Em consequência do material de origem no qual foram formadas, essas classes de solo, apresentam alta fertilidade natural, como por exemplo, o substrato utilizado no estudo, que apresentou alta saturação por bases (Zonta, 2008).

Os Cambissolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos ou Gleissolos. Têm sequência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R. Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro (EMBRAPA, 1999).

Compreende-se por Chernossolos - solos constituídos por material mineral que têm como características diferenciais, alta saturação por bases e horizonte A chernozêmico sobrejacente a horizonte B textural ou B incipiente com argila de atividade alta, ou sobre horizonte C carbonático ou horizonte cálcico, ou ainda sobre a rocha, quando o horizonte A apresentar concentração de carbonato de cálcio. São solos normalmente pouco coloridos (escuras ou com tonalidades pouco cromadas e de matizes pouco avermelhados), bem a imperfeitamente drenados, tendo sequências de horizontes A-Bt-C ou A-Bi-C, com ou sem horizonte cálcico, e A-C ou A-R, desde que apresentando caráter carbonático ou horizonte cálcico. (EMBRAPA, 1999).

## PÓLO DE PRODUÇÃO DE OLEAGINOSAS - RN



Fonte: BRASIL, 1968; EMBRAPA, 1971 e EMBRAPA, 2006

**Figura 21.** Mapa de solos compreendendo os municípios do pólo de produção de oleaginosas para biodiesel no RN. Fonte: Zonta (2008).

## 5.5 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em casa de vegetação no Departamento de Solos da UFRRJ, localizado no município de Seropédica, RJ. A torta de mamona de PDS utilizada como adubo orgânico é proveniente da Estação Experimental de Produção de Biodiesel (UEB-2) que pertence à Petrobras/Cenpes, localizada no município de Guamaré, RN.

O substrato para cultivo foi solo da Chapada do Apodi, RN, coletado na profundidade de 0-20 cm, classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico e com reação alcalina (mesmo substrato do estudo de mineralização da torta PDS - Capítulo 3).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sob condições controladas de temperatura e umidade. A mamoneira (*Ricinus communis* L.) e o girassol (*Helianthus annuus* L.) foram cultivados por período de 70 a partir do plantio. Para tal, utilizou-se esquema fatorial (2x5+2), utilizando-se duas formas da torta PDS 2007, cinco doses crescentes de torta, e um tratamento com zero de torta testemunha e outro com adubação mineral NPK. Foram utilizadas três repetições por tratamento, em arranjo experimental em blocos casualizados.

O cultivo da mamoneira foi realizado durante os meses de maio a julho de 2009, e do girassol de junho a agosto do mesmo ano, com período de cultivo total de 70 dias para ambos. Foram semeadas seis sementes por vaso, a 2,0 cm de profundidade, sendo desbastado aos sete dias após a germinação e mantido apenas uma planta por vaso até a coleta. Os genótipos utilizados foram a cultivar Al Guarani para mamoneira e a cultivar Catissol-01 para Girassol.

As unidades experimentais foram vasos plásticos com 3,0 kg de substrato (Figura 22). Os tratamentos foram constituídos por uma testemunha absoluta (zero de torta), outro com adubação mineral (fontes de nitrogênio, fósforo e potássio - NPK), e os demais tratamentos com doses crescentes de torta de mamona PDS “in natura” e tratada (com água destilada na relação 50/200 = m/v). As doses de torta PDS foram de 5, 10, 20, 40 e 80 Mg.ha<sup>-1</sup> equivalendo a 6,25, 12,5, 25, 50 e 100 g por vaso. Essas foram calculadas proporcionalmente ao volume de substrato utilizado por vaso, considerando uma área de 1 ha a profundidade de 20 cm e densidade do solo igual a 1 g cm<sup>3</sup>. As parcelas com adubação mineral receberam o equivalente a 35 kg N, 20 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 kg K<sub>2</sub>O por hectare para mamoneira e 50 kg N, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60 kg K<sub>2</sub>O por hectare para o girassol, com base nas recomendações da (EMBRAPA, 2009) para as culturas.

A torta foi destorroada e peneirada, depois foi adicionado o substrato, assim como os adubos minerais, a mistura foi homogeneizada em saco plástico e colocada nos vasos.



**Figura 22.** Unidade experimental no cultivo da mamoneira em casa-de-vegetação.

### 5.5.1 Determinação de clorofila nas folhas

Antes da coleta das plantas realizou-se a leitura de clorofila na terceira folha no sentido base/ápice, a leitura foi realizada na parte central e inicial do limbo foliar. Para tal, fez-se uso do aparelho conhecido como SPAD modelo Clorofilog CFL 1030 falker (Figura 23).



**Figura 23.** Leitura com SPAD para determinação do teor de clorofila **a** e **b** em folhas da mamoneira.

Na região das folhas onde se fez as leituras retirou-se uma área circular e regular conhecida (com intuito de comparar áreas iguais no tecido da folha). Depois foi imersa em solução de acetona a 80% para extração total da clorofila. A seguir realizaram-se leituras no espectrofotômetro para relacionar o teor de clorofila **a** e **b** por absorbância, conforme indicação do fabricante do aparelho. Após pesagem da matéria fresca, a folha que se realizou as leituras foi separada para determinação do teor de N total. Os teores de clorofila **a** e **b** foram comparados com a leitura do SPAD e com o teor de N total (a partir do extrato da digestão sulfúrica). Os valores obtidos foram correlacionados com as doses de torta PDS aplicadas ao substrato, verificando também se havia correlação entre os três métodos de estimativa de N foliar.

### 5.5.2 A coleta do experimento

A coleta das plantas de girassol e mamona foi semelhante ocorrendo aos 70 DAP. Mediu-se a altura das plantas com auxílio de régua graduada a partir da base (rente ao solo) até o ápice da planta, então, com o auxílio de tesoura de poda, promoveu-se um corte das plantas rente ao substrato, e, realizou-se a pesagem das mesmas em balança digital, com precisão de duas casas modelo Shimadzu ELB300 para determinação do peso da massa fresca das plantas. A parte aérea foi segmentada em folhas e colmo, depois colocadas em sacos de papel com capacidade de 5 kg, e levadas a estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante, para determinação da massa seca. As raízes foram separadas do substrato através da lavagem com água e com auxílio de peneiras.

### 5.5.3 Determinação de parâmetros radiculares

As raízes foram retiradas dos vasos, lavadas com água para remover todo o substrato com auxílio de uma peneira com malha 70 e abertura de 212  $\mu\text{m}$ , depois foram pesadas em balança digital com precisão de duas casas decimais para determinação da massa fresca ou biomassa. Retirou-se 10% da massa das raízes e acondicionou-se em solução de álcool etílico (70%) até o processamento (ZONTA, 2003).

Para obtenção das imagens o sistema radicular foi distribuído sobre uma folha de acetato tamanho “A4” e dispersas com solução de NaOH 0,9%, de forma que não houve sobreposição dos eixos. O excesso da solução foi retirado com auxílio de uma bomba de vácuo. Então a imagem foi digitalizada a 300 dpi e armazenada no formato BMP. Sequencialmente realizou-se o pré-processamento, que consiste na retirada de objetos espúrios gerados na aquisição da imagem com auxílio de um programa de editoração de imagens (ZONTA, 2003).

Os parâmetros área e comprimento foram então determinados com auxílio do programa SIARCS®, e a partir destes, calculou-se o comprimento médio das raízes principais (CMP) e o comprimento médio das raízes laterais (CML), de acordo com as equações 1 e 2, respectivamente. A distância média entre raízes laterais no eixo principal (DMRL) foi obtida pela equação 3 e o número de raízes laterais por eixo principal (NRLP) pela equação 4.

$$\text{CMP} = \text{CRP} / \text{NRP} \quad (1)$$

$$\text{CML} = \text{CRL} / \text{NRL} \quad (2)$$

$$\text{DMRL} = \text{NRL} / \text{CRP} \quad (3)$$

$$\text{NRLP} = \text{NRL} / \text{NRP} \quad (4)$$

O raio médio radicular (RMR) foi calculado através da equação 5, considerando-se que as raízes um segmento cilíndrico.

$$\text{RMR} = \text{ART} / 2\text{pCRT} \quad (5)$$

As reduções relativas de todos os parâmetros avaliados foram calculadas a partir da equação da taxa de alongação relativa (Pintro et al, 1995), modificada (equação 6):

$$\text{RR}_Y = (yT_x / yT_o) * 100 \quad (6)$$

Onde,  $\text{RR}_Y$  é a redução relativa do parâmetro,  $yT_x$  é o valor absoluto do parâmetro de um determinado tratamento e  $yT_o$  é o valor absoluto do parâmetro na testemunha absoluta.

O volume radicular foi determinado segundo o método da proveta, que consiste na adição das raízes em um tubo cilíndrico de PVC contendo água e por diferença da água que cai na proveta em decorrência do volume ocupado por elas, determina-se por diferença o volume das raízes, utilizou-se 10% da massa nessa determinação, e a partir desse valor, foi estimado o volume total das raízes da mamona e do girassol.

#### 5.5.4 Análise do material vegetal

Após secagem, as amostras foram pesadas e posteriormente moídas para determinação dos teores totais dos elementos N, P, K, Ca, Mg e Na da parte aérea e raiz, através de digestão sulfúrica e/ou nitroperclórica, conforme metodologia postulada por TEDESCO et al. (1995). Para determinação do N total utilizou-se a destilação do extrato e titulação com  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ , com indicador ácido bórico. O P foi determinado por espectrofotometria, o K e o Na, foram determinados através do fotômetro de chama. Em relação ao Ca e Mg, foram determinados por espectrometria de absorção atômica. A partir destes valores determinou-se a relação dos nutrientes da raiz por parte aérea (R/PA) de acordo com metodologia postulada por MARQUES et al. (2000).

#### 5.5.5 Análises de solo

Para realização de análise física (densidade do solo), coletou-se a profundidade de 0-10 cm em cada vaso, com uso de anel volumétrico de bordas cortantes, uma amostra indeformada, e, realizou-se a pesagem da massa do substrato (peso úmido) em balança de precisão de duas casas, para tal, fez-se o uso de um recipiente metálico (cadinho), sendo

descontado sua massa ao final, a seguir levou-se a estufa de circulação forçada a temperatura de 105 °C por 24 h (até peso constante), para quantificar a massa do substrato, sendo este valor dividido pelo volume total do anel, obtendo-se assim a densidade do substrato de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997). Através da metodologia do balão volumétrico, determinou-se a densidade das partículas, e, de posse deste valor obtido e da densidade do solo aplicando a equação, obteve-se o volume total de poros para cada tratamento, de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997).

Coletou-se também uma amostra simples de cada unidade experimental, e formou-se uma amostra composta para cada tratamento, com objetivo de realizar análises químicas para avaliação da fertilidade após o cultivo da mamona e do girassol. Foram determinados os teores de P assimilável, K, Ca, Mg, Al e (H + Al) e Na trocáveis de acordo com metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). De posse destes valores, calculou-se os valores S, T, V%, Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Percentagem de Saturação por Sódio (PST).

### **5.5.6 Estatística**

Foram realizadas testes de homogeneidade e normalidade dos dados, análise de variância e testes de médias aplicando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade, com a utilização do programa estatístico SAEG 9.1 (EUCLYDES, 1983). Não foi realizado transformação dos dados.

O experimento foi avaliado como fatorial (dois fatores tipo e dose de torta). Para fins de análise estatística, a dose zero (testemunha) e adubação mineral com NPK, foram repetidas junto a cada tipo de torta, para efeito comparativo apenas para o fator dose, pois nestes tratamentos não foi aplicado nenhum tipo de torta.

## 5.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.6.1 Avaliação das variáveis fenológicas em plantas de mamona

Na comparação entre torta de mamona PDS “in natura”, tratada e adubação mineral com NPK (Tabela 21). Observou-se maior altura, ganho de massa fresca e seca na parte aérea da mamoneira, proporcionais a maior dose de torta PDS aplicada, independente do tipo de torta. Na altura da parte aérea, observou-se aumento a partir da dose de 10 até a de 80 Mg ha<sup>-1</sup> tanto para torta “in natura” quanto para torta tratada.

Na massa fresca parte aérea, destacaram-se as doses de 20, 40 e 80 Mg ha<sup>-1</sup> sendo as médias estatisticamente superiores as demais. Em relação ao tipo de torta, não houve diferença significativa entre os tratamentos. O maior incremento em relação ao ganho de massa seca ocorreu nas doses de 20, 40 e 80 Mg ha<sup>-1</sup> na torta “in natura” e tratada, com destaque para dose de 80 Mg ha<sup>-1</sup> da torta tratada.

**Tabela 21.** Comparação entre torta PDS “in natura” (IN), tratada (TT) e adubação mineral (NPK), em relação às variáveis: altura, massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) na mamoneira.

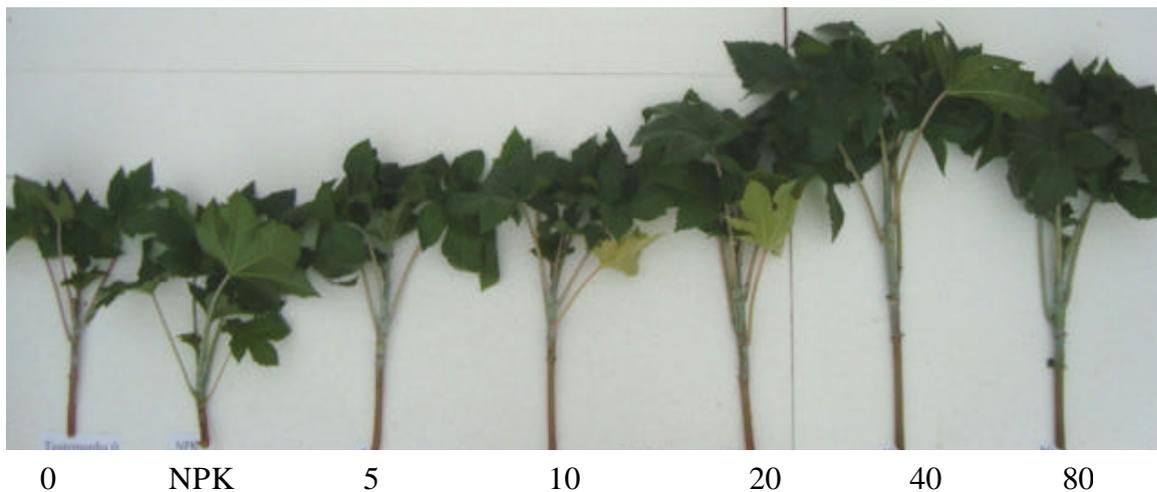
Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Altura (cm)		MFPA (g)		MSPA (g)	
	IN	TT	IN	TT	IN	TT
NPK	28,33 B	28,33 B	25,86 C	25,86 C	3,74 CD	3,74 CD
0	27,50 B	27,50 B	20,85 C	20,85 C	3,40 CD	3,40 CD
5	28,50 Ba	32,83 Ba	28,54 BCa	35,37 BCa	3,90 CDa	4,63 BCa
10	32,83 Ba	36,67 Aa	33,48 BCa	35,88 BCa	4,79 BCa	4,75 BCa
20	33,73 Aa	39,50 Aa	38,98 ABa	47,58 ABa	5,20 ABCa	6,24 ABa
40	36,50 Aa	37,00 Aa	49,24 Aa	51,74 Aa	6,70 Aa	7,13 Aa
80	39,33 Aa	38,50 Aa	50,84 Aa	59,77 Aa	6,59 ABb	7,91 Aa
<b>C.V. (%)</b>	13,18		14,93		14,03	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa na comparação entre médias de doses da torta, e, minúsculas na linha comparação entre médias para os tipos de torta, através do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

De maneira geral, para as variáveis analisadas, observaram-se maior ganho ou incremento proporcionais as doses de torta aplicadas como ilustram as Figuras 24 e 25.

Observando as figuras, notam-se diferenças ou efeitos promovidos pelas doses crescentes de torta aplicada. O maior destaque, são para as doses de 40 e 80 Mg ha<sup>-1</sup> independente da forma ou estado da torta, mas, observou-se que, a torta tratada promoveu melhores resultados, principalmente em relação ao ganho de peso da massa fresca e seca da parte aérea.

Comparando os resultados observados por FREITAS (2009), avaliando doses de torta PDS em solo ácido contaminado e não contaminado com hidrocarbonetos, indicaram ganhos de crescimento, com o aumento das doses até a dose de 40 Mg ha<sup>-1</sup> em solo não contaminado, sendo que, a dose de 80 Mg ha<sup>-1</sup> promoveu declínio no crescimento das plantas de mamona. No entanto, em substrato alcalino observou-se ganhos na massa fresca e seca da parte aérea até a dose máxima testada, para mamoneira. Este autor também observou ganhos em relação à altura das plantas proporcionais as doses crescentes, mas, somente até a dose de 40 Mg ha<sup>-1</sup>. Esses resultados não estão totalmente de acordo com os observados no presente estudo, pois para a altura, a dose de 80 Mg ha<sup>-1</sup> promoveu ganhos, apesar de não significativos entre as maiores doses.



**Figura 24.** Plantas de mamona cultivadas sob doses crescentes de torta de mamona PDS “in natura” ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ).



**Figura 25.** Plantas de mamona cultivadas sob doses crescentes de torta de mamona PDS tratadas ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ).

NASCIMENTO et al. (2008), avaliando a influência das doses crescentes da torta de mamona, obtida por processo tradicional de extração do óleo, em substrato de um neossolo regolítico de textura franco-arenosa, observaram ganhos de massa seca e altura até 4% (v/v) de torta aplica, que equivale a  $24 \text{ Mg ha}^{-1}$ , doses acima desta, promoveram efeitos deletérios as plantas, não corroborando com o comportamento observado para torta de PDS em substrato alcalino de maneira geral.

As plantas de mamona se mostraram bem vigorosas ao longo do período de cultivo, enfatizando a qualidade da torta como fornecedora de nutrientes, além de outras vantagens promovidas por esse material orgânico (Figura 26).



**Figura 26.** Experimento da mamoneira cultivada em casa de vegetação (condições controladas).

### 5.6.2 Avaliações radiculares na mamoneira

Os resultados observados para comprimento e volume radicular não foram estatisticamente significativos, sendo, observado diferença apenas para o tipo de torta tratada na dose de 40 Mg.ha<sup>-1</sup> na área radicular (Tabela 22). Em relação às doses de torta aplicadas, não foi observado diferença significativa independente da dose ou fonte de nutrientes (orgânica ou mineral). Portanto, o efeito das doses sobre essas variáveis não foram significativos entre os tratamentos.

**Tabela 22.** Comparação entre doses crescentes da torta de mamona PDS “in natura”, tratada e adubação mineral com NPK na cultura da mamoneira. Variáveis: área, comprimento e volume radicular.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	área (cm <sup>2</sup> )		comprimento (m)		volume (mL)	
	IN	TT	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	1011 A	1011 A	46,22 A	46,22 A	20,11 A	20,11 A
<b>0</b>	995 A	995 A	45,63 A	45,63 A	16,70 A	16,70 A
<b>5</b>	1083 Aa	1058 Aa	48,94 Aa	48,83 Aa	18,77 Aa	14,56 Aa
<b>10</b>	1127 Aa	957 Aa	46,32 Aa	42,85 Aa	19,54 Aa	21,07 Aa
<b>20</b>	1042 Aa	1139 Aa	38,98 Aa	45,38 Aa	19,83 Aa	20,50 Aa
<b>40</b>	1020 Ab	1604 Aa	49,24 Aa	43,62 Aa	20,70 Aa	21,07 Aa
<b>80</b>	1538 Aa	1818 Aa	50,84 Aa	62,22 Aa	26,34 Aa	24,90 Aa
<b>C.V. (%)</b>	28,98		27,79		14,03	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

### 5.6.3 Clorofilas, teor de nitrogênio total na folha e leitura do SPAD

Na Tabela 23 são apresentados os valores de N total nas plantas de mamona, em relação ao tipo de torta, doses aplicadas de torta e adubação mineral NPK, além dos teores de clorofila **a** e **b**, leitura do SPAD na folha 3 da mamoneira. De forma geral, observou-se que os teores de N total e a leitura do SPAD se relacionaram de forma significativa e proporcional com as doses de torta aplicada. Maior destaque é dado para as doses de 40 e 80 Mg ha<sup>-1</sup>, e, em relação ao tipo de torta, foram observadas diferenças significativas para torta “in natura” em

comparação com a torta tratada para maior dose aplicada, apenas para as leituras de clorofila. SEVERINO (2005), avaliando o uso da torta de mamona no cultivo da mamoneira em solo compactado, observou correlação entre teores de clorofila nas folhas de mamona, e o teor de N, com maior contribuição para maior dose de torta aplicada, sendo justificável, pois este produto contém expressivas concentrações de nitrogênio, comparado a outros adubos orgânicos.

**Tabela 23.** Comparação entre distintos métodos de estimativa de N em tecido vegetal, relacionando com doses e tipo ou estado da torta aplicada. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Clorofila a		Clorofila b		SPAD		N <sub>total</sub> folha 3	
	----- (µg cm <sup>-2</sup> ) -----				(adimensional)		----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----	
	IN	TT	IN	TT	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	34 B	34 B	14 B	14 B	47 B	47 B	64 A	64 A
<b>0</b>	30 B	30 B	13 B	13 B	44 B	44 B	50 AB	50 AB
<b>5</b>	31 Ba	23 Ba	17 ABa	14 Bb	49 Ba	44 Ba	59 Aa	45 Ba
<b>10</b>	30 Ba	22 Ba	15 Ba	12 Bb	49 Ba	43 Ba	61 Aa	49 Ba
<b>20</b>	29 Ba	32 Ba	15 Ba	14 Ba	47 Ba	49 Ba	58 Aa	62 Aa
<b>40</b>	31 Ba	30 Ba	14 Ba	14 Ba	51 Ba	50 Ba	65 Aa	62 Aa
<b>80</b>	45 Aa	30 Bb	18 Aa	15 Bb	58 Aa	56 Aa	69 Aa	73 Aa
<b>C.V. (%)</b>	16,7		11,61		7,10		14,31	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Quanto às leituras com o SPAD, quando correlacionada com o teor de N na folha, resposta significativa foi observada apenas para a maior dose de torta adicionada ao substrato, não ocorrendo diferenças significativas para o tipo de torta.

Com relação ao N total na terceira folha da mamoneira, sentido ápice/base, não houve diferença estatística em relação às doses para torta “in natura”, sendo destacado apenas na torta tratada nas doses de 20, 40 e 80 Mg ha<sup>-1</sup>. Entretanto, não foram evidenciadas diferenças significativas em relação ao tipo de torta aplicada.

Foram detectadas diferenças significativas em relação ao tipo de torta, apenas nas leituras de clorofila, observou-se que na torta tratada foram obtidos menores valores em relação à torta “in natura”, para maior dose de torta aplicada. Assim, pode ser deduzido que na lavagem da torta se perde parte do N presente no material, todavia, não detectado através da leitura do SPAD e N total na folha 3 que não apresentaram diferença significativa para o tipo de torta.

#### 5.6.4 Análise dos teores totais de NPK no tecido vegetal

Os teores de NPK são apresentados na Tabela 24. Em relação ao N observa-se que, houve influencia das doses de maneira significativa para o N acumulado nas raízes da mamoneira, sendo maior quanto maior a dose de torta aplicada. No que diz respeito ao tipo de torta para este elemento (N), apenas na dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup> a torta tratada foi superior a torta “in natura”.

**Tabela 24.** Teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) presente nas raízes da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	N		P		K	
	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----					
	IN	TT	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	28,52 BC	28,52 BC	2,31 A	2,31 A	27,3 AB	27,3 AB
<b>0</b>	25,43 C	25,43 C	2,03 AB	2,03 AB	20,0 B	20,0 B
<b>5</b>	30,8 BCa	25,5 Cb	2,2 ABa	2,5 ABa	16,7 Bb	25,0 ABa
<b>10</b>	29,0 BCa	29,0 BCa	2,4 Aa	2,8 ABa	28,3 ABa	35,0 Aa
<b>20</b>	27,0 BCb	33,0 ABa	2,4 Aa	2,7 ABa	31,6 Aa	31,6 Aa
<b>40</b>	33,0 Ba	30,0 BCa	2,4 Aa	2,6 ABa	24,3 ABa	30,0 ABa
<b>80</b>	42,0 Aa	41,0 Aa	1,5 Bb	2,9 Aa	20,3 Ba	26,0 ABa
<b>C.V. (%)</b>	9,80		13,20		16,00	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Os teores de P acumulado nas raízes destacam-se a maior dose de torta PDS tratada, sendo também superior a torta de PDS “in natura”, porém, não apresentou efeito significativo na comparação com adubação mineral (NPK). Para o elemento K, em geral, não foi observado relação direta entre as maiores doses de torta PDS e os teores acumulados nas raízes da mamoneira. Na parte aérea da mamona (Tabela 25), os teores médios de N e K foram superiores quando comparados ao acumulado nas raízes, e apresentaram diferenças de comportamento no acúmulo.

O N não apresentou diferença significativa na torta “in natura” para dose tão pouco para o tipo de torta, porém, na torta tratada este elemento se mostrou significativo para as três maiores doses de torta PDS. FREITAS (2009), avaliou a influência das doses de torta PDS em solo ácido contaminado ou não com hidrocarbonetos, observaram maior ganho nos teores totais de N na parte aérea das plantas de mamona na dose de 40 Mg ha<sup>-1</sup>, para os dois tipos de solo, mas, não sendo significativo. Na torta tratada, esse mesmo elemento foi significativo em relação às três maiores doses da torta, sendo iguais para os tipos de torta.

Para os teores médios de P na torta “in natura” em função das doses, seus valores foram significativamente menores somente para a maior dose aplicada. Particularmente na torta tratada o teor de P foi superior na maior dose de torta aplicada, sendo assim, significativa em relação à torta “in natura”. Se comparados os tipos de torta, na torta tratada estes valores foram sempre superiores em comparação com a torta “in natura” e de forma significativa para as doses de 5 a 80 Mg.ha<sup>-1</sup>. Para os teores de P totais acumulado FREITAS (2009), não observou correlação entre as doses crescentes aplicadas e o incremento desse elemento na parte aérea da mamoneira, o que corrobora com estes dados.

O K se mostrou indiferente as doses se comparado o tipo de torta. Todavia, as maiores doses da torta tratada aplicadas proporcionaram maior acúmulo desse elemento na parte aérea da mamoneira. Resultados semelhantes foram observados por FREITAS (2009), entre as doses crescentes de torta o acúmulo de K na parte aérea da mamoneira.

**Tabela 25.** Teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) presentes na parte aérea (colmo + folha) da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	N		P		K	
	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----					
	IN	TT	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	64 A	64 A	2,7 A	2,7 A	42 A	42 A
<b>0</b>	50 A	50 A	3,2 A	3,2 A	41 B	41 B
<b>5</b>	59 Aa	45 Ba	2,7 Ab	3,2 Aa	42 Aa	43 Aa
<b>10</b>	61 Aa	49 Ba	2,7 Aa	3,1 Aa	45 Aa	45 Aa
<b>20</b>	58 Aa	62 Aa	2,7 Aa	2,9 Aa	48 Aa	47 Aa
<b>40</b>	65 Aa	62 Aa	2,7 Aa	2,9 Aa	49 Aa	50 Aa
<b>80</b>	69 Aa	73 Aa	1,9 Bb	3,1 Aa	47 Aa	52 Aa
<b>C.V. (%)</b>	14,23		11,25		8,36	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Os teores médios de Ca e Mg (Tabela 26) foram maiores na parte aérea da mamoneira, da mesma forma que para o P, e dos teores de N e K na parte aérea, que também se apresentaram elevados em relação aos teores acumulados nas raízes (Tabela 24 e 25).

Os teores de Ca e Mg na parte aérea não apresentaram diferenças significativas tanto para dose quanto para o tipo de torta, corroborando com resultados observados por FREITAS (2009), que não encontrou relação positiva com uso da torta sob doses crescentes de torta PDS no acúmulo desses elementos.

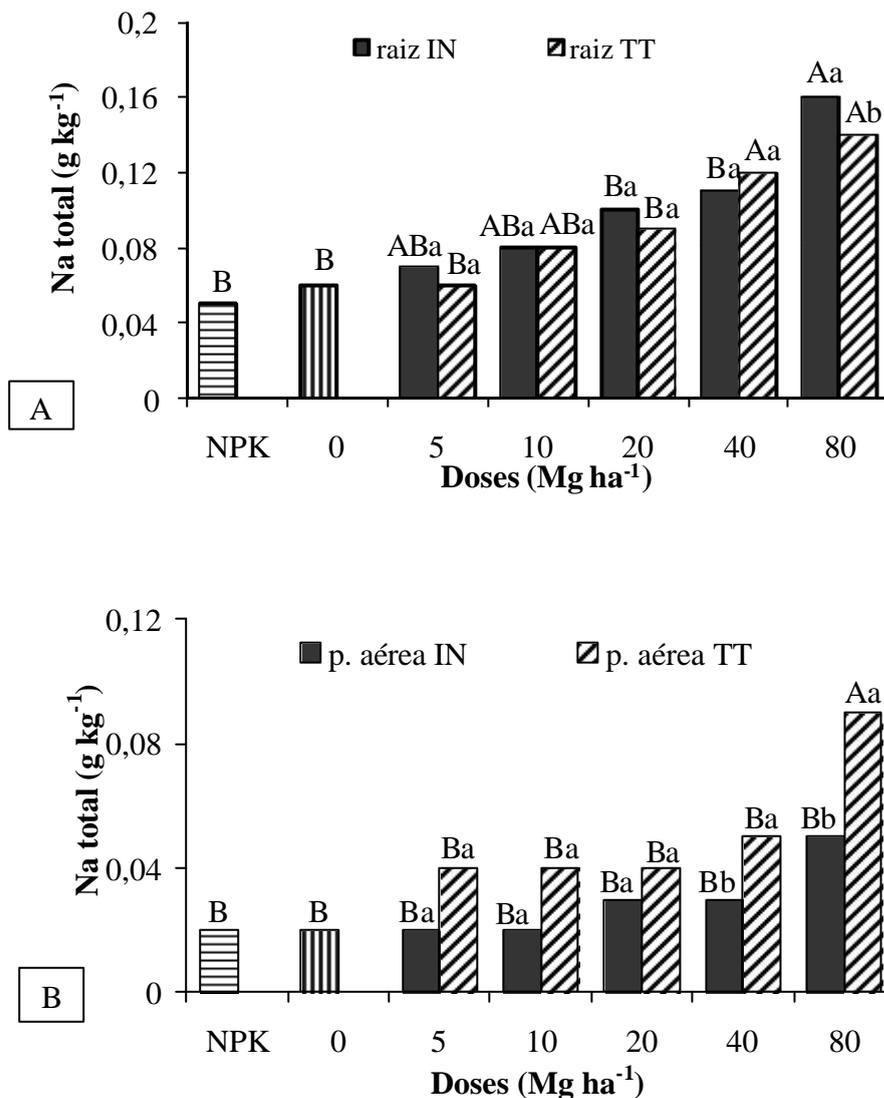
Nas raízes, em relação ao Ca na torta “in natura” não houve diferença para doses, apenas para o tipo de torta, na dose de 80 Mg ha<sup>-1</sup>, onde a torta “in natura” proporcionou teores maiores acumulados. Também, foram superiores os teores médios de Mg nas raízes para maior dose de torta aplicada, e de maneira geral a torta tratada foi superior a torta “in natura” no acúmulo desse elemento.

**Tabela 26.** Teores totais de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio (Mg<sup>2+</sup>) nas raízes e parte aérea da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Raiz				Parte aérea			
	Ca		Mg		Ca		Mg	
	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----							
	IN	TT	IN	TT	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	7,83 A	7,83 A	7,80 A	7,80 A	18,30 A	18,30 A	4,96 A	4,96 A
<b>0</b>	7,80 A	7,80 A	6,10 B	6,10 B	14,10 A	14,10 A	4,76 A	4,76 A
<b>5</b>	8,26 Aa	7,53 Aa	6,30 Ba	7,20 Ba	15,10 Aa	15,80 Aa	4,70 Aa	4,73 Aa
<b>10</b>	7,60 Aa	7,60 Aa	6,50 Bb	8,20 Aa	13,60 Aa	15,40 Aa	4,96 Aa	4,63 Aa
<b>20</b>	7,60 Aa	6,40 Aa	8,70 Aa	7,50 Ba	14,20 Aa	14,40 Aa	4,83 Aa	4,43 Aa
<b>40</b>	7,30 Aa	4,90 Aa	6,70 Bb	8,50 Aa	14,20 Aa	15,00 Aa	5,50 Aa	5,20 Aa
<b>80</b>	8,03 Aa	5,30 Ab	8,90 Aa	9,30 Aa	20,20 Aa	16,20 Aa	5,83 Aa	5,63 Aa
<b>C.V. (%)</b>	19,87		11,31		16,96		11,46	

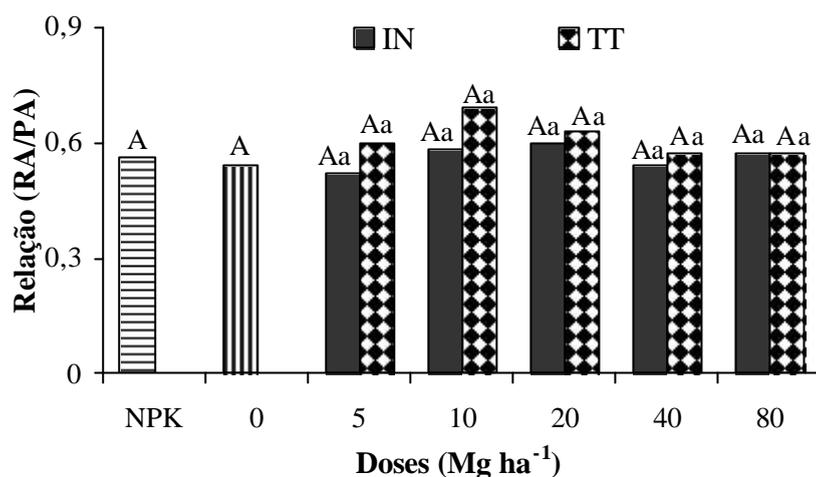
Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Comportamento contrário foi observado para o elemento  $\text{Na}^+$ , que apresentou maior acúmulo nas raízes da mamoneira, quando comparado com a parte aérea (Figura 27), sendo que, as maiores doses de torta aplicada proporcionaram maior acúmulo tanto nas raízes como na parte aérea, com destaque para dose de  $80 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Nas raízes a torta “in natura” promoveu maior teor de sódio em relação à torta tratada. Já na parte aérea, as plantas apresentaram comportamento contrário, ou seja, a torta tratada promoveu maior acúmulo de sódio na parte aérea para maior dose de torta aplicada ao substrato.



**Figura 27.** Teores totais de sódio ( $\text{Na}^+$ ) nas raízes (A) e na parte aérea (B), na mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições.

O maior acúmulo dos elementos N, P, K, Ca e Mg na mamoneira de maneira geral, foi observado na parte aérea em comparação com as raízes, o que pode ser reforçado pela relação raiz/parte aérea (RA/PA) - (Figura 28). Quanto maior o teor dos elementos nas raízes, maior será o valor dessa relação, ou seja, a relação é diretamente proporcional aos teores dos elementos observados nas raízes.



**Figura 28.** Relação raiz/parte área dos teores totais presentes mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições.

Foram observados menores valores nesta relação, reforçando o que já havia relatado anteriormente, onde, para maioria dos elementos, houve maior acúmulo na parte aérea das plantas, mas não diferindo de forma significativa, independente das doses ou tipo de torta.

### 5.6.5 Análises físicas do substrato após o cultivo da mamoneira

Em relação aos valores observados de densidade do substrato após o cultivo da mamona, não houve diferença significativa entre tratamentos (Tabela 27). Essa tendência nos valores pode ser interpretada pelo curto tempo de ação entre o material orgânico e o substrato, para formação de substâncias mais estáveis no solo como huminas, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, principalmente a primeira que requer mais tempo para ser formada.

A unidade ( $\text{Mg m}^3$ ) usada para representar a densidade do solo na Tabela 27 tem relação direta de 1:1 com a unidade ( $\text{g cm}^3$ ) que está em desuso ou é menos usada atualmente.

**Tabela 27.** Densidade e volume total de poros (VTP) do substrato, após o cultivo da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Densidade do solo		VTP	
	----- (Mg m <sup>3</sup> ) -----		----- (%) -----	
	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	1,21 A	1,21 A	50,34 A	50,34 A
<b>0</b>	1,27 A	1,27 A	47,94 A	47,94 A
<b>5</b>	1,20 Aa	1,13 Aa	50,96 Aa	54,48 Aa
<b>10</b>	1,17 Aa	1,21 Aa	52,64 Aa	49,73 Aa
<b>20</b>	1,06 Ba	1,15 Aa	55,63 Aa	52,48 Aa
<b>40</b>	1,16 Aa	1,22 Aa	49,25 Aa	51,80 Aa
<b>80</b>	1,13 Aa	1,23 Aa	49,29 Aa	52,59 Aa
<b>C.V. (%)</b>	6,43		6,42	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

A principal característica física do solo afetado pela matéria orgânica é a agregação. A partir do seu efeito sobre a agregação do solo, indiretamente são afetadas as demais características físicas do solo, como a densidade, a aeração, a capacidade de retenção e a infiltração de água, entre outras, que são fundamentais á capacidade produtiva do solo (BAYER & MIELNICZUK, 2008).

### 5.6.6 Análise química do substrato após o cultivo

No substrato após o cultivo da mamona, não foi observado diferença significativa nos teores trocáveis de cálcio, magnésio e potássio, tanto para o fator dose quanto para o tipo de torta. Foram observadas diferenças significativas para o fósforo extraível (Tabela 28). A dose máxima testada de 80 Mg.ha<sup>-1</sup> foi superior para ambas as tortas de PDS em relação a quantidade residual de P no substrato, porém a torta “in natura” foi superior na mesma dose para esse elemento.

Para os elementos Ca, Mg, e K não houve efeito residual significativo, observado o local de cultivo, vasos contendo apenas 2,5 kg de substrato, e com um volume muito grande de raízes o explorando, pode-se justificar esse comportamento, onde estas bases são disponibilizadas pela torta e pelo próprio substrato, sendo estas rapidamente absorvidas.

**Tabela 28.** Teores trocáveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo assimilável (P) no substrato após o cultivo da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Ca		Mg		K		P	
	----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----				----- (mg kg <sup>-1</sup> ) -----			
	IN	TT	IN	TT	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	4,0 A	4,0 A	1,7 A	1,7 A	13 A	13 A	2 AB	2 AB
<b>0</b>	4,0 A	4,0 A	1,6 A	1,6 A	13 A	13 A	2 AB	2 AB
<b>5</b>	4,0 Aa	3,9 Aa	1,6 Aa	1,6 Aa	12 Aa	13 Aa	2 ABa	2 ABa
<b>10</b>	4,2 Aa	4,1 Aa	1,6 Aa	1,6 Aa	12 Aa	12 Aa	2 ABa	3 ABa
<b>20</b>	4,3 Aa	4,0 Aa	2,1 Aa	1,8 Aa	13 Aa	13 Aa	3 ABa	4 Ba
<b>40</b>	3,8 Aa	3,8 Aa	1,8 Aa	2,0 Aa	13 Aa	13 Aa	4 Ba	4 Ba
<b>80</b>	4,1 Aa	3,9 Aa	2,4 Aa	2,4 Aa	14 Aa	14 Aa	7 Ab	11 Aa
<b>C.V. (%)</b>	9,28		19,30		5,44		18,75	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Os teores médios residuais de sódio após o cultivo apresentaram-se de forma proporcional à maior dose de torta PDS, o que resultou em resposta similar para relação de adsorção de sódio e a porcentagem de saturação desse elemento em relação a Ca e MG (Tabela 29). Nas duas últimas variáveis citadas, também houve diferença significativa para as duas maiores doses de torta, tanto na “in natura” quanto na tratada.

**Tabela 29.** Comparação entre teores trocáveis de sódio, relação de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de saturação por sódio (PST) no substrato após o cultivo da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Na		RAS		PST	
	----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----					
	IN	TT	IN	TT	IN	TT
NPK	0,014 B	0,014 B	0,035 B	0,035 B	0,24 B	0,24 B
0	0,015 B	0,015 B	0,037 B	0,037 B	0,26 B	0,26 B
5	0,015 Bb	0,017 Ba	0,038 Ba	0,038 Ba	0,27 Ba	0,26 Ba
10	0,016 Ba	0,015 Ba	0,036 Ba	0,037 Ba	0,26 Ba	0,25 Ba
20	0,018 Ba	0,019 Ba	0,038 Ba	0,040 Ba	0,27 Ba	0,30 Ba
40	0,023 Ba	0,022 Ba	0,045 Aa	0,044 Aa	0,37 Aa	0,35 ABa
80	0,031 Aa	0,028 Ab	0,049 Aa	0,047 Aa	0,43 Aa	0,40 Aa
C.V. (%)	3,99		5,17		9,95	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Apesar do aumento proporcional, para maior quantidade de torta, os teores médios são considerados baixos. Em curto prazo podem não limitar o uso da torta (tratada ou não) como fertilizante orgânico, para os dois tipos de torta como já discutido para outras variáveis, e, observou-se ganho proporcional a maior quantidade de torta usada. Todavia, em nível de campo devem ser feitos mais estudos, avaliando o acúmulo ao longo dos anos de cultivo, para verificar o possível efeito residual no solo, e proporcionar maior segurança na aplicação, principalmente em solos que já possuem uma quantidade expressiva deste elemento.

Em relação aos valores médios de acidez potencial, soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação por bases (Tabela 30), apresentaram variações direta ou inversamente proporcionais as quantidades de torta aplicadas ao substrato.

A acidez potencial tendeu a aumentar em função do aumento das doses para ambas as tortas, porém, comparada as tortas na mesma dose, esta variável não apresentou diferenças.

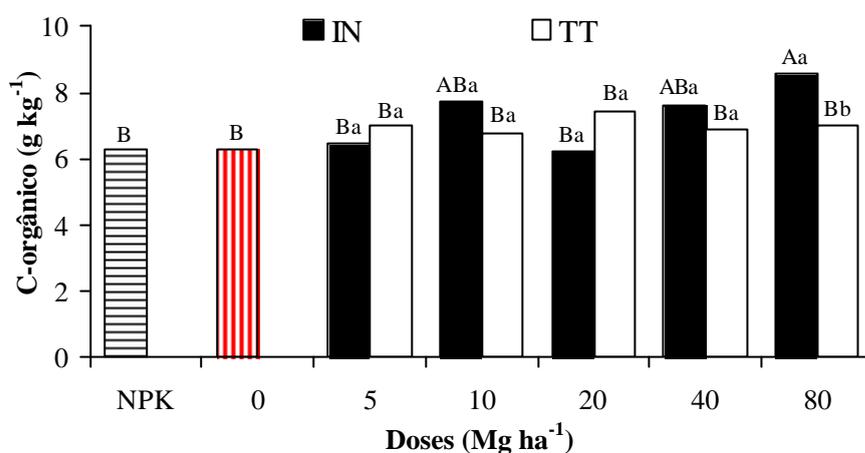
**Tabela 30.** Valores médios de acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (T) e saturação por bases (V) no substrato após o cultivo da mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	H+Al		S		T		V	
	----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----							
	IN	TT	IN	TT	IN	TT	IN	TT
NPK	0,16 B	0,16 B	5,88 A	5,88 A	6,04 AB	6,04 AB	97,76 A	97,76 A
0	0,08 B	0,08 B	5,65 A	5,65 A	5,73 B	5,73 B	98,51 A	98,51 A
5	0,16 Ba	0,16 Ba	5,71 Aa	5,71 Aa	5,88 ABa	5,87 ABa	97,15 Aa	97,14 Aa
10	0,11 Ba	0,27 ABa	5,91 Aa	5,74 Aa	6,02 ABa	6,01 ABa	98,16 Aa	95,40 Aa
20	0,33 Ba	0,55 Aa	6,55 Aa	5,92 Aa	6,88 ABa	6,47 ABa	94,81 Ba	91,58 Ba
40	0,38 ABa	0,38 ABa	5,75 Aa	5,92 Aa	6,14 ABa	6,31 ABa	93,73 Ba	93,90 Ba
80	0,71 Aa	0,55 Aa	6,56 Aa	6,39 Aa	7,28 Aa	6,95 ABa	89,88 Ba	92,10 Ba
CV (%)	30,46		10,01		9,13		2,19	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Não foram observadas diferenças significativas em relação à soma de bases, independente das doses ou tipo da torta. Entretanto, na capacidade de troca de cátions, ocorreu diferença significativa na dose máxima de torta “in natura” em relação aos demais tratamentos. Todavia, o comportamento para saturação por bases foi inverso às maiores doses de torta aplicadas. O solo naturalmente já possuía alta saturação por bases, como se observa na dose zero ou testemunha absoluta. Isso foi resultado do aumento da acidez potencial.

Para os teores médios de carbono orgânico total no substrato após o cultivo da mamona (Figura 29), foram observadas diferenças significativas por efeito da dose e tipo de torta. A dose de 80 Mg ha<sup>-1</sup> de torta “in natura” foi superior quanto acúmulo de carbono ao final do cultivo, quando comparado com a mesma dose de torta tratada.

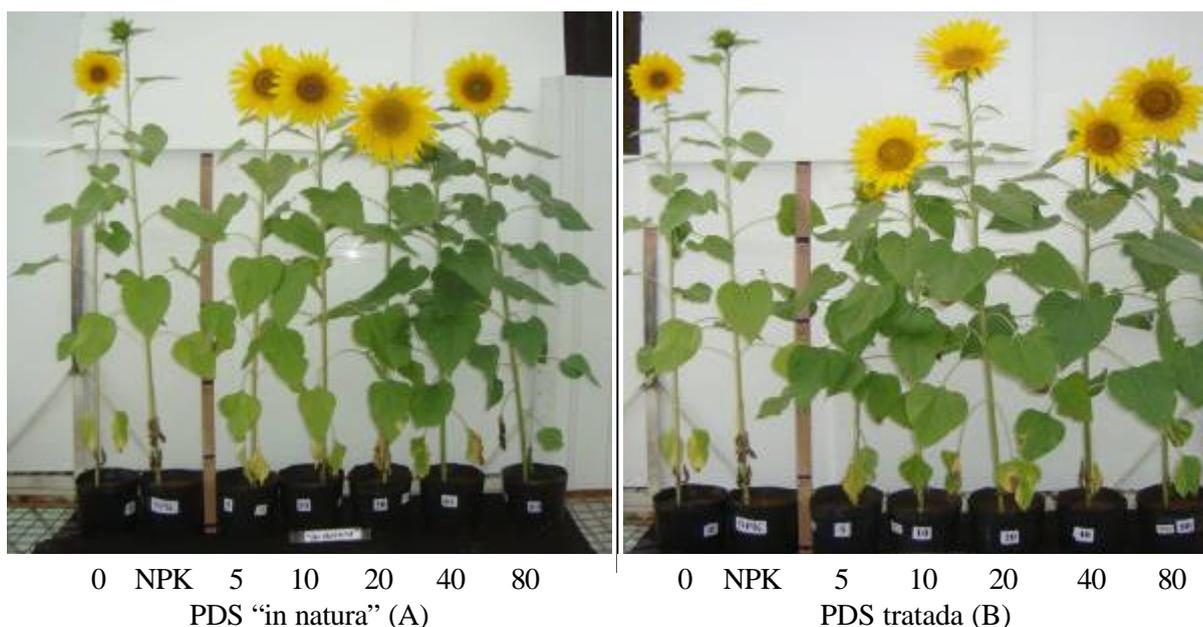


**Figura 29.** Teor carbono orgânico total no substrato após o cultivo da mamona. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições.

### 5.6.7 Avaliação das variáveis fenológicas em plantas de girassol

Pode-se visualizar na Figura 30 diferenças entre as plantas de girassol em função das doses crescentes de torta de mamona, as plantas se mostram com maior vigor e coloração verde mais intensa. Observa-se também, maior tamanho dos capítulos, onde se aplicou a torta de mamona, comparado aos tratamentos com zero de torta (testemunha) e adubação mineral com (NPK).

Na avaliação das variáveis fenológicas (altura, massa fresca e seca da parte aérea), representadas na Tabela 31, constatou-se diferenças significativas em relação às diferentes doses de torta PDS, exceto para a altura da parte aérea, que não apresentou diferenças significativas. Avaliando o efeito das doses crescentes de torta de mamona PDS em um Planossolo, também cultivando girassol, FREITAS (2009), observou incremento na altura das plantas de forma linear proporcional ao aumento das doses. Neste caso, não se observou diferenças para o cultivo do girassol em substrato alcalino. Em contrapartida, a maior dose de torta, promoveu ganhos significativos para a variável ganho de matéria fresca, independente do tipo de torta.



**Figura 30.** Plantas de girassol após 70 dias de cultivo, sob doses crescentes de torta de mamona PDS “in natura” (A) e tratada (B).

**Tabela 31.** Comparação entre torta PDS “in natura” (IN), tratada (TT) e adubação mineral (NPK), em relação às variáveis: altura, massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) no girassol.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	altura (cm)		mfpa (g)		mspa (g)	
	IN	TT	IN	TT	IN	TT
NPK	110,67 A	110,67 A	125,77 D	125,77 D	19,23 B	19,23 B
0	113,00 A	113,00 A	116,86 D	116,86 D	16,60 B	16,60 B
5	110,33 Aa	97,33 Aa	129,30 Da	137,65 CDa	13,81 Bb	22,25 Ba
10	107,33 Aa	104,00 Aa	142,72 CDb	179,18 CBa	20,14 Ba	25,07 Ba
20	120,67 Aa	124,33 Aa	184,13 BCa	173,61 CBa	24,96 Aa	26,74 Aa
40	95,00 Aa	124,33 Aa	188,62 Ba	207,83 ABa	25,89 Aa	26,47 Aa
80	112,33 Aa	112,33 Aa	246,09 Aa	223,90 Aa	30,64 Aa	32,05 Aa
C.V. (%)	14,93		10,08		15,79	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

São observadas diferenças significativas nas maiores doses de torta tanto “in natura” quanto tratada também para massa seca. Portanto, o fator dose favoreceu positivamente o aumento da biomassa na cultura do girassol. Esses dados são corroborados pelos de FREITAS (2009), que observou incremento na massa da parte aérea das plantas de girassol até a dose intermediária de 40 Mg.ha<sup>-1</sup>. Esse mesmo comportamento da massa seca do girassol, já foi evidenciado nas plantas de mamona, onde se observou, aumento de biomassa até a dose máxima de 80 Mg.ha<sup>-1</sup>, reforçando a eficiência dessa fonte orgânica de nutrientes.

### 5.6.8 Avaliações radiculares no girassol

Em se tratando das raízes do girassol, para as variáveis analisadas, as doses ou tipo de torta não promoveram efeitos significativos para massa fresca de raiz, área, comprimento e

volume radicular (Tabela 32). Assim sendo, como observado para a mamoneira, não ocorreu efeito correlacionado com o aumento das doses e também do tipo de torta PDS testada.

**Tabela 32.** Comparação entre doses crescentes da torta PDS “in natura” (IN), tratada (TT) e adubação mineral com NPK na cultura do girassol. Variáveis: área, comprimento, volume radicular e massa fresca de raiz (mfra).

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )		Comprimento (m)		Volume (mL)		MFRA (g)	
	IN	TT	IN	TT	IN	TT	IN	TT
NPK	1908 A	1908 A	129,19 A	129,19 A	43,0 A	43,0 A	40,84 A	40,84 A
0	1683 A	1683 A	125,85 A	125,85 A	29,7 A	29,7 A	31,85 A	31,85 A
5	1698 Aa	1744 Aa	102,70 Aa	141,41 Aa	26,7 Aa	37,3 Aa	26,06 Aa	35,38 Aa
10	1561 Aa	2278 Aa	112,84 Aa	168,40 Aa	28,3 Aa	47,0 Aa	27,92 Aa	44,59 Aa
20	1561 Aa	2307 Aa	114,83 Aa	175,36 Aa	31,0 Aa	44,0 Aa	29,84 Aa	47,31 Aa
40	1531 Aa	1895 Aa	120,37 Aa	135,97 Aa	38,3 Aa	38,3 Aa	37,22 Aa	38,60 Aa
80	1504 Aa	1712 Aa	109,52 Aa	120,47 Aa	41,7 Aa	33,0 Aa	41,37 Aa	41,14 Aa
C.V. (%)	32,88		31,36		30,00		20,01	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

De todas as variáveis analisadas, os parâmetros radiculares, foram os que apresentaram menores ou nenhuma relação com possíveis efeitos promovidos pelas doses crescentes de torta de mamona PDS, podendo ser influenciado pelo pequeno volume de solo explorado pelas raízes, apenas 2,5 kg substrato por vaso, assim como espaço reduzido para crescimento e desenvolvimento destas ao longo do cultivo do girassol e da mamona.

### 5.6.9 Análise dos teores totais NPK no tecido vegetal do girassol

A

Tabela 33 mostra os teores médios dos macronutrientes N, P e K nas raízes das plantas de girassol. Observou-se que os teores de N total foram maiores no tratamento com a maior dose de torta “in natura”. E, esta dose resultou em um teor significativamente maior do que a mesma dose de torta tratada. Para valores observados na mamona para o mesmo elemento, apenas o fator dose foi relevante, destacando-se as maiores doses de torta aplicadas.

**Tabela 33.** Teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) presentes nas raízes do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	N		P		K	
	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----					
	IN	TT	IN	TT	IN	TT
NPK	7,18 B	7,18 B	1,22 B	1,22 B	46,30 A	46,30 A
0	7,05 B	7,05 B	1,05 B	1,05 B	36,00 AB	36,00 AB
5	8,11 Ba	7,00 Ba	1,23 Ba	1,16 Ba	34,51 ABa	30,10 Ba
10	7,58 Ba	7,81 Ba	1,27 Ba	1,19 Ba	28,62 Ba	36,00 ABa
20	7,41 Ba	7,52 Ba	1,19 Ba	1,70 ABa	33,04 ABa	37,46 ABa
40	8,11 Ba	9,62 ABa	1,37 Bb	2,28 Aa	27,15 Bb	38,93 ABa
80	13,88 Aa	11,43 Ab	1,73 Ba	2,02 ABa	30,10 Ba	31,57 ABa
C.V. (%)	14,91		27,25		16,85	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Quanto ao P, foram observados maiores efeitos nas doses 20, 40 e 80 Mg.ha<sup>-1</sup> de torta tratada, de alguma forma, como já observado antes nas raízes da mamona, o maior acúmulo de fósforo foi observado na torta tratada, podendo ser deduzido que a lavagem da torta favoreceu uma maior solubilização desse elemento, o que seria benéfica devido a sua grande importância na nutrição das plantas.

De acordo com RAIJ (1991), dos três macronutrientes (NPK), o fósforo é aquele exigido em menores quantidades pelas plantas. Não obstante trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Explica-se esta situação pela carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros e, também, porque o elemento tem forte interação com o solo. A interação do P com constituintes do solo como Al, Fe e Ca, sua ocorrência em formas orgânicas, e suas lentas taxas de difusão na solução do solo, tornam o P, o nutriente menos prontamente disponível na rizosfera (ARAÚJO & MACHADO, 2006).

Para o potássio, não foram observadas diferenças significativas nas doses e tampouco para o tipo de torta PDS, sendo superior o acúmulo desse elemento nas raízes no tratamento com adubação mineral (NPK).

A Tabela 34 mostra os teores médios de N, P e K na parte aérea das plantas de girassol. Também como observado na cultura da mamoneira, com exceção dos teores de P, observou-se maior acúmulo dos elementos na parte aérea em comparação com as raízes.

Em relação aos teores médios de N, foi observado maior acúmulo sob as duas maiores doses para torta “in natura” e tratada. Resultado similar foi evidenciado por FREITAS (2009), destacando-se o maior conteúdo de N total na parte aérea de plantas de girassol em substrato ácido para maior dose testada de (80 Mg.ha<sup>-1</sup>). Para o mesmo elemento nos tecidos da parte aérea da mamoneira destacou-se, neste caso, as três maiores doses de torta tratada.

**Tabela 34.** Teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) presentes na parte aérea (colmo + folha + capítulo) do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	N		P		K	
	(g kg <sup>-1</sup> )					
	IN	TT	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	6,48 C	6,48 C	0,10 B	0,10 B	39,95 B	39,95 B
<b>0</b>	8,52 C	8,52 C	0,09 B	0,09 B	39,52 B	39,52 B
<b>5</b>	9,92 Ba	8,40 Ca	0,15 ABa	0,10 ABa	40,83 Ba	35,58 Ba
<b>10</b>	11,32 Ba	9,68 Ca	0,13 ABa	0,12 ABa	39,08 Ba	43,45 Ba
<b>20</b>	12,08 Ba	10,85 BCa	0,19 ABa	0,15 ABa	43,46 ABa	42,58 Ba
<b>40</b>	16,86 Aa	15,87 ABa	0,24 Aa	0,26 Aa	45,21 ABa	46,95 Ba
<b>80</b>	19,37 Aa	17,73 Aa	0,22 ABa	0,23 ABa	55,71 Aa	46,95 Bb
<b>C.V. (%)</b>	18,06		35,44		11,09	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

No que diz respeito aos teores de fósforo na parte aérea do girassol, apenas a dose de 40 Mg.ha<sup>-1</sup> foi significativa independente do tipo de torta. Não houve diferença significativa em relação ao fator tipo de torta. Comportamento distinto foi observado por FREITAS (2009), quanto a dose de torta, em relação aos teores de fósforo, em substrato ácido não contaminado com hidrocarbonetos, que também testando a torta de PDS sob doses crescentes, observou maior acúmulo de fósforo nos tecidos de plantas de girassol na dose de 80 Mg.ha<sup>-1</sup> (dose máxima no estudo).

Em relação ao potássio, foi observada diferença significativa na dose máxima de torta PDS “in natura” no acúmulo desse elemento na parte aérea. FREITAS (2009), não houve relação direta entre as doses de torta e o acúmulo de potássio na parte aérea das plantas de girassol em solo ácido, não corroborando com os resultados observados neste trabalho.

Foi observada também pouca influencia das tortas ou doses, para os teores médios de cálcio presentes nas raízes ou parte aérea do girassol, destacando-se apenas as diferenças para o elemento magnésio (Tabela 35). FREITAS (2009), em substrato ácido observou diferenças significativas no acúmulo de cálcio na parte aérea proporcional às maiores doses de torta PDS aplicadas.

Na parte aérea do girassol, destaca-se a dose de 40 Mg ha<sup>-1</sup> na torta “in natura”, onde apresentou maior acúmulo desse elemento nos tecidos das plantas. Nas raízes não houve diferença estatística entre os tratamentos para o mesmo elemento.

Para os teores de Mg nas raízes, destacou-se a maior dose de torta PDS tratada, apresentou-se de forma significativa em relação aos demais tratamentos. Na parte aérea das plantas de mamona, pode-se observar diferenças apenas nas duas maiores doses de torta independente do tipo.

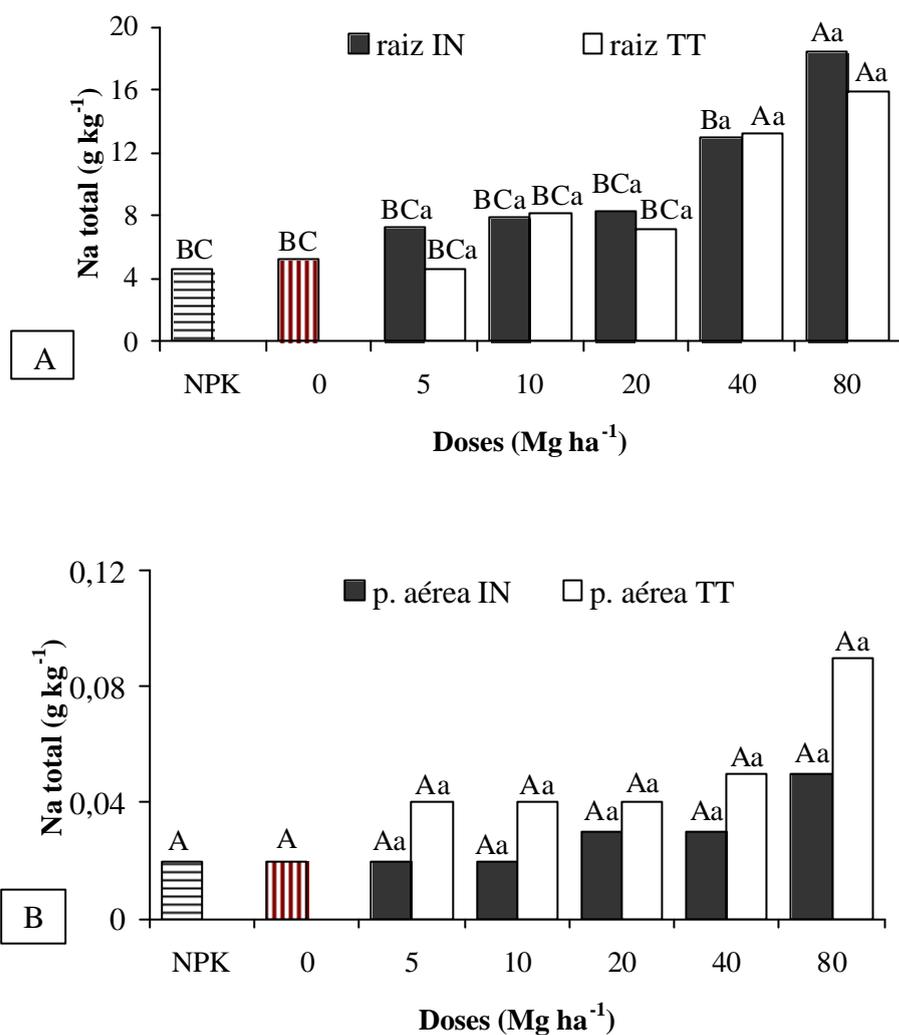
**Tabela 35.** Teores totais de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio (Mg<sup>2+</sup>) nas raízes e parte aérea do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Raiz				Parte aérea			
	Ca		Mg		Ca		Mg	
	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----							
	IN	TT	IN	TT	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	6,63 A	6,63 A	2,98 B	2,98 B	9,00 B	9,00 B	3,14 B	3,14 B
<b>0</b>	5,01 A	5,01 A	2,64 B	2,64 B	12,00 A	12,00 A	3,30 B	3,30 B
<b>5</b>	5,12 Aa	6,10 Aa	2,88 Ba	3,64 Ba	13,67 Aa	11,00 Ab	3,46 Ba	3,12 Ba
<b>10</b>	4,70 Aa	5,00 Aa	2,92 Ba	3,53 Ba	13,00 Aa	10,33 Ab	3,31 Ba	3,08 Ba
<b>20</b>	4,89 Aa	5,06 Aa	3,28 Ba	3,94 ABa	12,00 Aa	9,00 Bb	3,70 Ba	3,28 Ba
<b>40</b>	3,72 Aa	4,66 Aa	4,02 Ba	3,70 Ba	11,33 Aa	9,00 Ba	4,06 Aa	4,17 Aa
<b>80</b>	4,33 Aa	5,75 Aa	4,90 Ba	6,68 Aa	10,33 Ba	6,33 BCb	4,25 Aa	4,33 Aa
<b>C.V. (%)</b>	22,29		29,38		13,43		12,64	

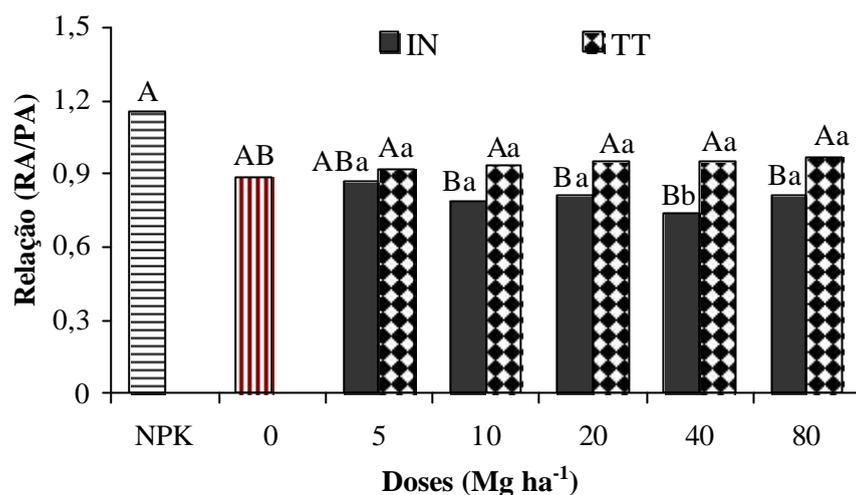
Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Quanto aos teores médios de sódio acumulados nas plantas de girassol (Figura 31), observou-se comportamento semelhante ao da mamona, sendo que, os maiores valores foram encontrados nas raízes em relação à parte aérea. A dose de 80 Mg.ha<sup>-1</sup> favoreceu o maior acúmulo desse elemento nas raízes independente do tipo de torta. Na parte aérea não foram observadas diferenças significativas, tanto para o tipo de torta quanto para dose.

Avaliando-se a relação dos nutrientes acumulados nos tecidos das plantas, através da relação raiz/parte (Figura 32), verificou-se diferenças significativas em relação à torta tratada apenas na dose de 40 Mg ha<sup>-1</sup>, ou seja, houve maior acúmulo de nutrientes na parte aérea em relação as raízes das plantas de girassol ao longo do cultivo. A partir das doses de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> foram observadas diferenças significativas em relação ao tipo, sendo, superior para torta tratada em relação a torta “in natura”.



**Figura 31.** Teores totais de sódio ( $\text{Na}^+$ ) nas raízes (A) e na parte aérea (B), presentes no girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições.



**Figura 32.** Relação raiz/parte área dos teores totais presentes mamoneira. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições.

#### 5.6.10 Análises físicas do substrato

Na avaliação das análises físicas, densidade do substrato (solo) e volume total de poros após o cultivo do girassol (Tabela 36), as doses ou tipo da torta não influenciaram de forma significativa nos valores médios observados. Essas análises não puderam evidenciar de forma significativa os benefícios promovidos pela ação da matéria orgânica adicionada ao substrato (solo). Apesar de não serem significativas, foram observados aumento nos valores médios para o volume total de poros em função das doses crescentes utilizadas.

**Tabela 36.** Densidade e volume total de poros (VTP) do substrato, após o cultivo do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Densidade do solo		VTP	
	----- (Mg m <sup>-3</sup> ) -----		----- (%) -----	
	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	1,25 A	1,25 A	50,73 A	50,73 A
<b>0</b>	1,29 A	1,29 A	52,68 A	52,68 A
<b>5</b>	1,33 Aa	1,26 Aa	50,55 Aa	49,30 Aa
<b>10</b>	1,30 Aa	1,25 Aa	50,95 Aa	50,95 Aa
<b>20</b>	1,25 Aa	1,15 Aa	51,80 Aa	55,89 Aa
<b>40</b>	1,26 Aa	1,24 Aa	52,60 Aa	53,30 Aa
<b>80</b>	1,11 Aa	1,13 Aa	56,26 Aa	57,58 Aa
<b>C.V. (%)</b>	7,35		6,94	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Em relação à densidade do solo foram observados menores valores médios para maior dose de torta “in natura” ou tratada, porém não significativos, o que é esperado onde se adiciona material orgânico no caso à torta PDS, com menor peso em comparação a fração mineral (substrato). Via de regra, em solo onde se tem maior teor de matéria orgânica, são

encontrados menores valores de densidade do solo, numa relação inversa entre densidade do solo e a quantidade de matéria orgânica adicionada ou presente no solo em condições naturais.

A densidade do solo é um importante atributo físico dos solos, por fornecer indicações a respeito do estado de sua conservação, sendo uma das primeiras propriedades a ser alterada pelos diferentes usos. Tem sido largamente utilizada na avaliação da compactação e/ou, adensamento dos solos em nível de campo (CAMARGO, 1983; DIAS JÚNIOR, 2000). A densidade do solo refere-se à relação entre a massa de solo seco e o volume total, e é afetada pela cobertura vegetal, teor de matéria orgânica e uso e manejo do solo (CORSINI & FERRAUDO, 1999; SILVA et al., 2000). O aumento excessivo da densidade do solo acarreta diminuição do volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração, o que ocasiona prejuízo à qualidade física do solo.

### 5.6.11 Análises químicas do substrato

Não foram significativas as diferenças em relação aos teores médios de cálcio e potássio (Tabela 37). Todavia, no que diz respeito ao magnésio, as três maiores doses de torta “in natura”, promoveram maior efeito residual deste elemento no solo após o cultivo, onde a maior dose torta tratada favoreceu esse efeito. Para torta “in natura” houve efeito significativo nas doses de 20, 40 e 80 Mg ha<sup>-1</sup>. Destaca-se ainda para o magnésio na torta tratada, os teores significativos na dose equivalente a 80 Mg ha<sup>-1</sup>. Em relação ao fósforo assimilável, os maiores teores aconteceram para maior dose de torta tratada, mesmo que tenha havido efeito significativo também para torta “in natura”. Aliás, houve uma tendência de aumento no teor de P de forma proporcional ao aumento das doses de ambas as tortas.

Os teores residuais de Ca, P e K na mamona foram similares, aos observados após o cultivo do girassol, com maior semelhança para o elemento P, sendo significativamente superior na dose de 80 Mg.ha<sup>-1</sup>, e também superior para torta tratada.

**Tabela 37.** Teores trocáveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo assimilável (P) no substrato após o cultivo do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Ca		Mg		K		P	
	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				(mg kg <sup>-1</sup> )			
	IN	TT	IN	TT	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	3,9 A	3,9 A	1,3 B	1,3 B	8,0 A	8,0 A	15 C	15 C
<b>0</b>	3,8 A	3,8 A	1,3 B	1,3 B	8,5 A	8,5 A	12 C	12 C
<b>5</b>	3,8 Aa	4,0 Aa	1,3 Bb	1,8 Ba	8,5 Aa	8,5 Aa	22 BCa	19 Ca
<b>10</b>	3,8 Aa	4,3 Aa	1,4 Ba	1,6 Ba	7,8 Aa	7,8 Aa	18 BCa	28 BCa
<b>20</b>	4,1 Aa	4,2 Aa	1,9 Aa	1,8 Ba	7,8 Aa	7,4 Aa	31 BCa	33 BCa
<b>40</b>	4,1 Aa	4,0 Aa	2,1 Aa	1,9 Ba	8,5 Aa	7,8 Aa	51 ABa	64 Ba
<b>80</b>	4,3 Aa	4,4 Aa	2,6 Aa	2,5 Aa	7,4 Aa	7,4 Aa	79 Ab	122 Aa
<b>C.V.(%)</b>	7,40		19,16		17,22		20,00	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Analisando o comportamento do elemento sódio após o cultivo do girassol, através dos teores médios do elemento, da relação de adsorção e porcentagem de saturação (Tabela 38), constatou-se comportamento similar ao observado no substrato após o cultivo da mamona. Os maiores teores de sódio residuais no substrato foram detectados para as maiores doses de torta independente do tipo.

**Tabela 38.** Comparação entre teores trocáveis de sódio, relação de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de saturação por sódio (PST) no substrato após o cultivo do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Na		RAS		PST	
	----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----					
	IN	TT	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	0,014 D	0,014 D	0,037 B	0,037 B	0,25 B	0,25 B
<b>0</b>	0,015 D	0,015 D	0,038 B	0,038 B	0,26 B	0,26 B
<b>5</b>	0,016 Da	0,016 Da	0,040 Bb	0,037 Ba	0,30 Ba	0,25 Bb
<b>10</b>	0,017 Da	0,017 Ca	0,039 Ba	0,038 Ba	0,29 Ba	0,27 Ba
<b>20</b>	0,019 Ca	0,018 Ca	0,040 Ba	0,039 Ba	0,29 Ba	0,28 Ba
<b>40</b>	0,023 Ba	0,021 Ba	0,042 Aa	0,042 Aa	0,33 Aa	0,33 Aa
<b>80</b>	0,027 Aa	0,028 Aa	0,045 Aa	0,044 Aa	0,37 Aa	0,36 Aa
<b>C.V. (%)</b>	7,41		4,02		8,89	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Como já discutido anteriormente, apesar desses valores de sódio serem evidenciados nas maiores doses de torta, do ponto de vista de fertilidade são baixos, o que não limitaria o uso da torta como fertilizante na forma “in natura” ou tratada.

As três variáveis analisadas evidenciam essas diferenças nos teores médios de sódio no substrato após o cultivo do girassol.

Os teores médios residuais no substrato após o cultivo do girassol, de acidez potencial, soma de bases, capacidade de troca de cátions mostrados na Tabela 39, indicaram diferenças significativas, exceto para saturação por bases, em função das doses crescentes das tortas.

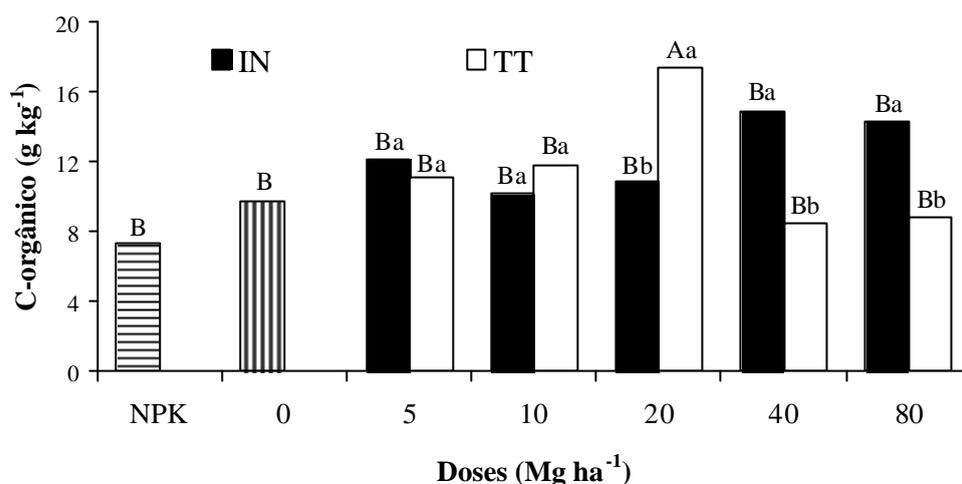
A acidez potencial para dose de 80 Mg ha<sup>-1</sup> da torta “in natura”, a soma de bases e capacidade de troca de cátions, apresentaram comportamento significativo para dose, mas sendo indiferente para o tipo de torta. Apesar de elevada saturação por bases em todos os tratamentos, não foram observadas diferenças significativas.

**Tabela 39.** Valores médios de acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (T) e saturação por bases (V) no substrato após o cultivo do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada.

Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	H+Al		S		T		V	
	----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----							
	IN	TT	IN	TT	IN	TT	IN	TT
<b>NPK</b>	0,44 AB	0,44 AB	5,30 C	5,30 C	5,74 C	5,74 C	92,34 A	92,34 A
<b>0</b>	0,55 A	0,55 A	5,22 C	5,22 C	5,77 C	5,77 C	90,62 A	90,62 A
<b>5</b>	0,21 Bb	0,44 ABa	5,17 Cb	5,93 Ba	5,39 Cb	6,37 Ba	95,91 Aa	93,14 Aa
<b>10</b>	0,38 ABa	0,38 ABa	5,30 Ca	5,90 Bb	5,69 Ca	6,30 Ba	93,27 Aa	93,86 Aa
<b>20</b>	0,55 Aa	0,44 ABa	6,10 Ba	6,10 Bb	6,65 Ba	6,40 Ba	91,71 Aa	93,26 Aa
<b>40</b>	0,44 ABa	0,38 ABa	6,37 Ba	5,94 Ba	6,81 Ba	6,32 Ba	93,62 Aa	93,96 Aa
<b>80</b>	0,60 Aa	0,44 ABa	6,98 Aa	6,98 Aa	7,80 Aa	7,42 Aa	92,04 Aa	94,04 Aa
<b>C.V. (%)</b>	27,98		5,44		5,72		1,85	

Letras maiúsculas distintas na coluna representam diferença estatística significativa entre médias apenas para doses de cada torta, comparado a dose zero e NPK. As minúsculas na linha indicam comparação entre médias para os tipos de torta, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Valores médios de três repetições.

Em relação aos teores médios de carbono ao após o cultivo do girassol (Figura 33), não houve relação direta com as maiores doses de torta, sendo superior na dose de 20 Mg.ha<sup>-1</sup> da torta tratada. Diferenças também foram evidenciadas para torta “in natura” nas doses de 40 e 80 Mg ha<sup>-1</sup>. Na mamoneira, ocorreu relação direta entre o acúmulo de carbono no substrato com a maior dose utilizada. No caso do girassol para esse comportamento não foi semelhante à mamona. Isso pode ser justificado pela necessidade do replantio das sementes de girassol, visto que na primeira semeadura foi observada baixa germinação, e, nesse intervalo o substrato foi revolvido para arejamento por se apresentar muito úmido, o que pode ter favorecido a mineralização das tortas.



**Figura 33.** Teor de carbono orgânico total no substrato após o cultivo do girassol. IN - torta “in natura” e TT - torta tratada. Letras maiúsculas indicam comparação entre médias para dose, e minúsculas entre tipo de torta, sendo iguais não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Valores médios de três repetições.

## 5.7 CONCLUSÕES

- A torta de mamona PDS “in natura” ou tratada promoveu efeitos positivos para maioria das variáveis testadas;
- Os teores de sódio na torta não foram prejudiciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas de mamona e girassol;
- As plantas de mamona e girassol apresentaram maior acúmulo de nutrientes na parte aérea;
- Houve relação direta e proporcional entre as doses de torta e os teores de clorofila e N na terceira folha, sendo que a dose de  $80 \text{ Mg.ha}^{-1}$  da torta “in natura” a que apresentou valores mais elevados;
- A maior dose de torta aplicada ao solo proporcionou, ao final do cultivo das plantas de mamona e girassol, maior teor residual de sódio, porém esses valores são considerados baixo do ponto de vista da fertilidade.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

- A torta de mamona PDS 2008 foi classificada como Resíduo Classe A II (não inerte e não perigoso) de acordo com a ABNT/NBR 10.004:2004;
- O sódio foi apontado como principal elemento limitante no uso da torta PDS 2008;
- Foi observado variabilidade nos teores dos elementos entre os diferentes lotes de sementes e torta PDS 2008;
- O tratamento da torta ou lavagem com água promoveu redução significativa nos teores desse elemento, principalmente na relação torta/água 1:4 (m/v);
- A lavagem da torta com KCl se mostrou eficiente na redução dos teores de sódio, com destaque para maior concentração testada da solução de KCl  $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Através da respiração dos micro-organismos, observou-se maior pico de liberação ou mineralização por volta do sétimo dia de incubação da torta adicionada ao substrato, sendo as taxas de respiração proporcionais as doses utilizadas;
- As maiores doses de torta PDS “in natura” ou tratada promoveram maior incremento para maioria das variáveis analisadas de maneira geral, sendo que os melhores resultados foram obtidos com a dose  $80 \text{ Mg.ha}^{-1}$ , para os cultivos da mamona e girassol.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A torta de PDS independente do tipo ou época de coleta apresentou grandes efeitos benéficos, comprovando mais uma vez sua eficiência para uso como fertilizante orgânico. O estudo em questão é direcionado para um ambiente propenso naturalmente a salinização com alta evaporação, levando a concentração de sais em superfície.

Para maior segurança do ambiente, sugere-se um estudo detalhado em nível de campo, após sucessivos cultivos de oleaginosas e até mesmo de outras espécies, utilizando a torta PDS, sendo esta comparada a cultivos sem uso da mesma e outra área apenas com adubação mineral, e o monitoramento na concentração de sais, principalmente do sódio.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Utilização de resíduos sólidos. ABNT NBR 10.004:2004 - Resíduos sólidos - Classificação.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Utilização de resíduos sólidos. ABNT NBR 10.005:2004 - Procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Utilização de resíduos sólidos. ABNT NBR 10.006:2004 - Solubilização de resíduos sólidos.
- AKHTAR, M.; MAHMOOD, I. Control of plant-parasitic nematodes with organic and inorganic amend-ments in agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, v. 4. p. 243-247, 1996.
- ALENCAR, R. D.; PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; HOLANDA, J. S.; PORTO, V. C.; FERREIRA NETO, N. M. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigadas com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Recife, v.7, n.2, p. 221-226, 2003.
- ALMEIDA, C. M.; ALMEIDA NETO, J. A.; PIRES, M. M.; ROCHA, P. K. A produção de mamona no Brasil e o Probiodiesel. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA: Energia e sustentabilidade, 2004, Campina Grande. Anais...Campina Grande, 2004. p. 12-15.
- ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1977. 467 p.
- ANP - Agência Nacional de Petróleo, 2003. Disponível em <<http://www.revistabiodiesel.com.br>>. Acesso em: 10 set. 2009.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Macronutrientes - fósforo. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, v. 1, p. 253-280.
- ASTM D 6751 - American Standard Testing Methods, 2003. Disponível em <<http://www.revistabiodiesel.com.br>>. Acesso em: 10 set. 2009.
- AZEVEDO, D. M. P. O.; LIMA, E. F. O Agronegócio da mamona no Brasil. Campina Grande - Brasília: Embrapa Algodão Informação Tecnológica, 2001. 350 p.
- BAHIA, H. F.; SILVA, S. A.; SIMONE, A. S.; FERNANDEZ, L. G.; LEDO, C. A. S.; MOREIRA, R. F. C. Divergência genética entre cinco cultivares de mamoneira. Universidade Federal do Recôncavo Baiano - Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 3, p. 357-362, mar. 2008.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. v. 1, p. 9-23.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. v. 2, cap. 2, p. 07-12.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6. ed. Viçosa: UFV, 1996. 596 p.
- CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. (Ed.). *Fundamentos da química do solo*. 3. ed. Porto Alegre:

Evangraf, 2006. v. 2, cap. 2, p. 63-88.

CAMARGO, A. O. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44 p.

CARVALHO, B. C. L. Manual de cultivo da mamona. Salvador: EBDA, 2005. 65 p.

CONFERÊNCIA DE ESTOCOLMO, 1972. Convênio sobre contaminantes orgânicos persistentes. Disponível em <[http://www.pops.int/documents/convtext/convtext\\_sp.Pdf](http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_sp.Pdf)>. Acesso em: 19 ago 2008.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, p. 289-298, 1999.

COSTA, F. X.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, R. M. M.; LUCENA, A. M. A.; GUIMARÃES, M. M. B. Composição química da torta de mamona. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA: Energia e sustentabilidade, 2004. Campina Grande. Anais... Campina Grande, 2004. 1 CD-ROM.

COSTA, A. Aproveitamento de tortas de oleaginosas como fertilizante orgânico. In: FERTBIO (XXVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, XII REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, VII REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO), 2008, Londrina, set. 2008. (Minicurso).

CURL, E. A.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R.E. (Ed.). Research methods in weed science. Atlanta: Southern Weed Science Society, 1972. p. 162-194.

DIÁRIO DO NORDESTE. Disponível em <<http://www.diariodonordeste.globo.com/materia.asp>>. Acesso em: 12 fev. 2009.

DIAS JÚNIOR, M. S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 55-94.

DIN 14214 – Deutsches Institut Für Normung, 2003. Disponível em: <<http://www.revistabiodiesel.com.br>>. Acesso em: 10 set. 2009.

EBAH, metais como catalisadores, ebah - eu compartilho. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/catalisadores>>. Acesso em: 24 jan. 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Algodão, 2004. Produtos. Mamona. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/index.html>>. Acesso em: 12 fev. 2009.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 1999. 370 p.

EMBRAPA. Embrapa Meio Ambiente: Disponível em <[http://www.embrapa.br/imprensa/eventos/dia-de-campo-201cgirassol201d\\_alimentacao-biodiesel-e-recuperacao-do-solo](http://www.embrapa.br/imprensa/eventos/dia-de-campo-201cgirassol201d_alimentacao-biodiesel-e-recuperacao-do-solo)>. Acesso em: 07 jun. 2009.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

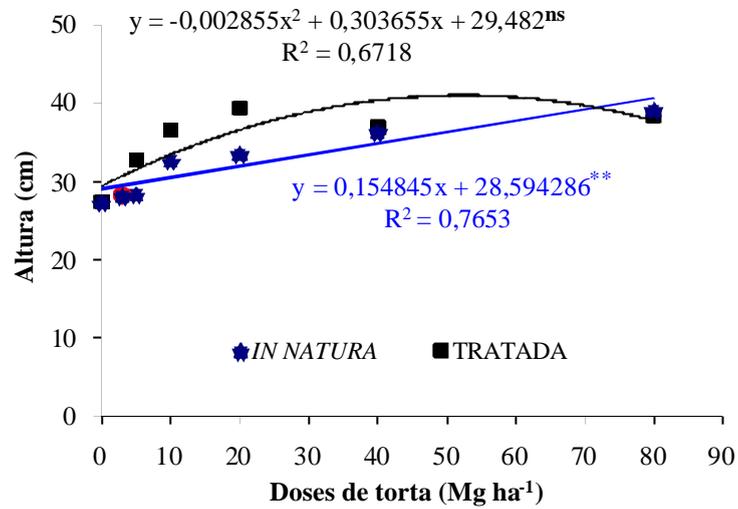
- EUCLYDES, R. F. Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas). Universidade Federal de Viçosa-MG, 1983. 59 p.
- FREITAS, F. C. Uso de resíduo orgânico da produção direta de biodiesel na atenuação dos efeitos de hidrocarbonetos de petróleo no solo. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) - Curso de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo. Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- GHEYI, H.; FAGEIRA, N. K. Efeitos dos sais sobre as plantas. In: Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFCG, 1997. p. 125-131.
- GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. Energia, meio ambiente e desenvolvimento. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003. 226 p.
- GOMES, E. M.; GHEYI, H. R.; SILVA, Ê. F. F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, p. 355-361, 2000.
- GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 01-07.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Ceres, 1985. 495 p.
- KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos - silício, sódio e cobalto. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. v. 1, cap. 14, p. 355-374.
- LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84 p.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. M. Avaliação da casca e da torta de mamona como fertilizante orgânico. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, II, 2006, Aracaju. Resumos.... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. M.; SAMPAIO, L. R. Casca e torta de mamona avaliados em vasos como fertilizantes orgânicos. Revista Caatinga, Mossoró, v. 21, n. 5, p. 102-106, 2008.
- LIMA, P. C. R. O biodiesel e a inclusão social. Disponível em:<[http://www.camara.gov.br/internet/diretoria/conleg/estudos/2004\\_676\\_estudo.pdf](http://www.camara.gov.br/internet/diretoria/conleg/estudos/2004_676_estudo.pdf)> Acesso em: 14 set. 2004.
- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance-current assessment. ASCE J. Irrig. Drain. Div., 1997. p. 103-115.
- MACHADO, R. M.; BARREIRA, H. A.; FARIA, E. V.; MACHADO, D. D. O farelo de mamona desintoxicado na alimentação de novilhas leiteiras. Rio de Janeiro: Instituto de Zootecnia, 1957. 12 p.
- MANZATTO, H. R. H. Dinâmica matéria orgânica no solo glei pouco húmico cultivado com arroz inundado no vale do rio São José (RJ). 1990. 118 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, RJ.

- MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - Departamento de cana-de-açúcar e Agroenergia, 2007. Disponível: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso: 17 mar. 2008.
- MARQUES, T. C. L. S. M.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais em mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, p. 121-132, 2000.
- MARSCHNER, H. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2. ed. Academic Press: London, 1995. 250 p.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed. Academic Press: San Diego, Ca. USA, 1997. 889 p.
- MEIRI, A.; HOFFMAN, G.; SHANNON, M.; POSS, J. Salt tolerance of two muskmelon cultivars under two solar radiation levels. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 107, p. 1168-1172, 1982.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.
- MEURER, E. J. *Fundamentos da química do solo*. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285 p.
- MEURER, J. E. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, v. 1, cap. 11, p. 281-298.
- MIELNICZUK, J. *Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas*. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. v. 1, p. 1-8.
- NASCIMENTO, J. J. V. R.; TAVARES, M. J. V.; SEVERINO, L. S.; SOFIATTI, V. Efeito da torta de mamona sobre o crescimento da mamoneira BRS 149. *CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, III.*, 2008, Salvador. Energia e ricinoquímica. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008.
- PETROBRAS. *Biocombustíveis Petrobras: uma evolução inspirada na natureza*. Suplemento Petrobras sobre o Centro de pesquisas e desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello - (CENPES). n. 8, nov. 2007. (publicação impressa - folheto)
- RAIJ, B. V. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.
- REVISTA BIODIESEL – Revista Eletrônica Permanente. Disponível em: <<http://www.revistadobiodiesel.com.br>>. Acesso em: 19 fev. 2010.
- RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: *TÓPICOS EM CIÊNCIA DO SOLO*. Viçosa. Anais... Viçosa: SBCS, 2003. p. 430.
- RHOADES, J. D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). *Irrigation of agricultural crops*. Madison: Am. Soc. of Agronomy, 1990. p. 1089-1157. (ASA. Monograph, 30).
- SAVY FILHO, A. *Mamona de tecnologia agrícola*. Campinas: EMOPI, 2005. 105 p.
- SCHULTEN, H.; HEMPFLING, R. Influence of agricultural soil management on húmus composition and dynamics: classical and modern analytical techniques. *Plant and Soil*, v. 142, p. 259-271. 1992.

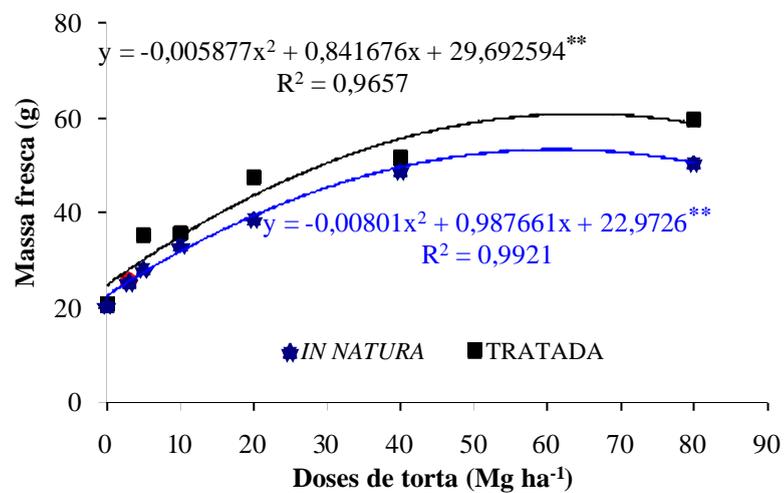
- SEVERINO, L. S. O que sabemos sobre a torta de mamona. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 31 p. (Documentos, 134)
- SEVERINO, L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. M.; LUCENA, A.M.A.; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.5, n.1, p.1-6, 2004.
- SEVERINO, L.S.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; CARDOSO, G.D.; SANTOS, J.W. Fatores de conversão do peso de cachos e frutos para peso de sementes de mamona. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 15 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 56).
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Brasília, v. 24, p. 191-199, 2000.
- SOUSA, C. C. Combustíveis fósseis x agrocombustíveis. 2008. Monografia. Universidade Nove de Julho. Disponível em <<http://www.webartigos.com>>. Acesso em: 06 mar. 2009.
- SOUZA, M. R. Comportamento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. CV Eriparza) submetido a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. 1995. 82 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Amer. Soc. Agron., Madison, 1965. p. 1550 - 1572.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5).
- TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metropole, 2008, cap. 9, p. 113-135.
- TOMÉ JÚNIOR, J. B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba-RS: Agropecuária, 1997. 247 p.
- UNITED STATES SALINITY LABORATORY – USSL STAFF. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: Department of Agriculture, 1954. 160 p.
- VESENTINI, J. W. *Sociedade e espaço*. São Paulo: Ática, 1995. 320 p.
- VITTI, C. G.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, v. 1, cap. 12, p. 299-326.
- WAPEDIA, texto informativo sobre o hidróxido de sódio. Disponível em: <[http://www.wapedia.mobi/pt/hidróxido\\_de\\_sódio](http://www.wapedia.mobi/pt/hidróxido_de_sódio)>. Acesso em: 24 jan. 2010.
- ZONTA, E. Avaliação de sítios de disposição, no solo, de Resíduos da Exploração & Produção, Relatório Parcial. PETROBRAS-PDP/TEP nº 005, 2008. p. 18-25.
- ZONTA, E. Estudos da tolerância ao alumínio em arroz de sequeiro e seus efeitos sobre a interface solo-planta. 2003. 139 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

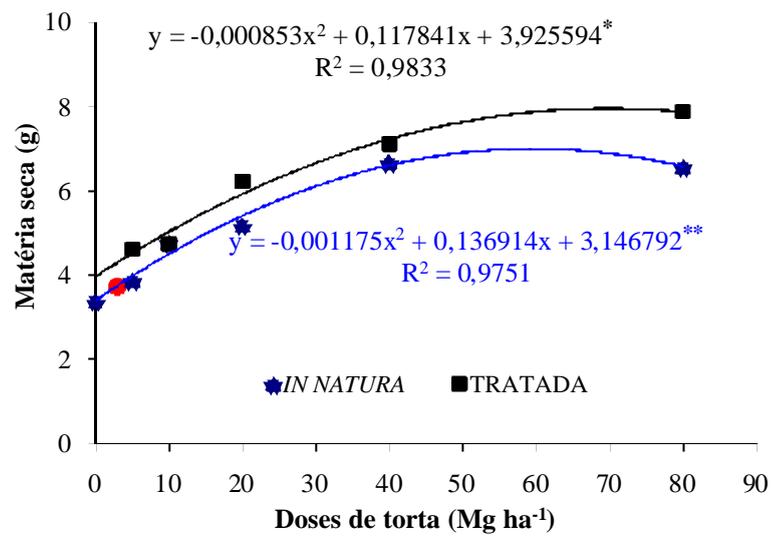
## 10 ANEXOS

### Anexo A - Altura, massa fresca e seca da parte aérea da mamoneira



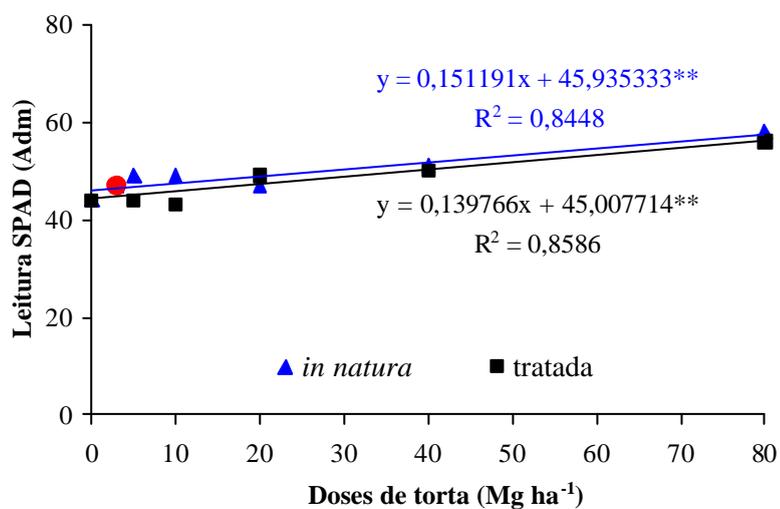
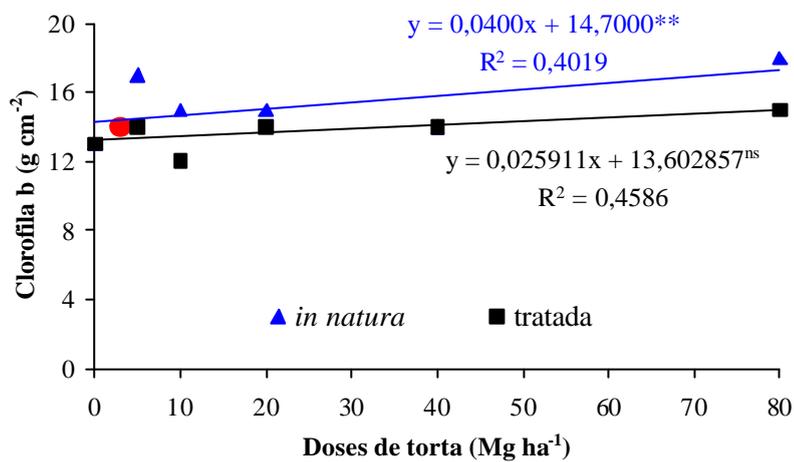
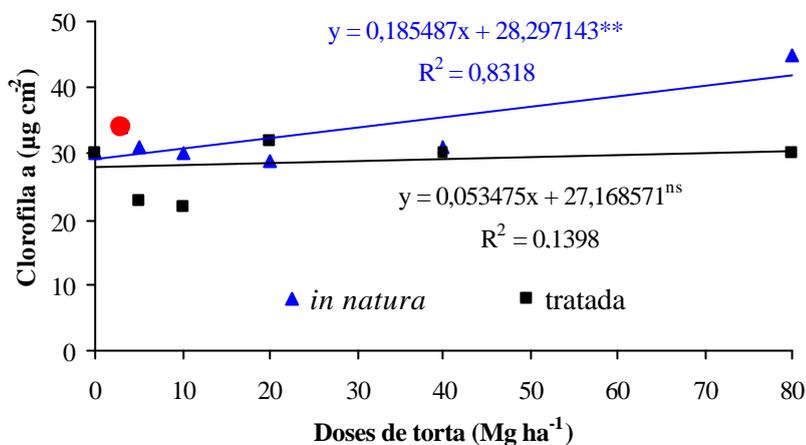
\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente; NS = Não significativo; \* = Adubação mineral com NPK.

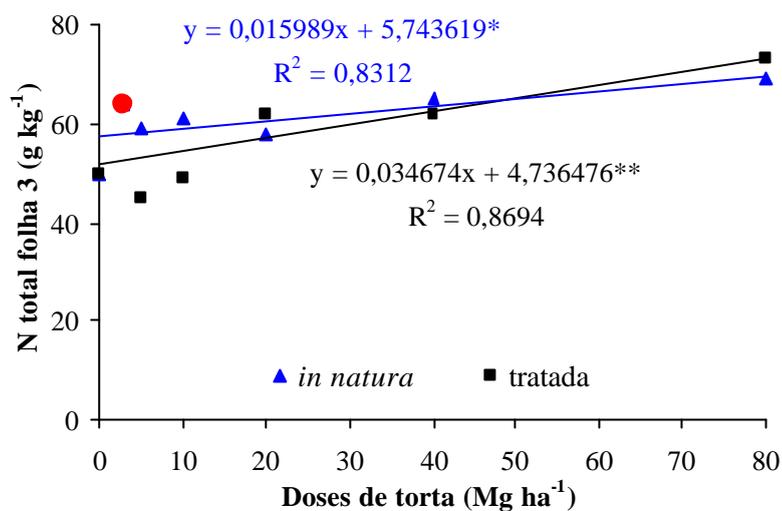




\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; \* = Adubação mineral com NPK.

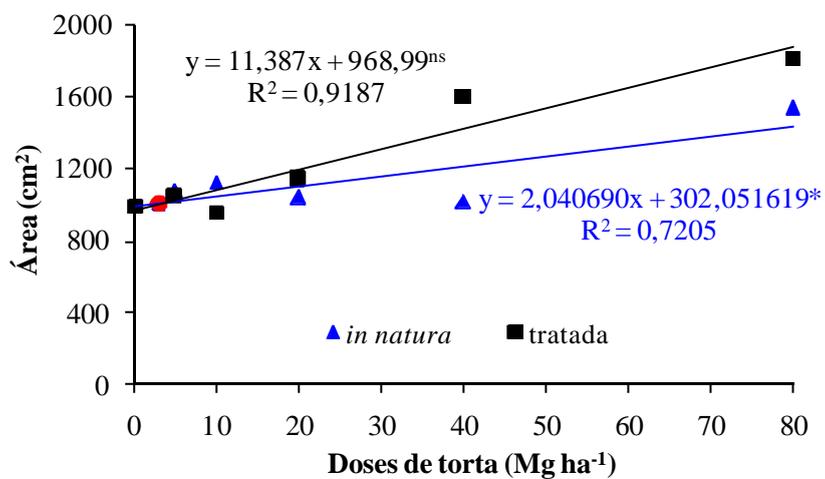
**Anexo B - Teores de clorofila a e b, leitura com SPAD e N total na folha 3 nas folhas da mamoneira**

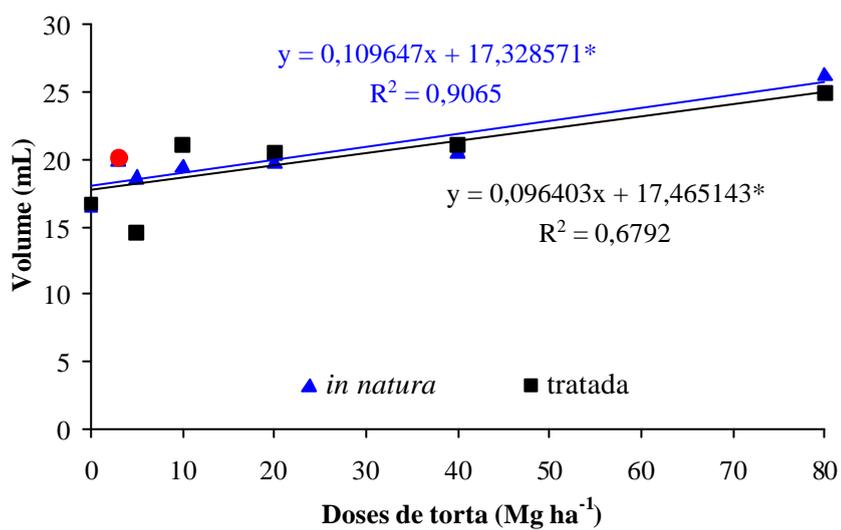
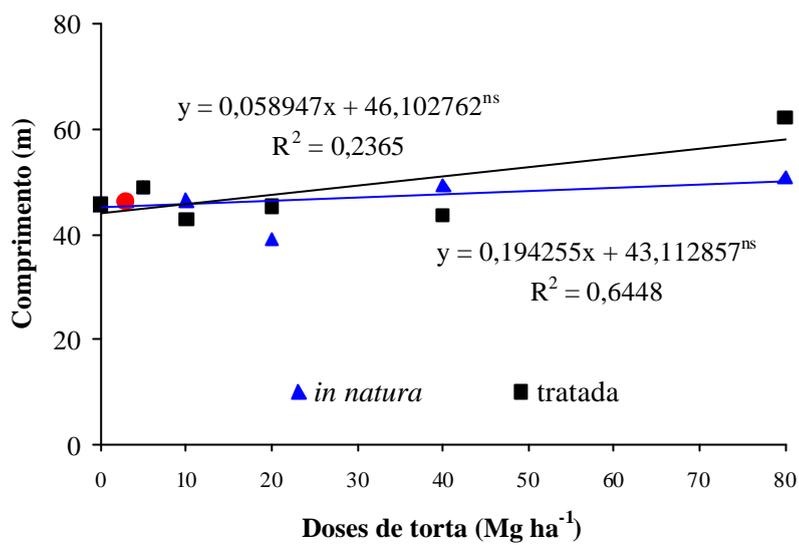




\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; \* = Adubação mineral com NPK.

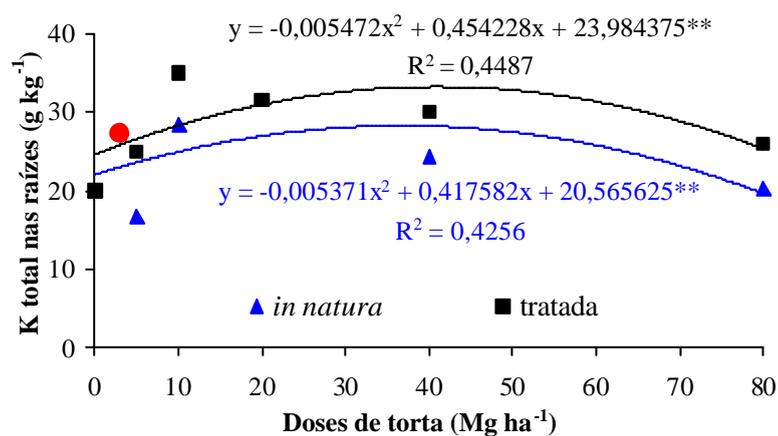
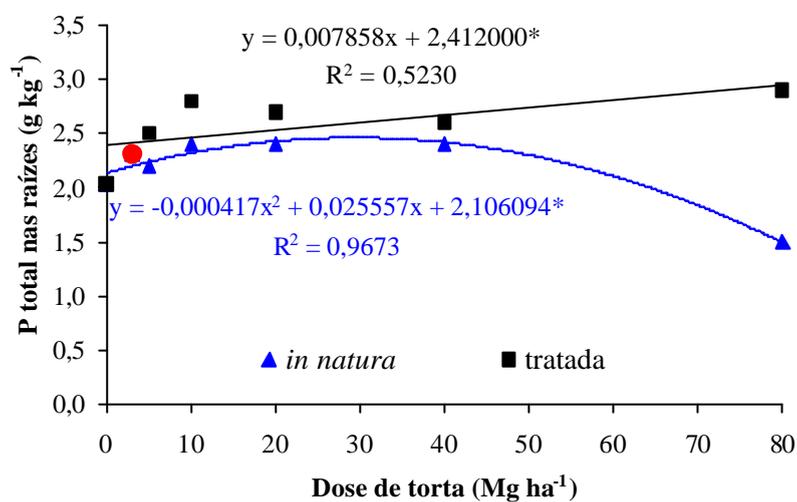
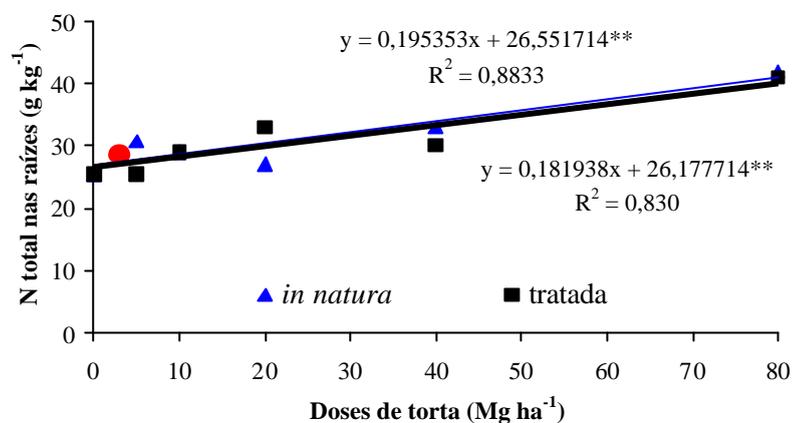
### Anexo C – Área, comprimento e volume radicular na mamoneira.





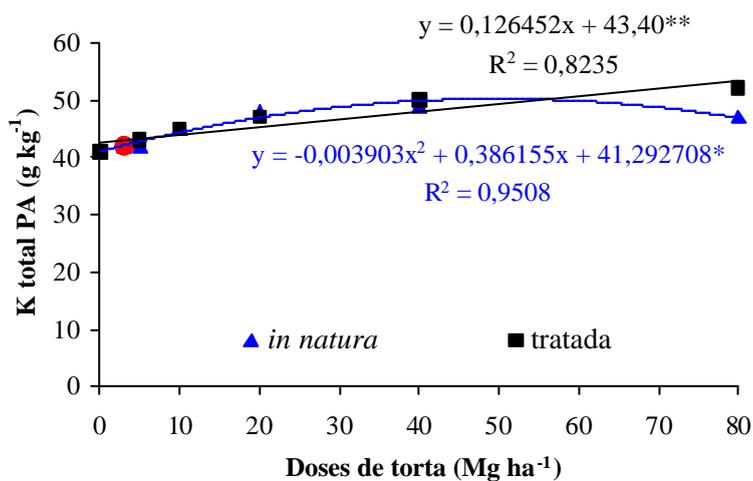
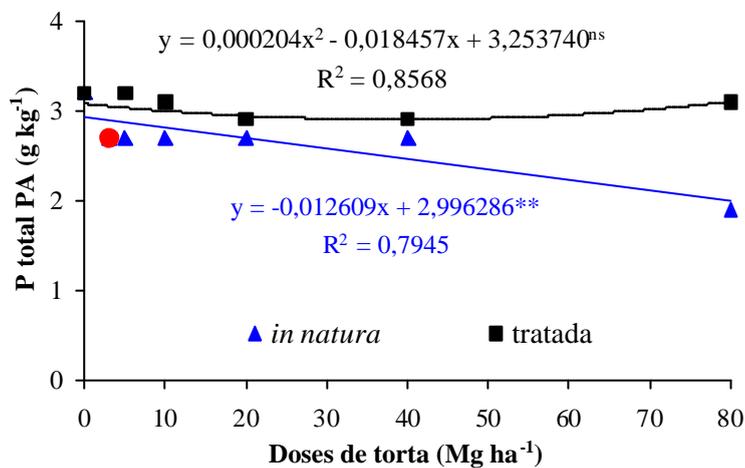
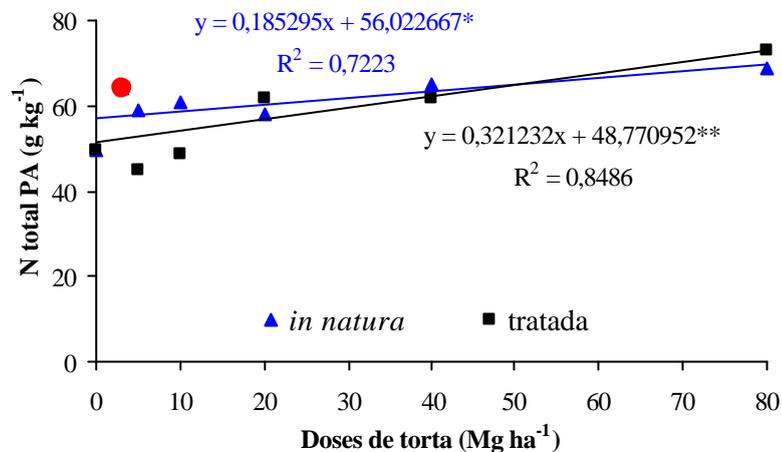
\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente; NS = Não significativo; ● = Adubação mineral com NPK.

## Anexo D – Teores totais de N, P e K nas raízes da mamoneira.



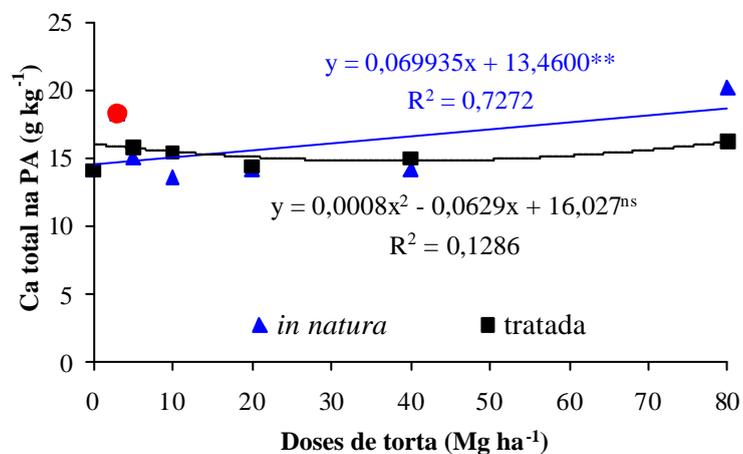
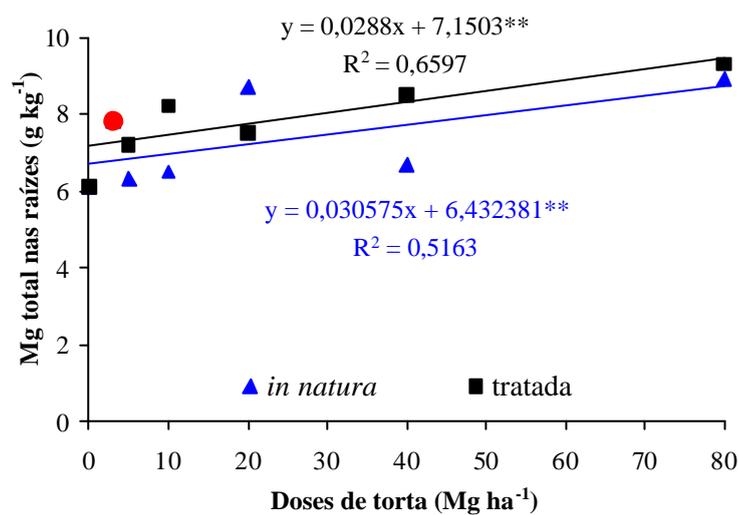
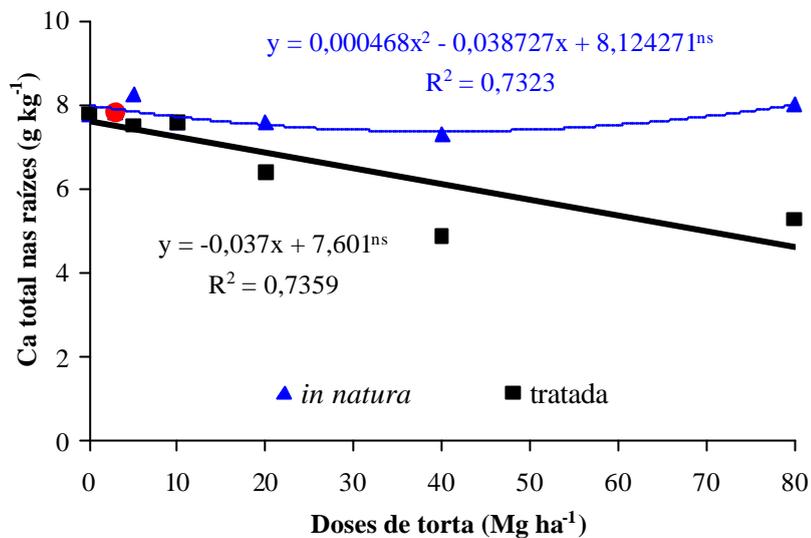
\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; ● = Adubação mineral com NPK.

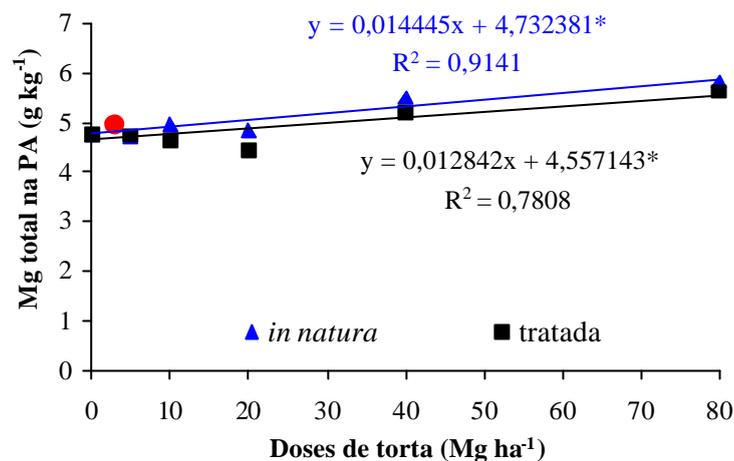
**Anexo E - Teores totais de N, P e K na parte aérea da mamoneira.**



\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; \* = Adubação mineral com NPK.

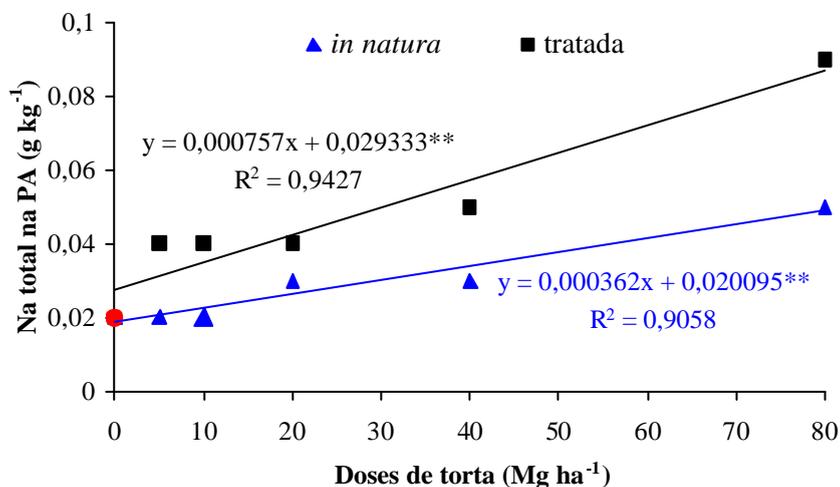
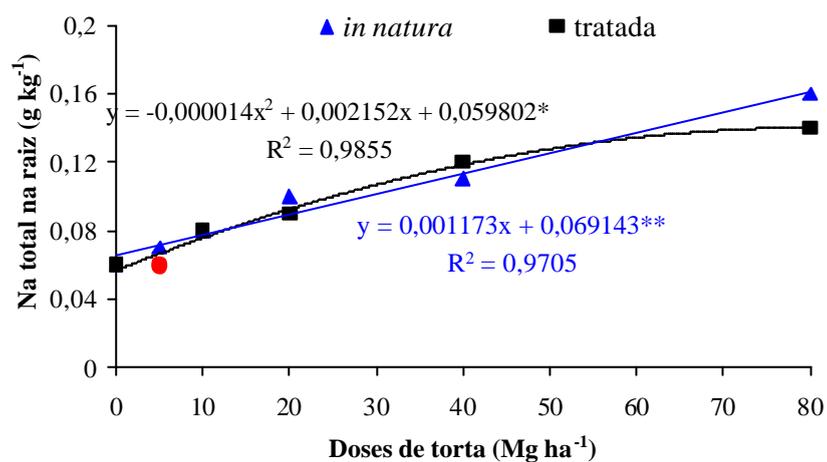
Anexo F – Teores totais de Ca e Mg na raiz e parte aérea da mamoneira.





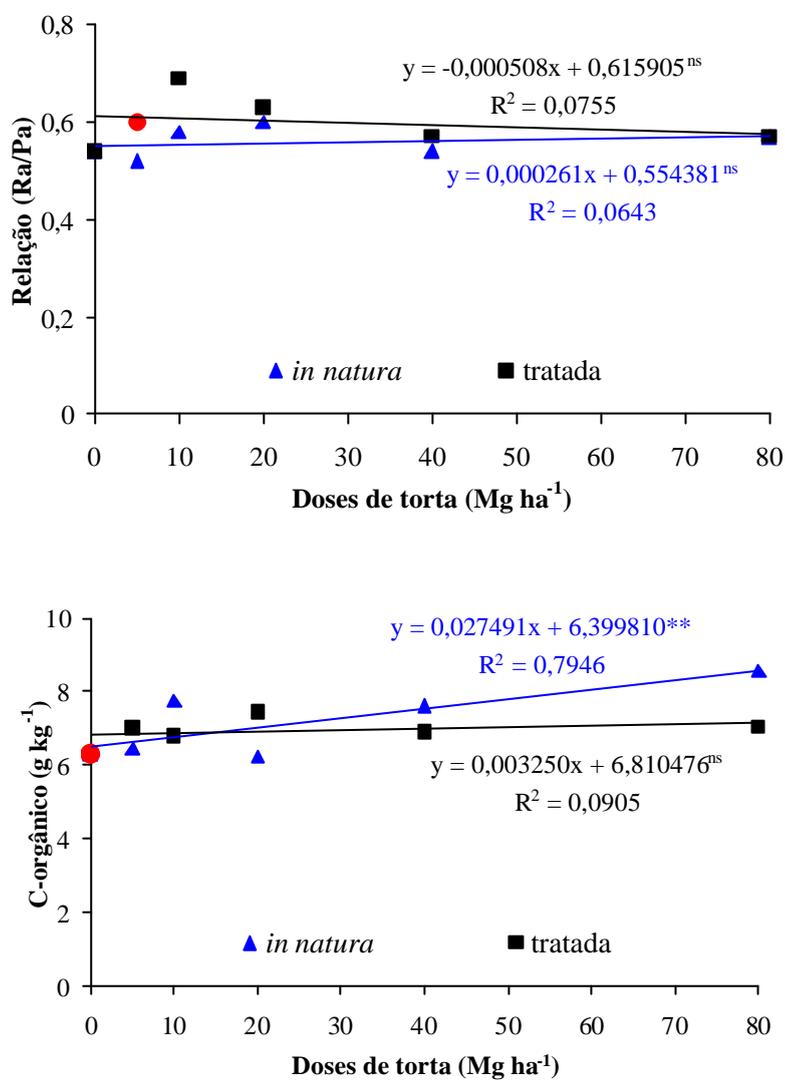
\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; ● = Adubação mineral com NPK.

### Anexo G – Teores totais de Na na raiz e parte aérea da mamoneira.



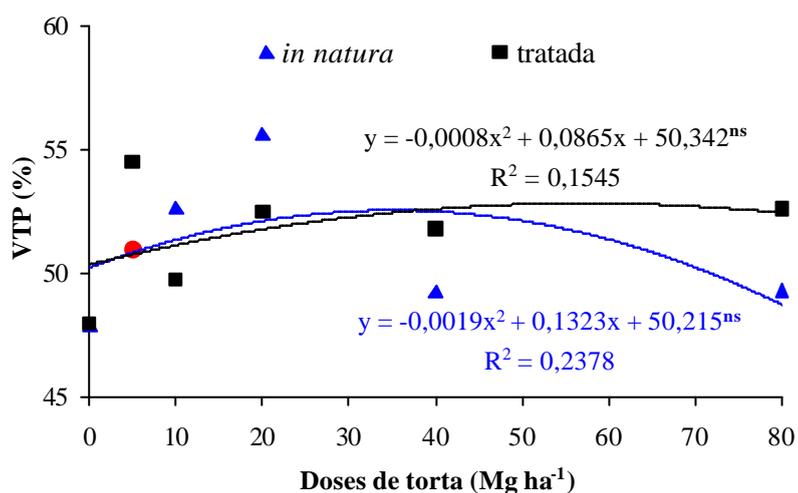
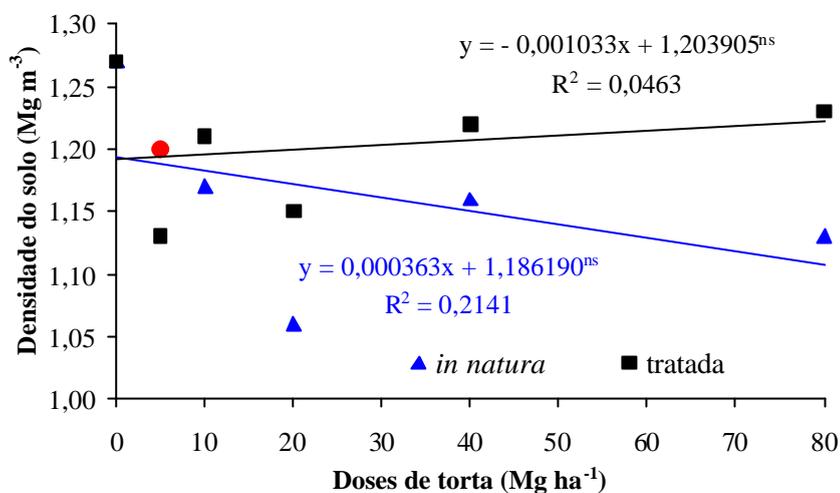
\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; ● = Adubação mineral com NPK.

**Anexo H – Releção dos nutrientes na raiz/parte aérea e Carbono orgânico no solo após o cultivo da mamona.**



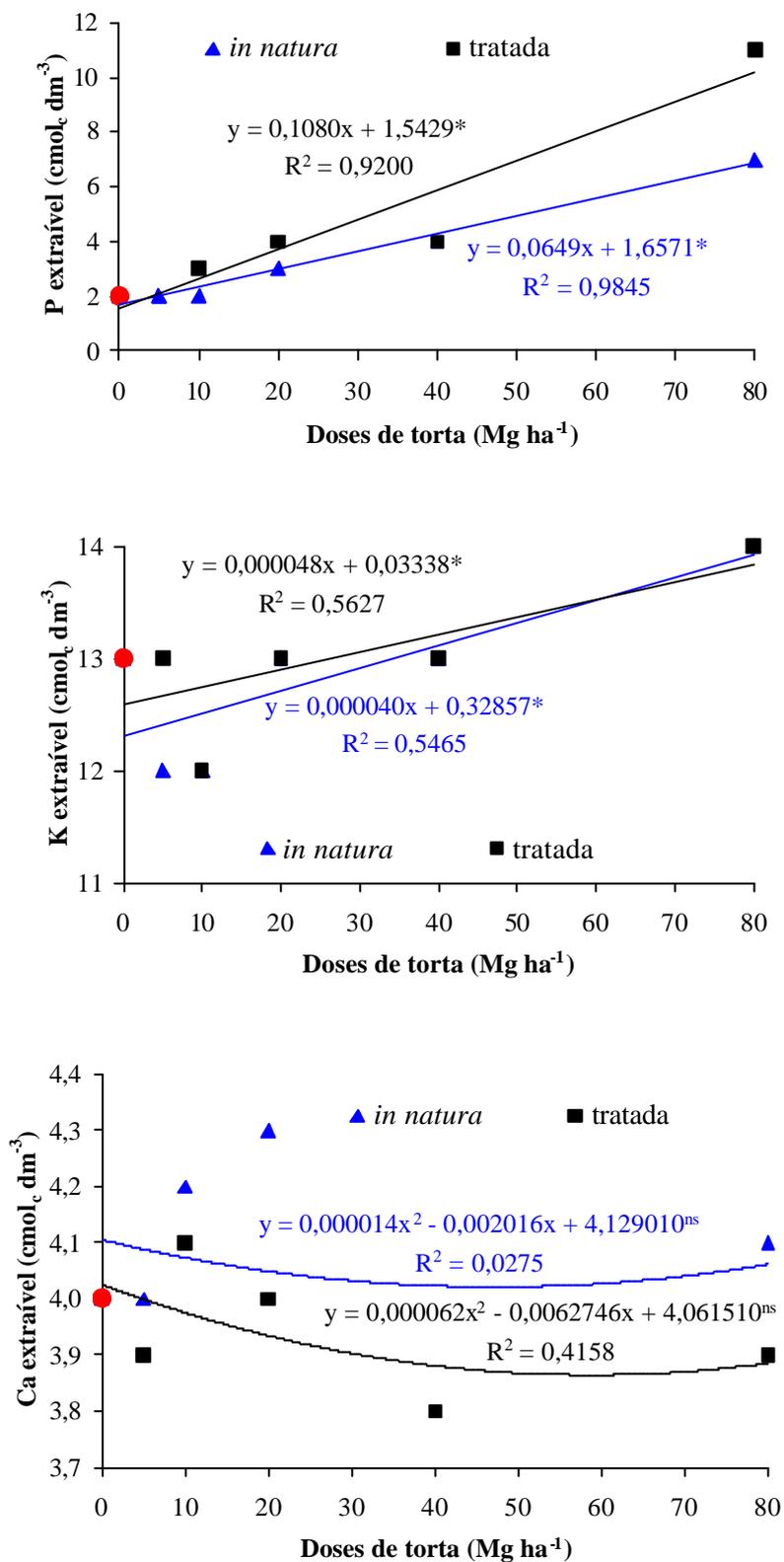
\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente; NS = Não significativo; ● = Adubação mineral com NPK.

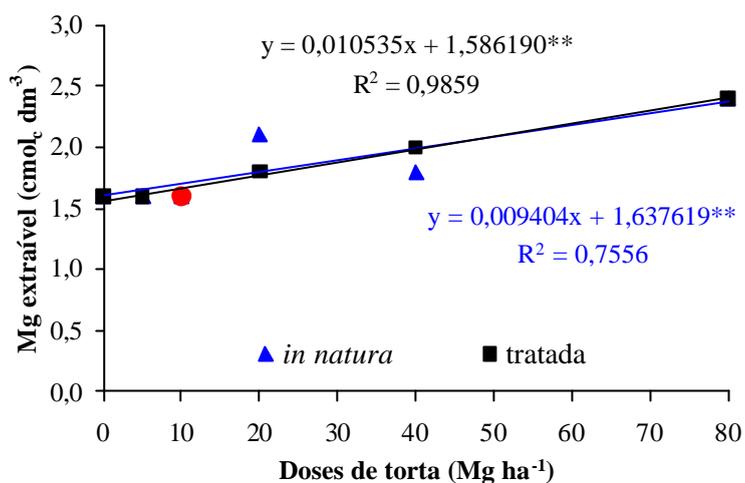
**Anexo I – Densidade do Solo e Volume total de poros após o cultivo da mamona.**



\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
NS = Não significativo; \* = Adubação mineral com NPK.

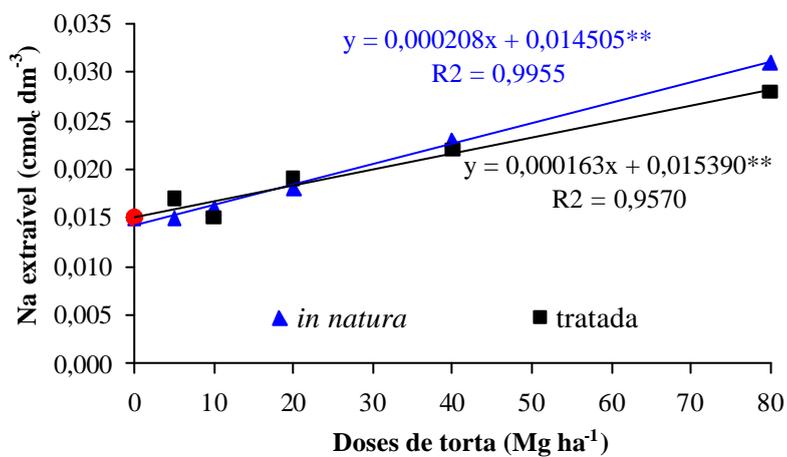
**Anexo J – Teores extraíveis de P, K, Ca e Mg no solo após o cultivo da mamoneira.**

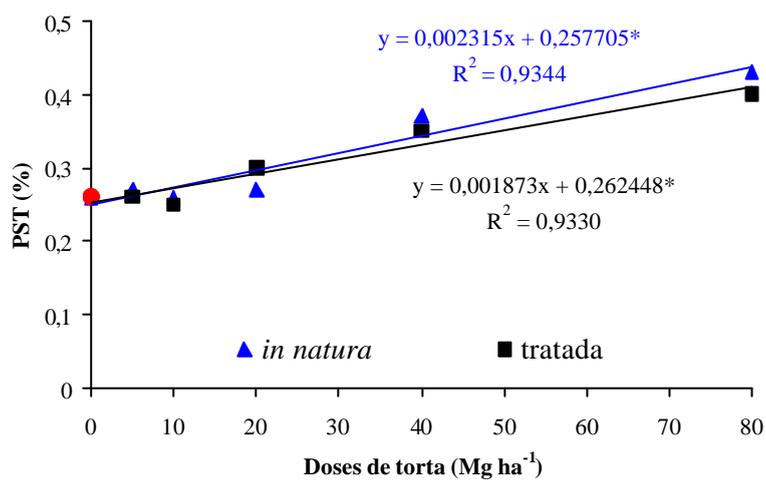
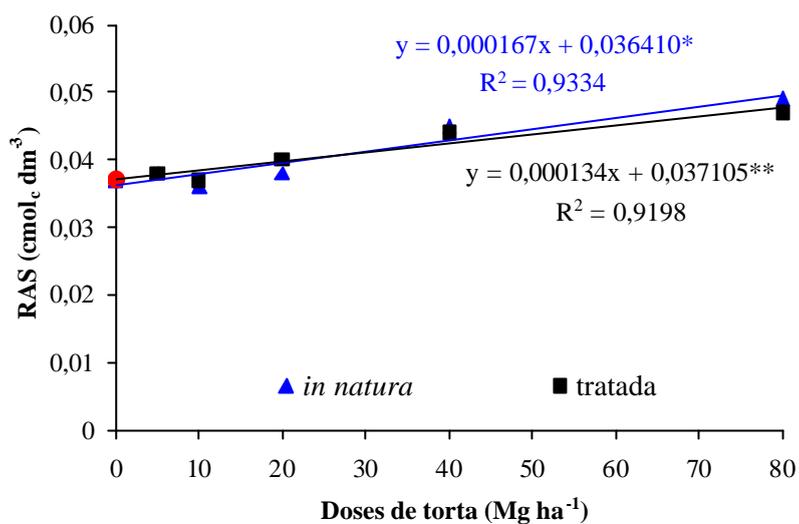




\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; ● = Adubação mineral com NPK.

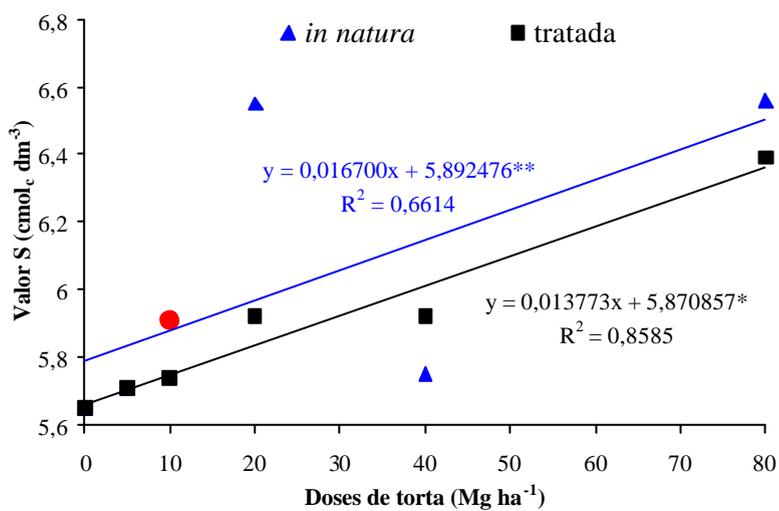
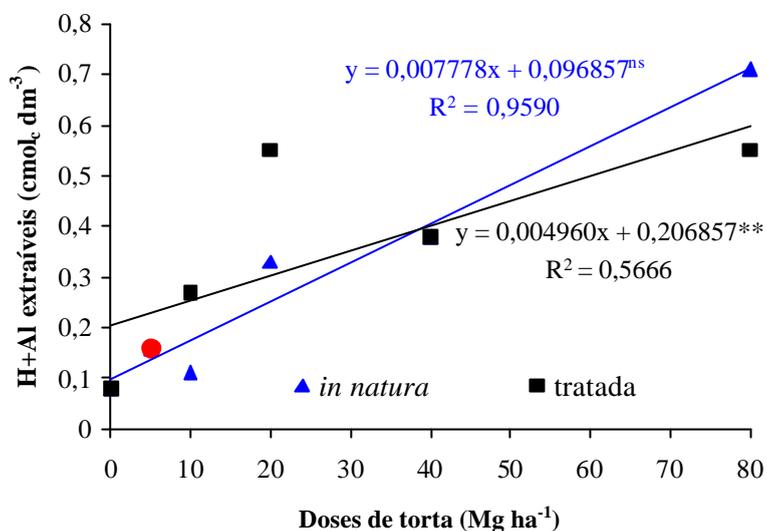
#### Anexo L – Teor de Na extraível, relação de adsorção de sódio (RAS) e percentagem de saturação por sódio (PST).



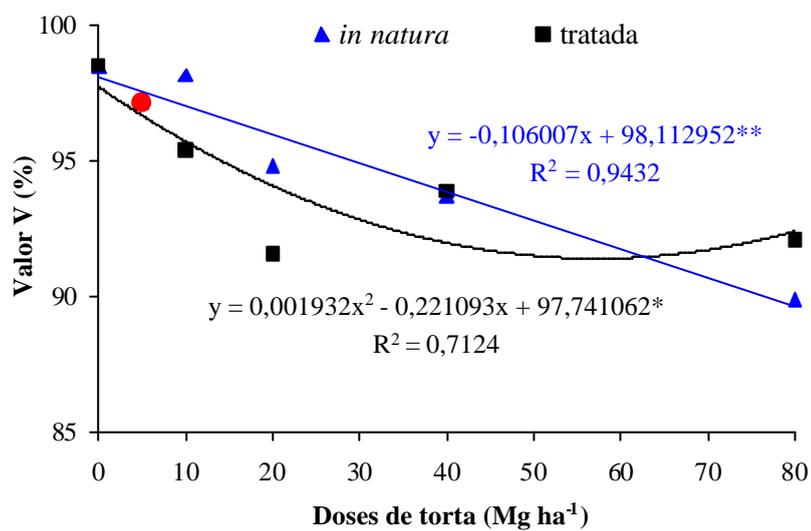
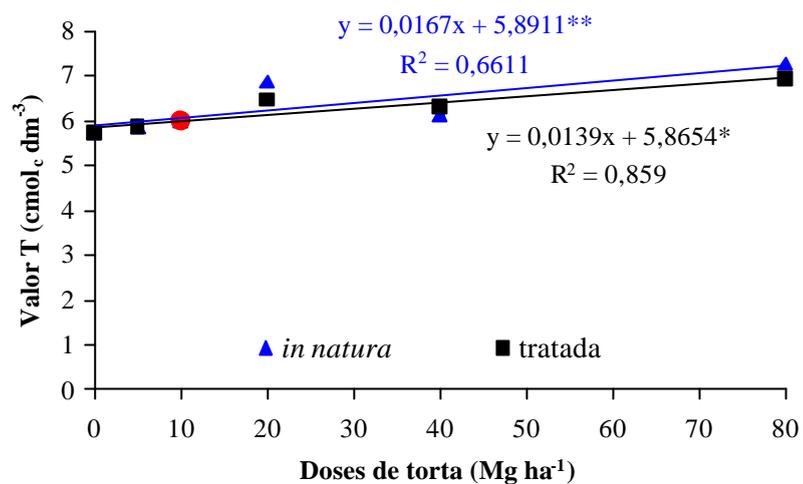


\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; \* = Adubação mineral com NPK.

Anexo M – Valores de (H + Al), S, T e V no solo após o cultivo da mamoneira.

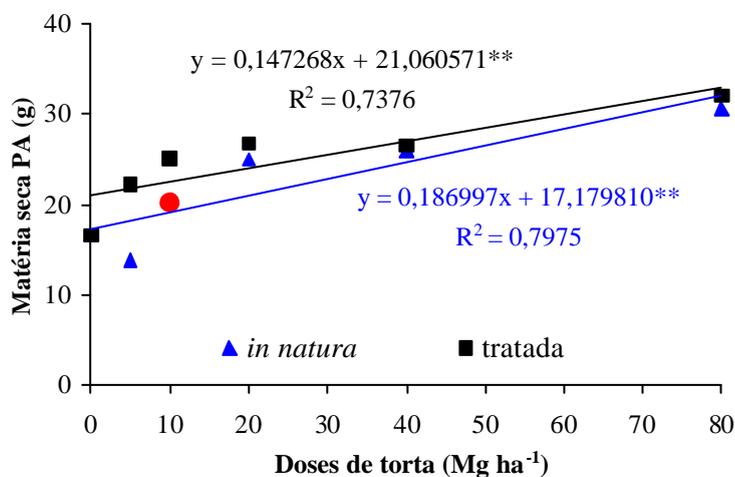
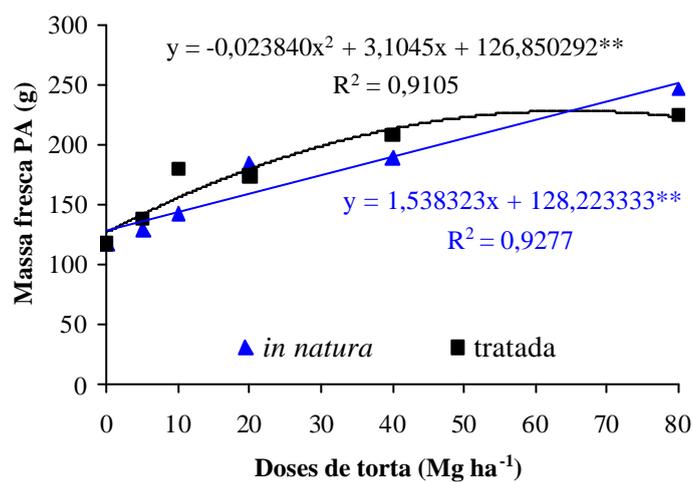
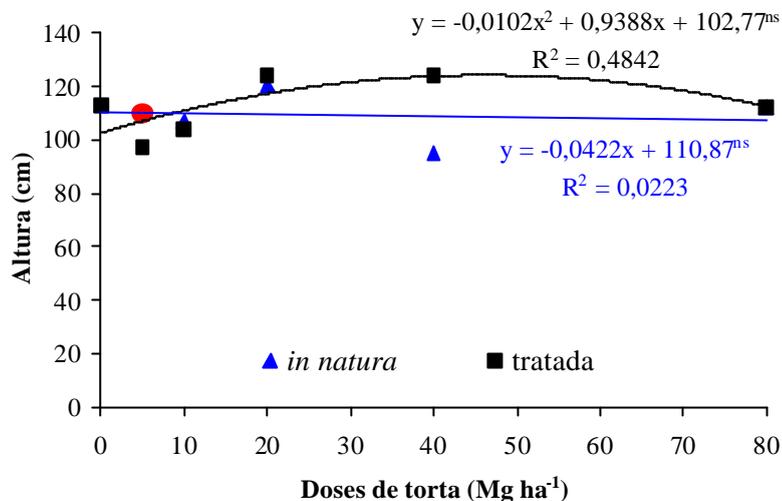


\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; ● = Adubação mineral com NPK.

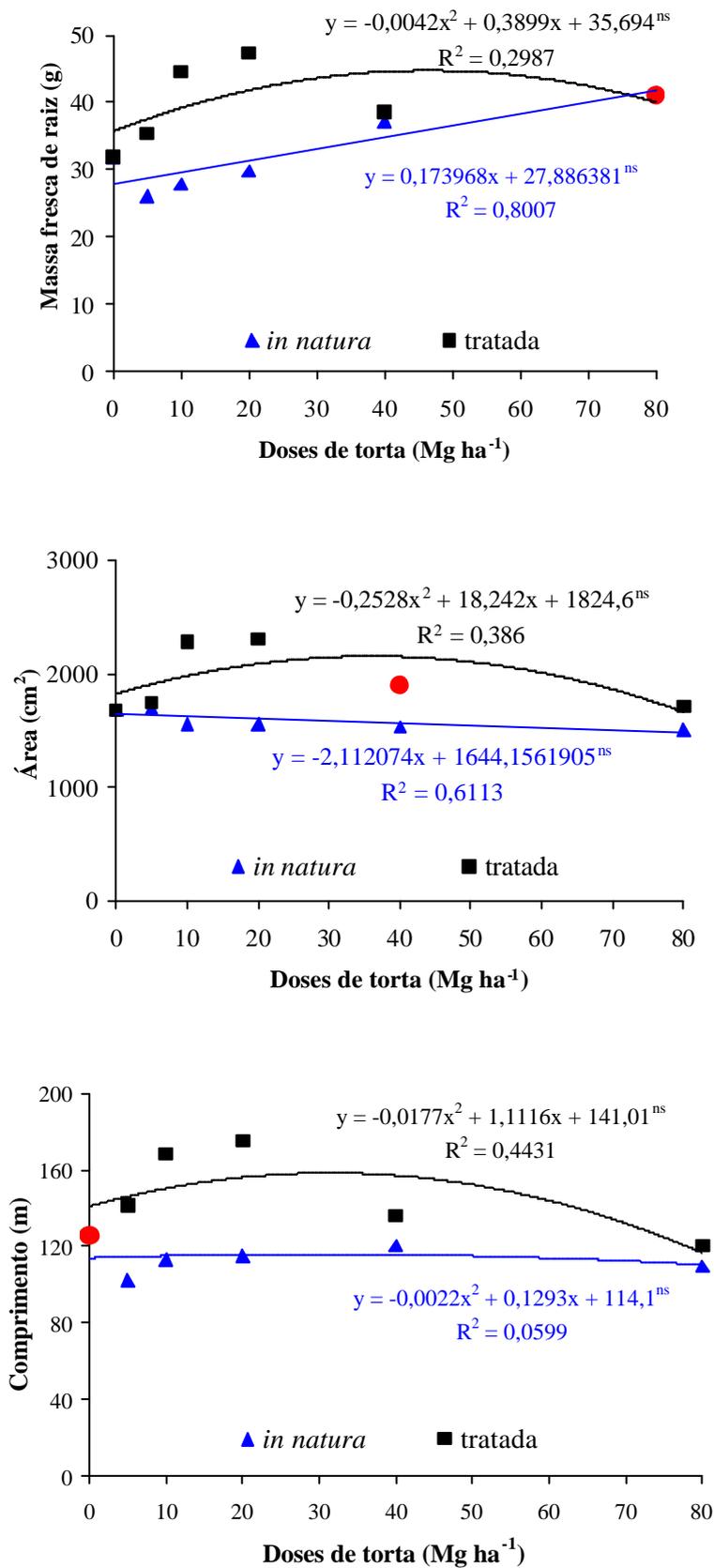


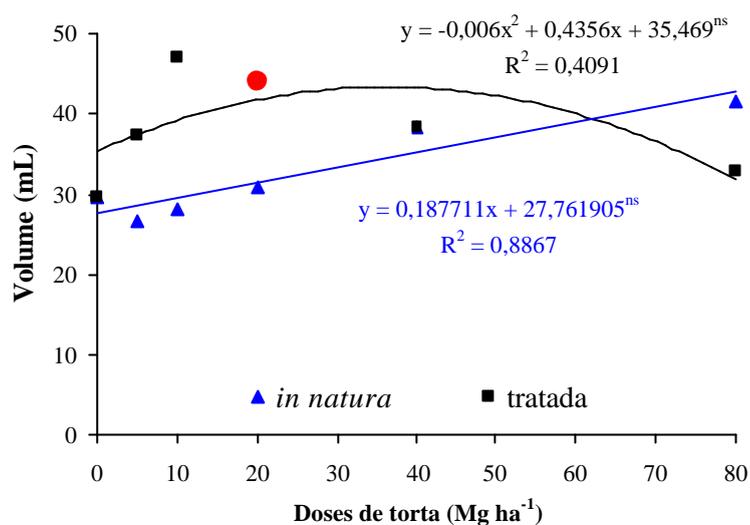
\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
NS = Não significativo; ● = Adubação mineral com NPK.

Anexo N – Altura, massa fresca e seca da parte aérea na cultura do girassol.



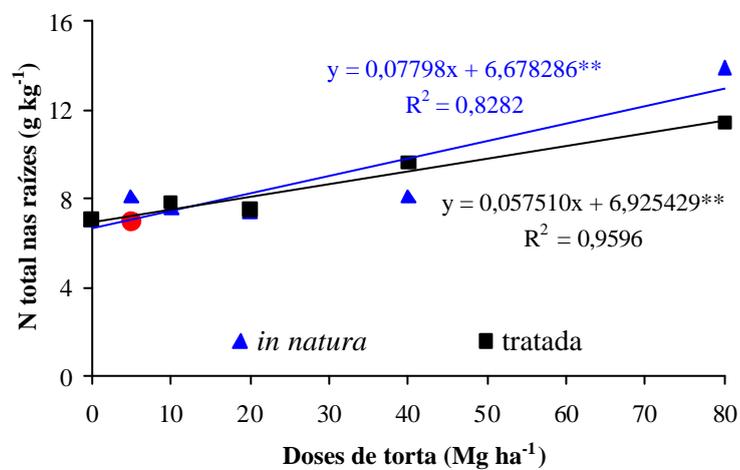
Anexo O – Massa fresca de raiz, área, comprimento e volume radicular no girrassol.

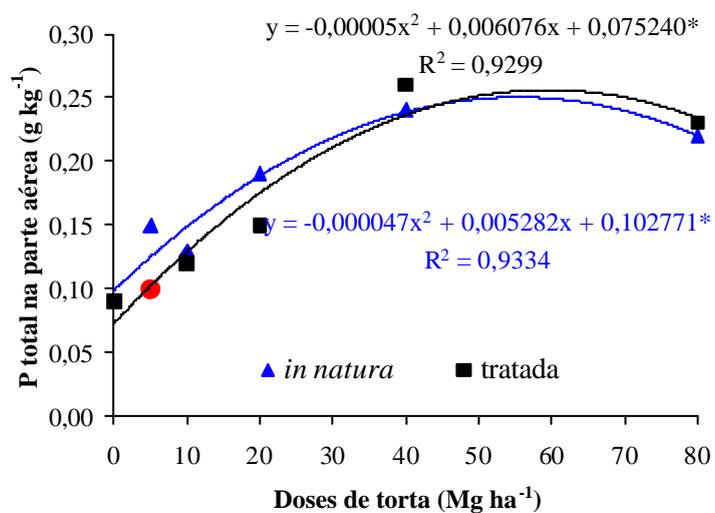
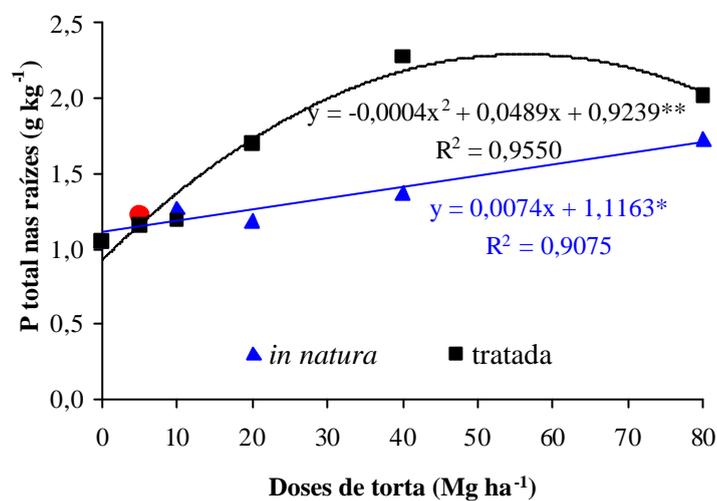
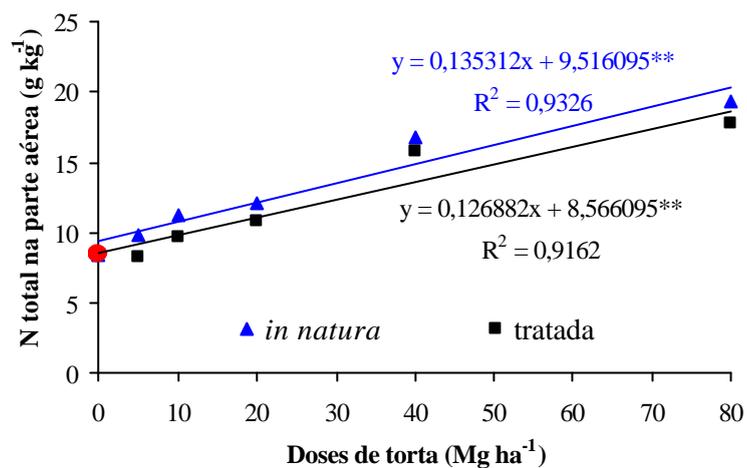


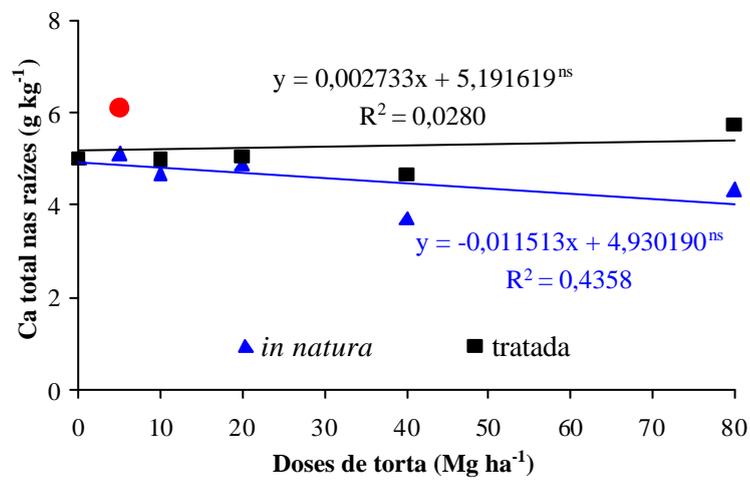
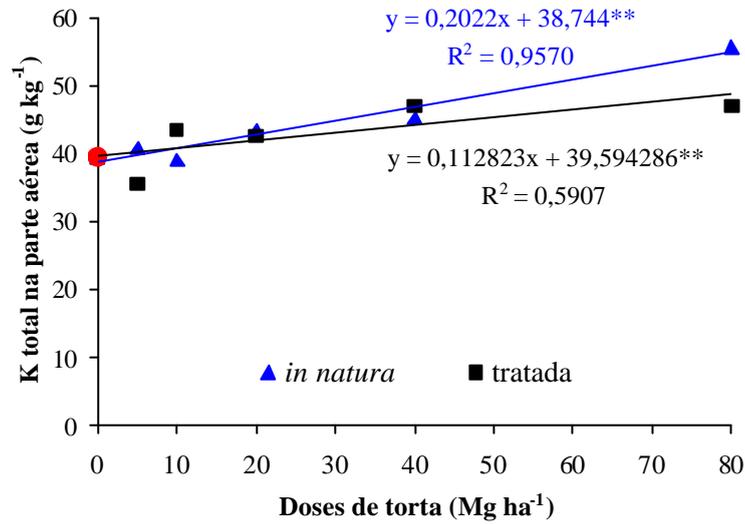
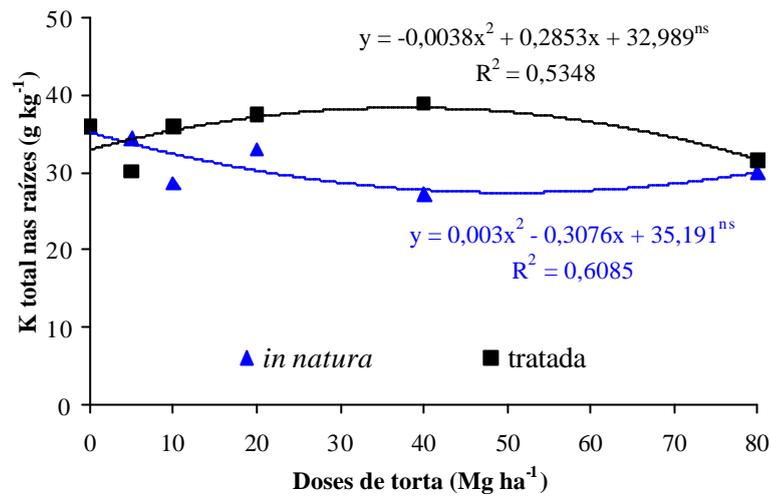


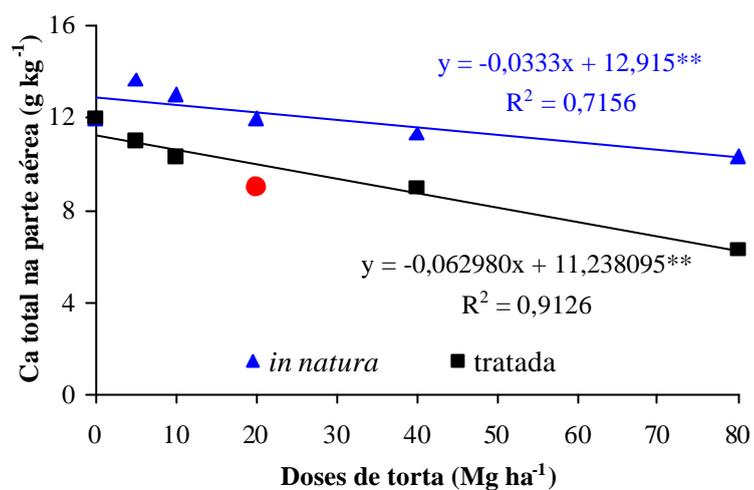
\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente; NS = Não significativo; ● = Adubação mineral com NPK.

#### Anexo P – Teores totais nos tecidos de N, P, K, Ca e Mg na raiz e parte aérea do girassol.



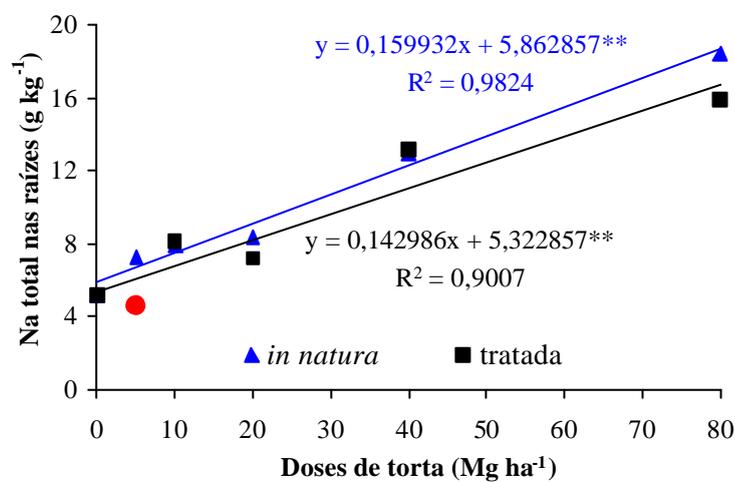


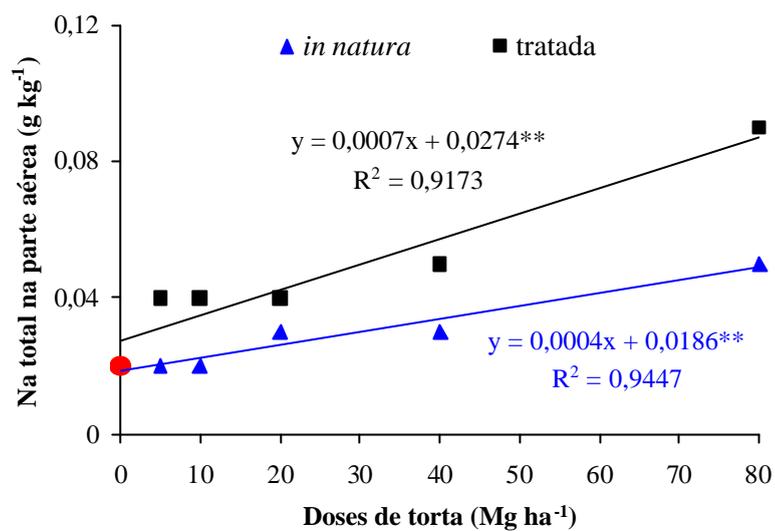




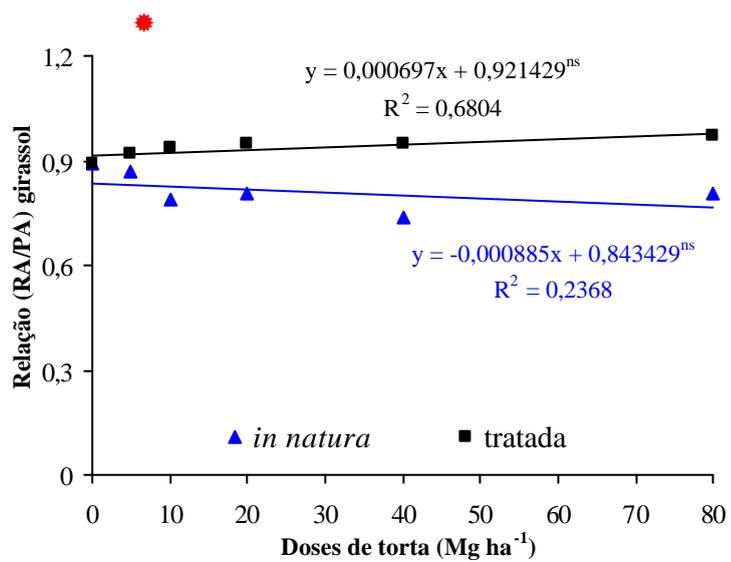
\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; \* = Adubação mineral com NPK.

#### Anexo Q – Teores totais de sódio na raize parte aérea do girassol

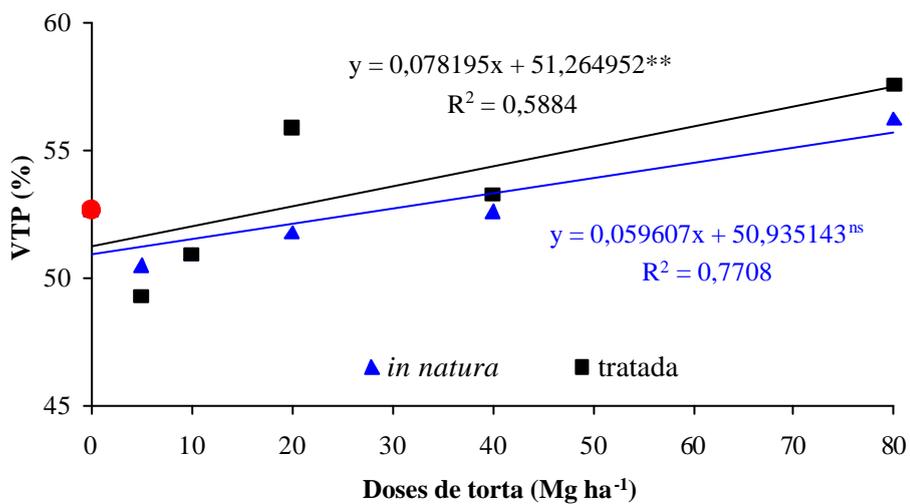
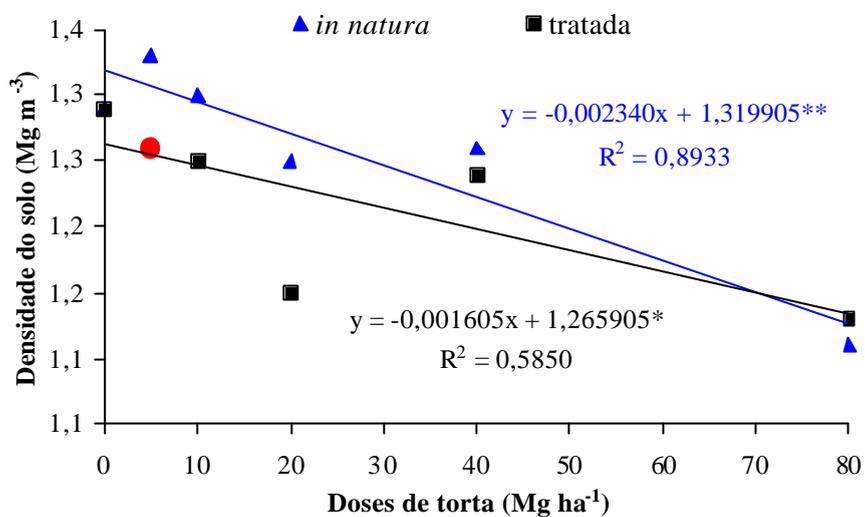




**Anexo R – Relação Raiz / parte aérea (R/PA) dos teores totais nos tecidos do girassol.**

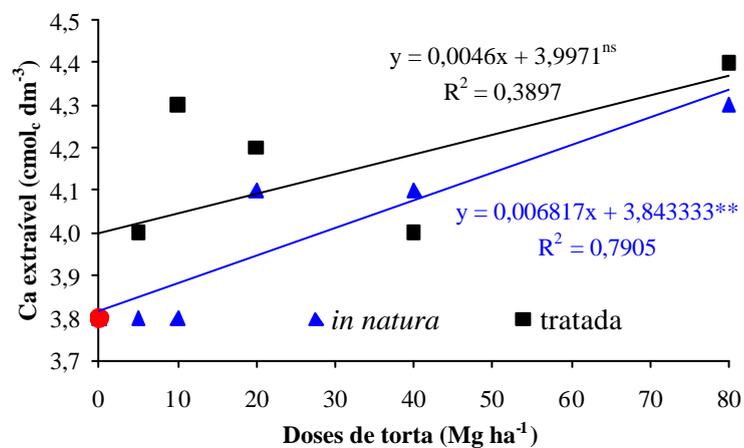
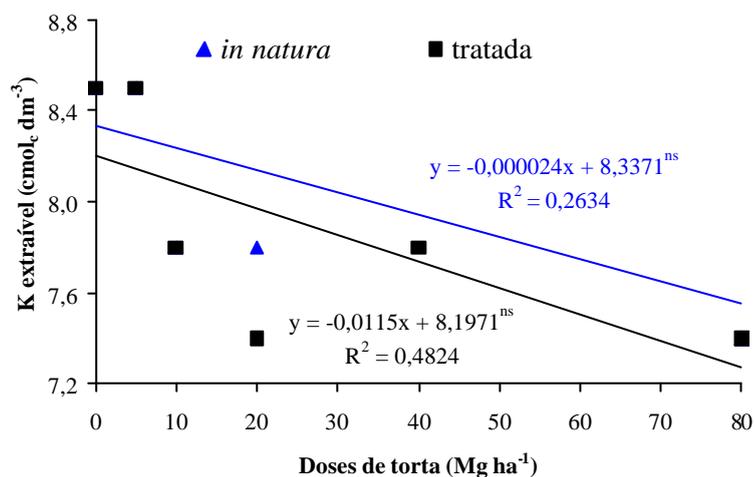
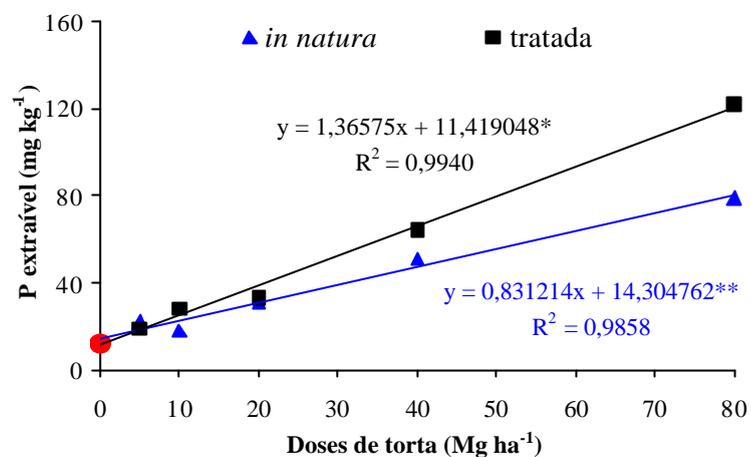


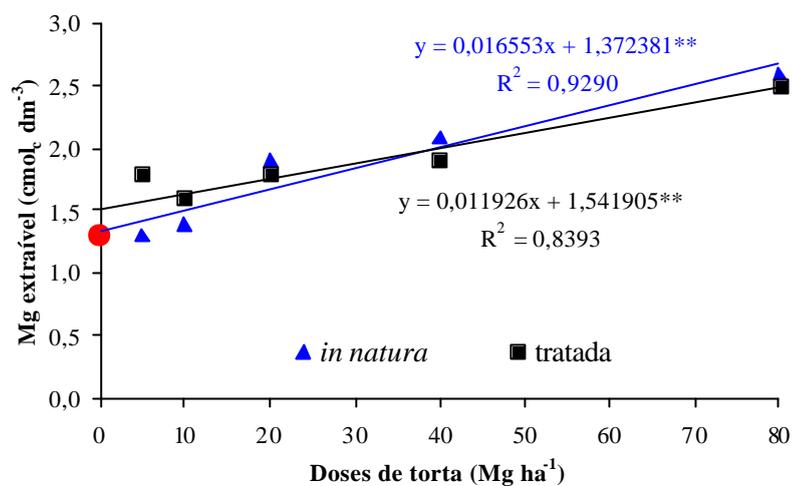
**Anexo S – Densidade e volume total de poros no substrato após o cultivo do girassol.**



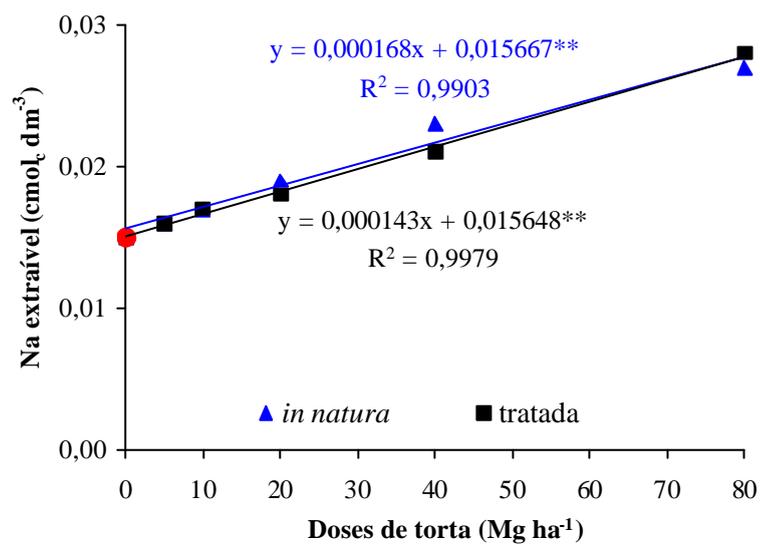
\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo;  $\bullet$  = Adubação mineral com NPK.

**Anexo T – Teores de P, K, Ca e Mg extraíveis do substrato (solo) após o cultivo do girassol.**

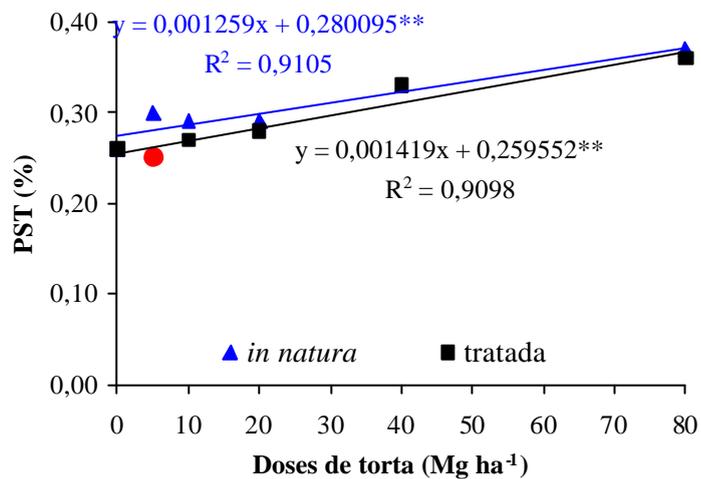
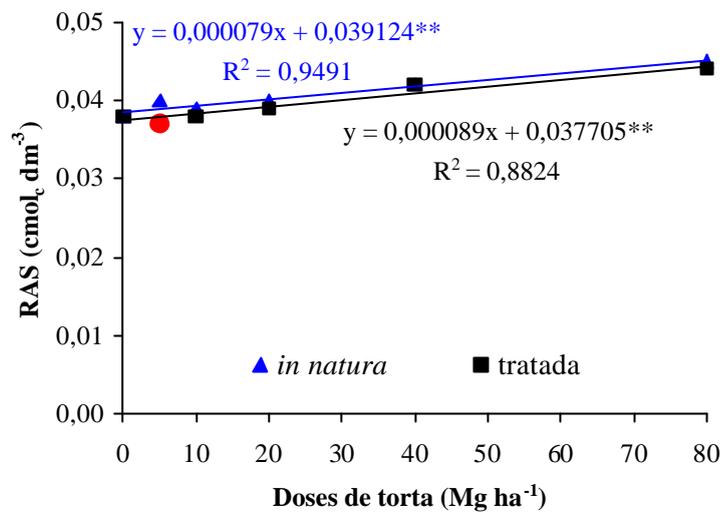




**Anexo U – Teor total de sódio, relação de adsorção e percentagem de saturação por sódio no substrato após o cultivo do girassol.**

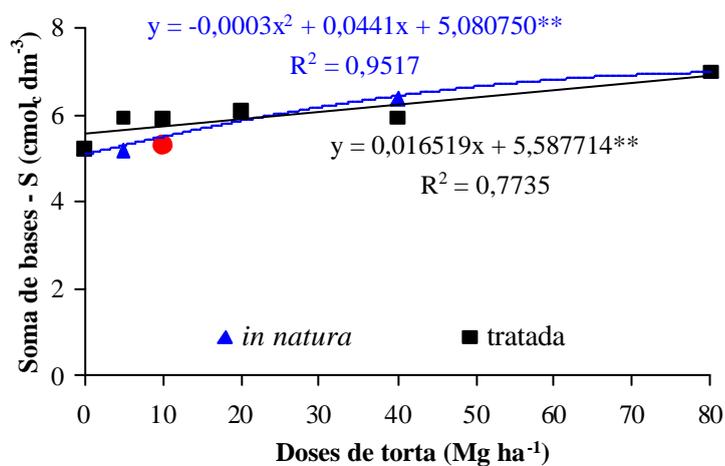
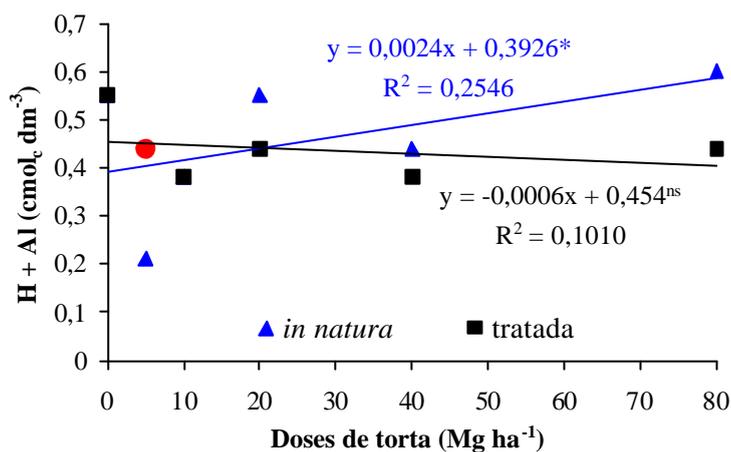
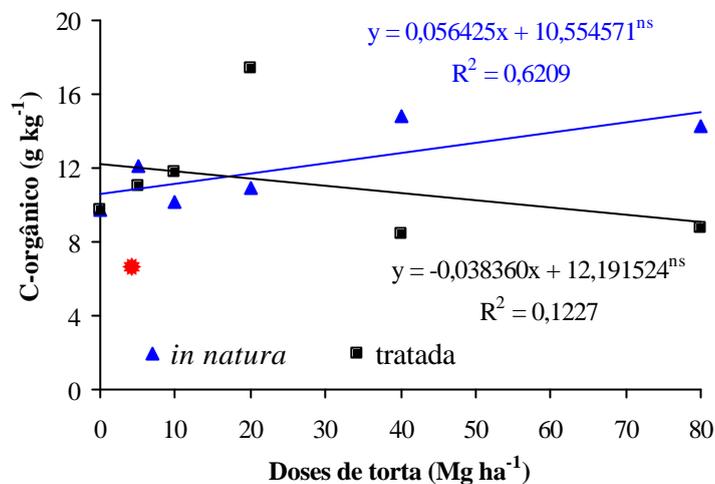


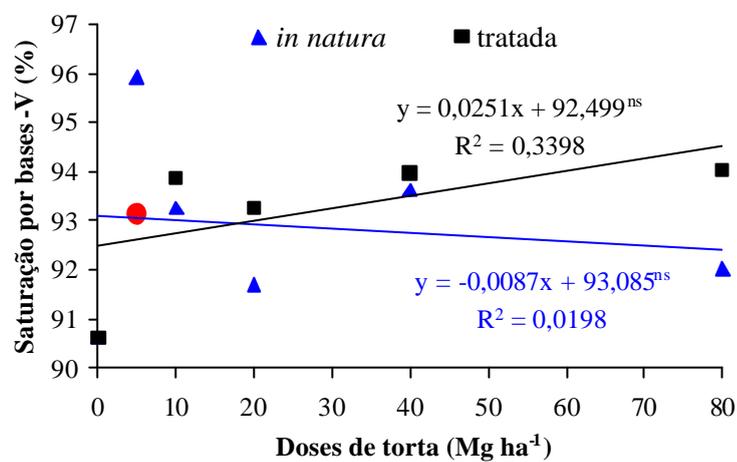
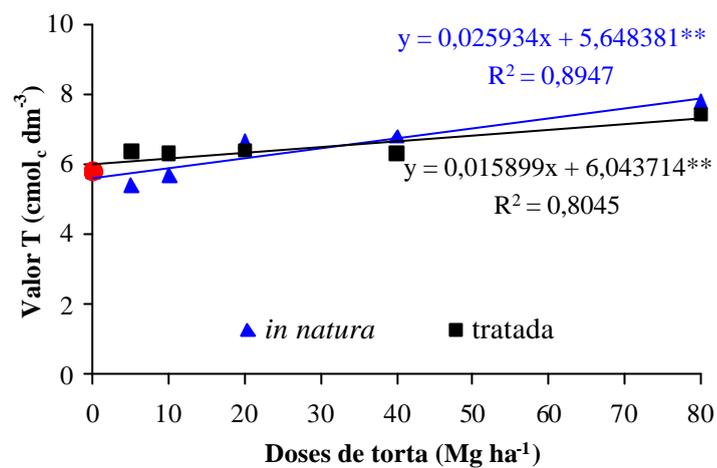
\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; ● = Adubação mineral com NPK.



\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
 NS = Não significativo; ● = Adubação mineral com NPK.

**Anexo V – Teor de carbono orgânico, acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (T), saturação por bases (V) no substrato após o cultivo do girassol.**





\*\* e \* = Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente;  
NS = Não significativo; \* = Adubação mineral com NPK.