



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

DESENVOLVIMENTO INICIAL DE *Ricinus communis* L. COM
SUBSTRATOS DE TORTA DE MAMONA E CASCALHO DE
PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

THIAGO OUVERNEY LEITE

Sob a Orientação do Professor
Everaldo Zonta

e Coorientação do Professor
Nivaldo Schultz

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

Seropédica, RJ
Maio de 2015

633.85
L533d
T

Leite, Thiago Ouverney, 1986-

Desenvolvimento inicial de *Ricinus communis* L. com substratos de torta de mamona e cascalho de perfuração de poços de petróleo / Thiago Ouverney Leite. – 2015.

50 f.: il.

Orientador: Everaldo Zonta.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2015.

Bibliografia: f. 41-47.

1. Mamona - Cultivo - Teses. 2. Mamona – Adubos e fertilizantes - Teses. 3. Resíduos industriais - Reaproveitamento - Teses. 4. Solos - Salinidade – Teses. 5. Cascalho – Teses. 6. Hidrocarbonetos – Teses. I. Zonta, Everaldo, 1970- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. 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**

THIAGO OUVERNEY LEITE

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no curso de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 25/05/2015.

Nivaldo Schultz. Dr. UFRRJ
(Coorientador)

Adriana Ururahy Soriano. Dra. PETROBRAS/CENPES

Glauco da Cruz Genúncio. Dr. UFRRJ

Ao meu pai ***Jorge Luiz Dias Leite***
(*In memoriam*),

Dedico

“A educação, se bem compreendida, é a chave do progresso moral.”

*“Todo efeito tem uma causa. Todo efeito inteligente tem uma causa inteligente.
O poder da causa inteligente está na razão da grandeza do efeito.”*

*“Honrar o pai e a mãe não é somente respeitá-los,
mas também assisti-los nas suas necessidades;
proporcionar-lhes o repouso na velhice;
cercá-los de solicitude,
como eles fizeram por nós na infância.”*

“Fora da caridade não há salvação.”

Allan Kardec

AGRADECIMENTOS

À Deus e a Santa Maria, que sempre me regem e me guardam.

À minha esposa Nicolle e a minha filha Ana Clara, pelo amor e companheirismo.

À minha mãe Elzirapor anos de dedicação na formação de meu caráter.

À família pela presença.

Ao meu orientador Prof. Dr. Everaldo Zonta pelo apoio, confiança e amizade.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Nivaldo Schultz pelo apoio e participação na melhor forma da discussão deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Estudos das Relações Solo-Planta (LSP) e aos funcionários do departamento de solos.

Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo (CPGA-CS).

Às empresas de fomento da bolsa, CNPq e FAPERJ.

À CAPES, PETROBRAS e FAPUR pelos auxílios financeiros.

À lindíssima e tão amada UFRRJ.

A todas as pessoas amigas que passaram nesta minha trajetória e que contribuíram, direta ou indiretamente, para mais esta conquista.

Muito obrigado!

RESUMO

LEITE, Thiago Ouverney. **Desenvolvimento inicial de *Ricinus communis* L. com substratos de torta de mamona e cascalho de perfuração de poços de petróleo.** 2015. 50f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

O cascalho de perfuração é um resíduo da indústria do petróleo produzido durante a perfuração de poços terrestres e marítimas, cujas características mineralógicas dependem da formação geológica presente ao longo da perfuração. Ao chegar à superfície, se encontra impregnado com fluido de perfuração utilizado durante o processo. O uso deste resíduo no solo tem sido discutido com frequência por apresentar limitações de ordem química, tanto de origem geológica (e.g. Fe, Mn, Zn, Cu) como provenientes do fluido de perfuração (e.g. Ba, Na e Hidrocarbonetos - HTP). A proposta deste trabalho foi de averiguar a amenização da salinidade ocasionada pela aplicação de cascalho, adicionando torta de mamona ao substrato e utilizando a mamoneira BRS-149, cv. Nordestina, como planta indicadora, buscando orientar e inferir limitações no uso conjunto destes resíduos. Foram utilizados vasos com capacidade de 8 dm³, utilizando doses proporcionais de cascalho (controle, 5, 15, 30, 45 e 60 Mg ha⁻¹) associado a doses de torta de mamona (controle, 2, 4, 8, 16 e 32 Mg ha⁻¹) em fatorial com três repetições durante 97 dias após plantio (DAP). Foram observadas melhorias no desenvolvimento morfológico da mamoneira, com a aplicação de 60 Mg ha⁻¹ de cascalho associado à 16 Mg ha⁻¹ de torta de mamona. Contudo, a dose de 60 Mg ha⁻¹ de cascalho causou estresse por apresentar acúmulo de Na nas folhas, o mesmo com a dose de 45 Mg ha⁻¹, onde a melhor relação, de cascalho e torta, neste contexto, foi de 15 e 32 Mg ha⁻¹, respectivamente. No que tange a melhoria do solo após o cultivo inicial de mamona, foi constatado que a aplicação de 30 Mg ha⁻¹ de cascalho foi suficientemente capaz de neutralizar o Al₃⁺ tóxico, na elevação do pH em torno de 6,5, e assim disponibilizando nutrientes para a cultura. Também verificou-se decomposição acentuada de HTP (acima de 92%) proveniente do metabolismo microbiológico no substrato, auxiliada pela adição de torta. Concluiu-se então que o emprego do cascalho em solo deve seguir orientações específicas e ponderadas, no que tange principalmente à salinidade, para que não haja prejuízo ambiental e à cultura da mamona.

Palavras-chave: Cascalho de perfuração. Torta de mamona. Hidrocarbonetos. Salinidade.

GENERAL ABSTRACT

LEITE, Thiago Ouverney. **Initial *Ricinus communis* L. development with substrates castor pie and drill cuttings of oil wells.** 2015. 50p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

The drill cuttings is a residue of the oil industry produced during the drilling of onshore and offshore wells. Their mineralogical characteristics depend on the geological formation present along the perforation. Upon reaching the surface, it is impregnated with drilling fluid used during the process. The use of this waste in soils has been discussed as it has limitations per se (e.g. high content of Fe, Mn, Zn, Cu) as a consequence of the drilling process (e.g. Ba, Na and hydrocarbons - HTP). The purpose of this study was to investigate the decrease of salinity after the application of gravel with castor cake to the substrate and using the castor bean BRS-149 cv. *Nordestina*, as plant indicator, to infer about limitations on the combined use of these wastes. Pots were used (8 dm³) with proportional doses of gravel (control, 5, 15, 30, 45 and 60 Mg ha⁻¹) associated with castor cake (control, 2, 4, 8, 16 and 32 Mg ha⁻¹) in a factorial design with three replications for 97 days after planting (DAP). Improvements were observed in the morphological development of castor bean plants, with the application of 60 Mg ha⁻¹ gravel associated with 16 Mg ha⁻¹ of castor cake. However, the dose of 60 mg ha⁻¹ of gravel caused stress due to accumulation of Na in leaves, the same for the 45 mg h⁻¹ dose. The best ratio of gravel and pie in this respect was of 15 and 32 mg h⁻¹, respectively. After the initial cultivation of castor bean plants, it was found that the application of 30 Mg ha⁻¹ of gravel was sufficiently capable to neutralizing the toxic Al³⁺; raising the pH to values around 6.5 and thus making the nutrients more available to the crop. Also, there was a marked HTP decomposition (above 92%) from the substrate metabolical microbiological increase, with the pie addition. It was therefore concluded that the use of gravel must follow specific guidelines especially due to salinity, to avoid possible impacts caused to the environmental and the crop (castor bean).

Keywords: Drill cuttings. Castor cake. Hydrocarbons. Salinity.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química do cascalho de perfuração.	5
Tabela 2. Caracterização química da torta de mamona.	5
Tabela 3. Caracterização química e granulométrica do Planossolo Háplico utilizado no experimento.	5
Tabela 4. Valores de correlação de Pearson (ρ) entre as fontes de variação (cascalho e torta) e o resultado da análise da fertilidade do solo após o cultivo da mamona.	29
Tabela 5. Porcentagem de HTP decomposto no solo nu em função das doses de cascalho aplicado, na ausência de planta e torta de mamona.	38
Tabela 6. Valores do quadrado médio da análise de variância da H, D, MSR, MSPA e AF de <i>Ricinus communis</i> L. em função das doses de cascalho e torta de mamona (fontes de variação – FV).	49
Tabela 7. Valores do quadrado médio da análise de variância dos teores totais dos seguintes nutrientes: N, P, K, Na, Ca e Mg na parte aérea (PA) de <i>Ricinus communis</i> L. em função das doses de cascalho e torta de mamona (fontes de variação – FV).	49
Tabela 8. Valores do quadrado médio da análise de variância dos teores totais dos seguintes micronutrientes: Fe, Mn e Zn na parte aérea (PA) de <i>Ricinus communis</i> L. em função das doses de cascalho e torta de mamona (fontes de variação – FV).	49
Tabela 9. Valores de quadrado médio da ANOVA com os respectivos níveis de significância dos pigmentos fotossintéticos extraídos por DMSO, nitrogênio (NFI) e área da folha indicadora (AFI) em função das fontes de variação (torta e cascalho) e sua interação (T*C).	49
Tabela 10. Valores de quadrado médio da análise de variância das análises de fertilidade do solo após o cultivo da mamona em função das fontes de variação e sua interação (T*C).	50
Tabela 11. Valores de quadrado médio da análise de variância dos parâmetros calculados à partir dos dados absolutos da análise de solo em função das fontes de variação (torta e cascalho) e sua interação.	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fotos do experimento. A – sementes de mamona (cv. BRS Nordestina); B – plantio das sementes; C – germinação das sementes; D – vista do experimento.	6
Figura 2. Aparelho LI-3100 AREA METER para leitura da área foliar total.	7
Figura 3. Altura das plantas e diâmetro do caule de mamoneira em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.	9
Figura 4. Imagem correspondente aos tratamentos com dose zero de torta (T) associado a doses crescentes de cascalho (C).	10
Figura 5. Imagem correspondente aos tratamentos com dose zero de Cascalho (C) associado a doses Crescentes de Torta (T).	10
Figura 6. Massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.	11
Figura 7. Área Foliar Total (AF) em função das doses de torta de mamona (T) e cascalho (C). Modelo de equação de regressão ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste t.	12
Figura 8. Teor de N na parte aérea (NPA) e N na folha (N_{folha}) da mamona em função de Cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelo de equação de regressão significativo a 1% de probabilidade.	13
Figura 9. Teor de P na parte aérea (PPA) e de P na folha (P_{folha}) da mamona em função de torta de mamona (T). Modelo de equação de regressão significativo a 1% de probabilidade.	14
Figura 10. Teor de K na parte aérea (KPA) e na folha (K_{folha}) da mamona em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelo de equação de regressão significativa a 1% de probabilidade.	15
Figura 11. Teor de sódio na parte aérea (NaPA) e na folha (Na_{folha}) em função das doses de cascalho. Modelos de equações de regressão para NaPA e Na_{folha} significativas a 1% de probabilidade.	16
Figura 12. Correlação entre o teor de sódio na parte aérea (NaPA) das plantas em função da disponibilidade de Na^+ no solo. Modelo de equação ao nível de significância de 1% de probabilidade pelo teste t.	16
Figura 13. Relação dos teores de sódio/potássio (Na/K) na folha, pecíolo, caule e raiz, em função das doses de cascalho de perfuração. Modelos de equação de regressão significativos a 1% de probabilidade.	17
Figura 14. Teores de cálcio na parte aérea (CaPA) e na folha (Ca _{folha}) da mamona em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativas a 1% de probabilidade.	18
Figura 15. Teores de magnésio na parte aérea (MgPA) e na folha (Mg_{folha}) da mamona em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativas a 1% de probabilidade.	19
Figura 16. Teores de ferro na parte aérea (a) e na folha (b) em função das doses de torta de mamona; Teores de manganês na parte aérea (c) e na folha (d) em função das doses de	

torta de mamona e cascalho de perfuração; teores de zinco na parte aérea em função das doses de cascalho (e). Modelos de equações de regressão significativas a 1% de probabilidade.	21
Figura 17. Teores de clorofila <i>A</i> (a), <i>B</i> (b), <i>total</i> (c) e carotenóides (d) em função de doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativas a 5% de probabilidade para clorofila <i>A</i> , <i>B</i> e <i>Total</i> e 1% para carotenóides.	24
Figura 18. Teores de nitrogênio (NFI) e área da folha da folha indicadora (AFI) em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativas a 1% de probabilidade.	25
Figura 19. Teor de Clorofila <i>A</i> (C_a), Clorofila total (C_{total}) e Carotenóides em função de NFI e AFI. Modelos de equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.	26
Figura 20. Relação entre os teores de clorofila <i>a</i> extraído e o Índice de Clorofila Falker correspondente à clorofila <i>A</i> (ICF <i>a</i>) e a relação dos teores de clorofila <i>total</i> extraído (clorofila <i>a</i> + <i>b</i>) e ICF <i>total</i> nos tratamentos de doses crescente de torta de mamona e 0,15 e 60 $Mgha^{-1}$ de cascalho. Modelos de equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade.	27
Figura 21. Correlação entre o Índice de Clorofila Falker (ICF) para clorofila <i>a</i> , <i>b</i> e <i>total</i> em função dos teores de N encontrados nas folhas indicadoras (NFI). Modelos de equação de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade.	27
Figura 22. Teor de sódio trocável ($Na^+_{trocável}$) e potássio disponível (K^+_{disp}) no solo após o cultivo da mamona em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Equação de regressão significativa a 1% de probabilidade pelo teste t.	30
Figura 23. Gráfico de superfície: teores de Al^{3+} trocável ($cmol_cdm^{-3}$) do solo após cultivo da mamona, em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Gráfico de dispersão: teores de Al^{3+} trocável ($cmol_cdm^{-3}$) do solo em função do pH encontrado. Modelos de equação de regressão ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.	31
Figura 24. Gráfico de superfície: valores de pH_{H_2O} do solo em função das doses de cascalho de perfuração (C) e torta de mamona (T). Gráfico de dispersão: valores de pH_{H_2O} do solo em função da aplicação das doses de cascalho. Equação de regressão múltipla significativa a 1% de probabilidade teste t.	32
Figura 25. Teor de fósforo assimilável (P_{ass}) no solo em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelo de equação de regressão significativo ao nível de 1% de probabilidade.	33
Figura 26. Teor de cálcio e magnésio disponível no solo (Ca^{2+}_{disp} e Mg^{2+}_{disp}) em função das doses de torta de mamona (T) e cascalho de perfuração (C). Modelos de equação de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade.	34
Figura 27. Valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) e porcentagem de sódio trocável (PST) em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equação de regressão significativas a 1% de probabilidade de ocorrência pelo teste t.	36
Figura 28. Porcentagem de decomposição de HTP em função das doses de cascalho, avaliados após o cultivo da mamona (97 DAS). Modelo de equação de regressão significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Origem e Características da Torta de Mamona.....	2
2.3. Origem e Características do Cascalho de Perfuração de Poços de Petróleo.....	2
2.3. A Cultura da Mamona (<i>Ricinus communis</i> L.)	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3.1. Avaliações	6
3.1.1. Biometria e biomassa das plantas	6
3.1.2. Análises de nutrientes	7
3.1.3. Pigmentos fotossintéticos	7
3.1.4. Análises de solo	8
3.2. Análises Estatísticas.....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
4.1. Efeitos Sobre a Morfologia das Plantas de Mamona	9
4.2. Efeitos Sobre as Concentrações de Nutrientes na Mamona	12
4.3. Efeitos Sobre os Pigmentos Fotossintéticos.....	22
4.4. Efeitos no Solo Após o Cultivo da Mamona	28
5. CONCLUSÕES	39
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
8. ANEXOS	48

1. INTRODUÇÃO

No Brasil os aterros ainda são principal destino dos resíduos, os quais na maioria das vezes não atendem aos padrões ambientais de qualidade. Contudo, a reciclagem de resíduos já é alternativa real em diversos países, como EUA, Holanda, Austrália. Um bom exemplo é o uso de resíduos orgânicos urbanos como fertilizantes e/ou condicionadores de solo, com ênfase para o composto de lixo e o lodo de esgoto (Pires e Mattiazzo, 2008). Neste mesmo contexto, destaca-se os oriundos da agroindústria, que de acordo com a origem têm pequena probabilidade de apresentar contaminantes em sua composição; como os co-produtos da indústria de açúcar e álcool, como torta de filtro, fuligem e vinhaça, cuja reciclagem é realizada nas áreas agrícolas da própria usina (Santos et al., 2010; Silva, 2007).

Sob o ponto de vista agrícola, a principal vantagem do uso de resíduos está no fornecimento de nutrientes e/ou adição de material orgânico que pode manter ou elevar a fertilidade do solo, assim como melhorar as suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Contudo, Pires e Mattiazzo (2008) salientam que as vantagens do uso de resíduos na agricultura devem ser estudadas e pesquisadas, já que normalmente, os resíduos possuem proporções nutricionais desbalanceadas para a nutrição vegetal (como exemplo as relações C/N, Ca/Mg e K/Mg), assim como o desconhecimento da eficiência de fornecimento destes nutrientes e ainda a composição química do material orgânico, além da possibilidade de estarem presentes nos resíduos substâncias e elementos potencialmente tóxicos ao ambiente.

De acordo com Glória (2004), a pesquisa nesta área deve seguir alguns aspectos fundamentais, tanto a respeito dos resíduos como dos solos. No tocante aos resíduos, o autor enfatiza a adequada caracterização (física, química e físico-química) como base para definir o seu uso no solo, além de observar os aspectos sanitários e ambientais (legislações pertinentes e normas técnicas vigentes), quantidade gerada e regime de liberação, assim como o conhecimento de sua origem e processo industrial ou agroindustrial da qual ele foi produzido.

Em relação ao solo, devem ser consideradas todas as características responsáveis pela capacidade do solo em desativar e estabilizar os resíduos, por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos, levando em consideração os preceitos legais existentes, a avaliação dos efeitos no solo, a taxa de aplicação e compatibilidade com a cobertura vegetal (Glória, 2004).

Ao lançar mão de resíduos das indústrias petroquímicas, para reutilizá-los em solos agrícolas, estudos complexos e com alta confiabilidade foram necessários, pelo alto potencial de contaminação ambiental. Avaliando todos os aspectos do resíduo em questão (Cascalho de Perfuração), houve a importância da utilização de uma fonte alternativa de matéria orgânica (Torta de Mamona) com vistas a estimular o crescimento das plantas e a atividade microbiana, para então, favorecer a decomposição de compostos orgânicos presente no cascalho (HTP).

A presente linha de pesquisa tem o intuito de apontar aplicabilidade no uso racional, tanto da torta de mamona como do cascalho de perfuração, e os limites de aplicação no desenvolvimento de novas tecnologias e medidas analíticas para uso adequado desses subprodutos. Visa-se, assim, indicar limitações para a aplicação destes resíduos em solos agrícolas, para o seu aproveitamento e minimização de fertilizantes minerais.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento da mamona em substrato com doses crescentes do cascalho de perfuração de poços de petróleo, isolado e associado a doses de torta de mamona, ambos resíduos da indústria de energia. Os objetivos específicos foram: avaliar o comportamento da mamona e a tolerância à salinidade decorrente de altas doses de Cascalho e de Torta de mamona; avaliar o comportamento da degradação de HTP; inferir o potencial do uso destes resíduos na agricultura, de forma isolada ou conjuntamente e estabelecer limitações destes para a produção de mamona.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Origem e Características da Torta de Mamona

Entende-se como torta de mamona o resíduo do processo de extração de óleo das sementes de mamona (*Ricinus comunis*) (Severino, 2005). Segundo Azevedo e Lima (2001), há geração de aproximadamente 1,2 toneladas de torta para cada tonelada de óleo extraído, considerando em média 45% de óleo nas sementes, podendo variar de acordo com essa porcentagem e com o processo de extração do óleo.

De acordo com Beltrão e Oliveira (2009), a torta de mamona tem sido usada predominantemente como adubo orgânico para a melhoria da fertilidade e estrutura física do solo, assim como propriedades inseticida e nematicida. Ainda relatam que o uso para ração animal é aceito do ponto de vista nutricional, por possuir alto teor de proteína, porém há elementos tóxicos e frações alergênicas (Ricina, Ricinina e CB-1A), necessitando tecnologia viável, em nível industrial, para processamento e eliminação destes para o consumo animal.

Atualmente existem estudos relacionados à diferentes rotas de utilização da torta, tais como a produção de etanol, que, segundo Melo et al. (2008), é capaz de atingir um rendimento de 102 litros de etanol por tonelada de torta de mamona processada, o que corresponde a 64% do etanol demandado na etapa de transesterificação do óleo da mamona para a obtenção dos ésteres etílicos. Segundo estes autores, este mesmo processo de destoxicação por hidrólise ácida da torta de mamona produz um subproduto sólido constituído essencialmente por fibras e proteínas com potencial de emprego na composição de rações.

Atualmente existem dois tipos de processos de produção de biodiesel, a tradicional, onde se utiliza de esmagamento das sementes para extração do óleo, e a rota PDS (Produção Diretamente da Semente), onde se lança mão de um catalisador à base de hidróxido de sódio na reação de transesterificação, aumentando assim o aporte de sódio na torta de mamona, proveniente deste processo.

O processo de produção de biodiesel direto da semente (PDS), possibilita a produção de biodiesel a partir das sementes de qualquer planta oleaginosa, sem a necessidade da etapa de extração do óleo. Neste processo, o hidróxido de sódio é comumente utilizado comocatalisador, aumentando o aporte de sódio na torta (torta-PDS), sendo menos oneroso que o uso de KOH.

Em estudo realizado por Silva et al. (2012) foi observado que o uso de torta in natura como fertilizante orgânico promoveu crescimento linear em função das doses aplicadas. Os autores justificam estes resultados pelo maior teor nutricional comparado à torta-PDS tratada, submetida à lavagem na proporção torta:água de 1:4 com a finalidade de diminuir a concentração de sódio da torta. Neste mesmo trabalho foram apresentados os teores de sódio na torta, levantando-se questão de excesso de sais de sódio poderem afetar as propriedades químicas e físicas do solo. Os autores concluíram que os teores residuais de sódio no solo foram maiores na medida em que as doses de torta foram se elevando, embora não tenham prejudicado à mamoneira.

2.3. Origem e Características do Cascalho de Perfuração de Poços de Petróleo

Com a descoberta de petróleo em camadas mais profundas no Brasil, conhecidas como pré-sal, aumentam as reservas petrolíferas do país. Entretanto, apesar das inúmeras vantagens econômicas e energéticas, a exploração petrolífera traz o ônus da poluição ambiental.

Dentre os rejeitos produzidos pela atividade de exploração de poços de petróleo, o cascalho de perfuração merece destaque, em razão da sua importância como potencial agente poluente, em função do fluido utilizado (Dias et al., 2005). Estima-se que a geração deste

resíduo no Brasil está em uma ordem de 60.000 toneladas de cascalho por ano, o que faria deste material um resíduo potencialmente poluidor se armazenado ou usado em local inapropriado.

O cascalho é um resíduo composto por rocha triturada e fluido de perfuração, o qual possui diferentes substâncias que lhes conferem propriedades distintas. Dentre estes componentes, destaca-se o sódio, a baritina ou barita e compostos derivados do petróleo (ex.: Hidrocarbonetos Totais de Petróleo – HTP). Ao chegar a superfície, a maior parte do fluido é separado do cascalho e reaproveitado nas sondas de perfuração, mas parte dele permanece aderido ao cascalho que é gerado, impregnando-o. Quanto melhor a separação e o reaproveitamento do fluido, menor é a fração residual encontrada no cascalho. Portanto, é preciso atenção ao separar, reaproveitar e descartar este material, o qual pode ser responsável pela poluição do solo e de águas subterrâneas.

De acordo com Fam et al. (2003), os fluidos de perfuração são misturas de diferentes componentes, em que cada um deles é adicionado para acrescentar certas propriedades aos fluidos, como por exemplo: melhorar a taxa de penetração; resfriar, limpar e lubrificar a broca; dar estabilidade à parede do poço e controlar as pressões de formação. Assim sendo, a complexidade composicional do cascalho será de acordo com o tipo de fluido utilizado e da formação geológica em que se perfura.

Os fluidos de perfuração podem ser classificados em três grupos principais, dependendo do líquido base utilizado, são eles: fluidos de base sintética, fluidos à base de óleo e fluidos a base de água (Ball et al, 2012). Nos fluidos a base água, os sólidos são suspensos em água e possuem uma argila extremamente hidrofílica que aumenta a viscosidade e impede a perda de fluido durante a perfuração. Nos fluidos a base de óleo, os sólidos são suspensos em um destilado de hidrocarbonetos (por exemplo, óleo diesel ou óleo mineral) em vez de água e podem conter barita ($BaSO_4$) utilizadas para controlar a pressão hidrostática devido sua alta densidade. Já nos fluidos a base de óleo sintético, os sólidos são suspensos em um óleo sintético (como ésteres vegetais, olefinas, éteres e outros), que fornecem desempenho de perfuração comparável aos fluidos a base de óleo, porém com menor efeito sobre a saúde ambiental e ocupacional (Ball et al, 2012).

Segundo Carls et al. (1995), o cascalho ao entrar em contato com o fluido de perfuração, adquire valores altos de sais, principalmente de sódio, devido a utilização de aditivos como cloreto de sódio e soda cáustica, servindo para controlar o pH do fluido e como inibidor de argila, auxiliando na cimentação da parede do poço. Magalhães (2011) observou que em condições de oxidação, o teor de sódio no lixiviado (ensaio em coluna de lixiviação) foi maior, concluindo que a causa deste aumento foi a maior taxa de decomposição de compostos orgânicos presentes no cascalho de perfuração, principalmente os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), associados ao sódio.

2.3. A Cultura da Mamona (*Ricinus communis* L.)

Originária, provavelmente da Etiópia (África), a mamona possui grande número de variedades adaptadas a diferentes regiões e climas. Não existe um consenso para a determinação de seu centro de origem, já que há relatos antigos de seu cultivo na Ásia, Egito e Grécia antiga para diversos fins. No Brasil, a mamona foi trazida pelos portugueses com a finalidade de extrair seu óleo a fim de utilizá-lo em iluminação pública e lubrificação de eixos de carroça (Cangemi et al. 2010).

De acordo com a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec) o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de mamona atingindo 93.025 toneladas em 2010, perdendo somente para a Índia (1.150.000 toneladas) e China (180.000 toneladas), responsáveis por mais de 80% da produção mundial. De acordo com a análise da Ageitec sobre os dados da

FAOSTAT (2012), em 2009 o Brasil se colocou em segundo lugar dentre os países exportadores de grãos de mamona. Em seu terceiro levantamento de grãos feito pela Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (dez./2014) para a safra 2014/15, é esperado para a mamona um crescimento de 57,9%, passando de 44,7 mil toneladas, para 70,6 mil toneladas na atual safra.

De maneira geral, a mamoneira é uma oleaginosa de elevado valor industrial, já que atualmente o óleo extraído de suas sementes é matéria-prima para a elaboração de diversos produtos, em especial na produção de energia como o Biodiesel. Outra característica peculiar diz respeito à queima sem deixar resíduos e de suportar altas temperaturas sem perder a viscosidade. Assim, o óleo de mamona é utilizado na indústria automobilística (lubrificantes), cosmética (esmaltes) e médica (órgãos artificiais). Porém, como em qualquer atividade industrial, o processo de produção do óleo obtêm-se subprodutos, neste caso a torta de mamona, resíduo orgânico de elevado potencial como condicionador de solo, que demanda melhor entendimento sobre sua influência no meio ambiente.

Segundo Holanda (2004) a mamona é uma cultura energética que presta-se à agricultura familiar, já que pode se basear em lavouras de sequeiro, convivendo naturalmente com o regime pluviométrico. Assim, acredita-se que as regiões mais carentes do Brasil poderão vir a ser grandes produtoras de mamona destinadas para à produção de, por exemplo, biodiesel.

De acordo com Andrade (2007) a agricultura no estado do Rio de Janeiro ainda é considerada pouco importante por representar 1% de seu PIB, contudo é o setor que mais gera empregos por unidade monetária aplicada. Assim, de certa forma, o cultivo de oleaginosas para a produção de biodiesel pode ser uma atividade positiva na região Norte e Noroeste Fluminense, região esta que possui atividade econômica concentrada, em grande parte, na indústria sucroenergética, setor que atualmente encontra-se em crise e força a busca por alternativas de renda para a população. Logo, incentiva-se a diversificação cultural de exploração agrícola no cultivo de culturas oleaginosas como amamona, o girassol, o amendoim, o nabo forrageiro, o gergelim, o dendê e a soja, entre outras.

Assim, novas possibilidades de geração de emprego e renda surgem associadas aos conceitos de desenvolvimento local e territorial, apoiadas pelo governo estadual pelo Decreto Estadual nº 37.927, de 06.07.2005, instituindo o Programa Rio Biodiesel, em estímulo a produção do biocombustíveis no Estado do Rio de Janeiro (Andrade, 2007).

De acordo com Malavolta et al. (1997) e a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), os teores considerados adequados para nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no cultivo de mamona são, respectivamente, 40,0 a 50,0 gkg⁻¹, 3,0 a 4,0 gkg⁻¹, 30,0 a 40,0 gkg⁻¹, 15,0 a 25,0 gkg⁻¹ e 2,5 a 3,5 gkg⁻¹. Pacheco et al, (2008) avaliaram o estado nutricional da mamoneira cv. IAC 226 num solo da chapada da bacia do rio Jequitinhonha e registraram os níveis críticos foliares dos mesmos elementos, sendo respectivamente, 53,7 gkg⁻¹, 3,0 gkg⁻¹, 24,3 gkg⁻¹, 18,0 gkg⁻¹, 2,5 gkg⁻¹. Para o enxofre conclui que a máxima eficiência física ocorre em torno de 2,7 gkg⁻¹ e para os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn, 29, 8, 199, 47 e 27 gkg⁻¹, respectivamente.

Neste sentido, será analisado no presente estudo algumas associações de torta de mamona com cascalho de perfuração, com a finalidade de apresentar o melhor conjunto, observando o desenvolvimento inicial da cultura da mamona, em um experimento controlado, avaliando os teores nutricionais da planta e o quanto se observa de aporte nutricional fornecido pelos resíduos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A condução do experimento foi em casadevegetação, na área experimental do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da UFRRJ, Seropédica/RJ, cujas coordenadas são 22° 45' 48,74" S e 43° 41' 19,01" O. Avaliaram-se os efeitos das diferentes doses de torta de mamona e do cascalho de perfuração de poços de petróleo no desenvolvimento inicial da cultura da mamona (cv. BRS Nordestina – BRS-149).

O cascalho de perfuração utilizado neste experimento foi proveniente da perfuração de poços da Petrobrás, da Unidade Operacional da Bahia (UOBA; poço 7-MGP-98D-BA) e a torta de mamona utilizada foi adquirida em uma casa comercial do CEASA-RJ, sendo apresentadas as características químicas do cascalho e torta, respectivamente na Tabela 1 e na Tabela 2.

Tabela 1. Caracterização química do cascalho de perfuração.

Ca	Mg	N	P	K	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	HTP	pH _{H2O}
-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----					
31,8	15,2	1,77	0,56	3,3	38,5	30053,2	40,4	646,4	67,2	20271	6,83

PRESOTTO, R. A. (2014)

Tabela 2. Caracterização química da torta de mamona.

Ca	Mg	N	P	K	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----				
8,69	3,98	55,54	5,4	12,52	0,0	1845,5	3,17	101,5	177,3

No delineamento experimental foram utilizados seis níveis de torta de mamona (controle; 2; 4; 8; 16 e 32 Mgha⁻¹) e seis de cascalho (controle, 5; 15; 30; 45; 60 Mgha⁻¹), em experimento fatorial inteiramente casualizado (6 x 6 x 3), contendo seis níveis de cada resíduo e três repetições, totalizando 108 unidades experimentais, o tempo de duração foi de 97 dias após o plantio (DAP).

Para a montagem do experimento foi utilizado como substrato principal a terra de horizonte superficial (0-20cm) retirado do campus de Seropédica da UFRRJ, classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013) como um Planossolo Háplico. O solo foi coletado, secado naturalmente à sombra e, posteriormente, peneirado em malha de 4 mm, cujas características físicas e químicas apresentam-se na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização química e granulométrica do Planossolo Háplico utilizado no experimento.

pH _{H2O}	Areia	Silte	Argila	C _{org}	Na	K	Ca	Mg	H+Al	Al	T	V	P
	-----g kg ⁻¹ -----			%	-----cmol _c kg ⁻¹ -----						%	mg kg ⁻¹	
5,4	890	60	50	0,94	0,06	0,09	1,20	0,60	2,80	0,00	4,75	41	62

A incorporação dos tratamentos ao solo foi feita em betoneira por 5 minutos, sendo posteriormente alocadas nos vasos de 8dm³, onde adicionou-se água suficiente para atingir 70% da capacidade de campo.

As sementes utilizadas foram de Mamona (*Ricinus communis* L.) da cv. BRS-149 Nordestina. Foram semeadas dez sementes por vaso em 22 de outubro de 2013, sendo que, na ocasião do desbaste, aos 21 DAP, houve a necessidade de transplântio, cujo critério baseou-se de forma a transplântar mudas de parcelas com menor dose de torta e cascalho para as de maior dose, deixando-se, ao final, duas plântulas por vaso para as análises pertinentes. A coleta final ocorreu em 27 de janeiro de 2014, totalizando 97 DAP.



Figura 1. Fotos do experimento. A – sementes de mamona (cv. BRS Nordestina); B – plantio das sementes; C – germinação das sementes; D – vista do experimento.

3.1. Avaliações

3.1.1. Biometria e biomassa das plantas

Em todas as unidades foram feitas as medições morfológicas de altura da planta (H) (mensuradas da base à gema apical) e diâmetro do caule (D) (padronizadas a uma altura de 3 cm da base da planta), semanalmente até 97 DAP. Ao final do experimento, as plantas foram coletadas e separadas em raízes, caules, pecíolos e folhas, que em seguida foram colocadas para a secagem em estufa com circulação forçada de ar quente com variação de 65°-70° C conforme padronizadas por Tedesco et al. (1995). Após a secagem foram determinadas, respectivamente, a massa seca das frações raízes, caules, pecíolos e folhas (MSR; MSC; MSP; MSF). Os limbos das plantas foram medidos para a determinação da área foliar total (AF), no equipamento LI-3100 AREA METER (Figura 2).

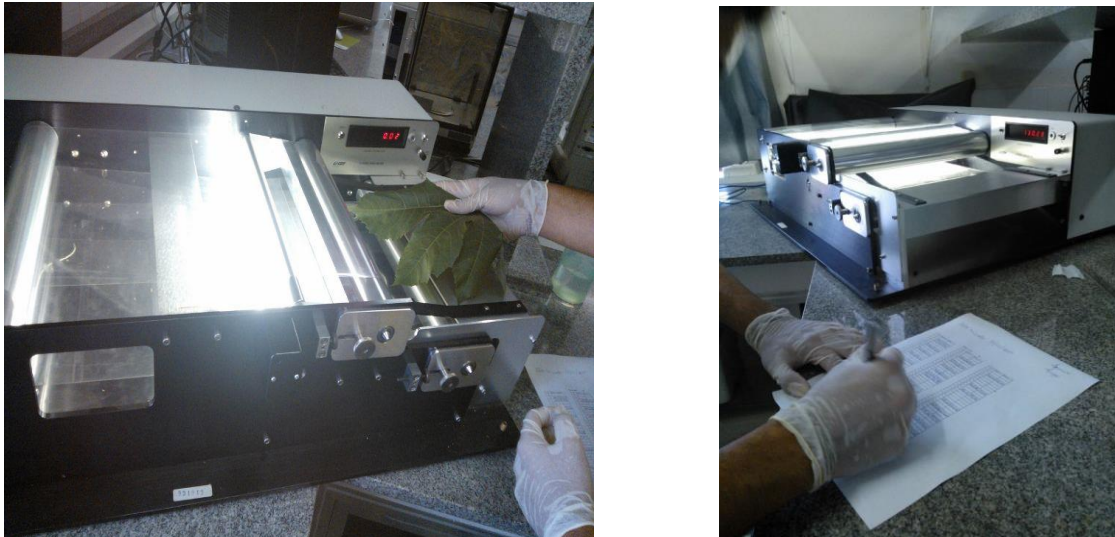


Figura 2. Aparelho LI-3100 AREA METER para leitura da área foliar total.

3.1.2. Análises de nutrientes

Para a determinação de teores totais de nutrientes (P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn e Zn) nas plantas, foi feita digestão com HNO_3 , utilizando aproximadamente 0,25g de tecido vegetal no digestor de micro-ondas da marca MARS XPRESS[®], programado de acordo com o método 3052A (USEPA, 1996). Depois de digerida, a amostra foi diluída para 50 ml com água mili-Q[®], sendo realizadas as quantificações de Na e K por fotometria de emissão, do P por colorimetria com metavanadato (Malavolta et al., 1997) e os demais elementos por espectrofotometria de absorção atômica.

O teor de N foi determinado por combustão de acordo com a metodologia de Dumas (Keeney e Bremner, 1967) utilizando o aparelho Rapid N Cube.

3.1.3. Pigmentos fotossintéticos

Para a avaliação dos pigmentos fotossintéticos foram utilizadas as folhas indicadoras representadas pelo 4^o limbo expandido no sentido ápice/base aos 97 DAP. Tais avaliações foram realizadas através de método não destrutivo e destrutivo. Para o método não destrutivo foi utilizado o aparelho portátil ClorofiLOG[®] modelo CFL 1030, produzido pela Falker Automação Agrícola (Porto Alegre, Brasil). Através deste são fornecidos valores adimensionais de leitura das clorofilas *a*, *b* e total (*a+b*), sendo denominado de ICF (Índice de Clorofila Falker) (Junior, E.B; 2009). Já para o método destrutivo, foram retirados das mesmas folhas avaliadas no método não destrutivo, dois discos de 10mm de diâmetro cada. Utilizou-se o método clássico de extração (destrutivo) com Dimetilsulfóxido (DMSO) como solvente orgânico, de acordo com os procedimentos descritos por Hiscox e Israelstam (1979), sendo imersos em 10 ml de solvente dentro de vidros âmbar, os quais foram mantidos no escuro por 48 horas, procedendo às leituras de absorvância (*A*).

As leituras foram submetidas às equações de Wellburn (1994) (Eq.: 1, Eq.: 2 e Eq.: 3 do Anexo A) adaptadas aos comprimentos de onda 470, 646 e 663 nm para a quantificação das clorofilas *a* e *b*, clorofila total e carotenóides (C_a ; C_b ; C_t ; C_{x+c} , respectivamente, onde C_t é a soma de C_a com C_b) conforme Rigonet, al. (2012).

Nos respectivos limbos, foram realizadas as medições de área foliar e teor de N descritos anteriormente.

3.1.4. Análises de solo

Após a coleta das plantas, foram retiradas amostras representativas de substrato dos vasos correspondendo cada unidade experimental, para a determinação de teores totais de P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn e Zn do solo, assim como os teores trocáveis de P, Ca, Mg, K e Na (Embrapa, 1997). Pela metodologia da Embrapa (1997) foram determinados o valores de pH em água na proporção 1:2,5 (solo:água), carbono orgânico (Corg.), alumínio trocável (Al^{3+}), capacidade de troca catiônica (T), soma de bases (S). Além da percentagem de sódio trocável(PST) e condutividade elétrica da pasta saturada (CE a 25° C).

Para a determinação de hidrocarboneto total de petróleo (HTP) foi coletada uma amostra ($\pm 50g$) do substrato em cada unidade experimental, que foi analisada, em laboratório externo, por cromatografia gasosa de alta resolução acoplada a um espectrofotômetro de massa, de acordo com a metodologia EPA 8015B da Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA, 2005).

3.2. Análises Estatísticas

Os dados obtidos nas triplicatas foram submetidos à análise de variância, sendo as médias das variáveis relacionadas aos tratamentos comparadas pelo teste de tukey ($p \leq 0,05$), e as referentes às doses de cada tratamento ajustadas a modelos de regressão, com significância dos coeficientes testada pelo teste t ($p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeitos Sobre a Morfologia das Plantas de Mamona

O aumento das doses de torta e cascalho proporcionou melhor desenvolvimento inicial das plantas resultando na elevação do diâmetro do caule e da altura das plantas de mamona no momento da coleta final (Figura 3).

Houve interação positiva para o aumento das doses de torta e cascalho, verificando-se que o desenvolvimento das plantas foi favorecido quando os resíduos foram aplicados associados, ou seja, em misturas. O crescimento máximo da altura da planta e do diâmetro do caule foi verificado nas doses de 60 Mg ha⁻¹ de cascalho e 32 Mg ha⁻¹ de torta de mamona.

Em estudo realizado por Cavalcanti et al. (2005) sobre a tolerância de mamona à salinidade, houve decréscimo nos valores de diâmetro do caule e altura da planta à medida que houve aumento da salinidade da água de irrigação. Contudo, a particularidade no uso de resíduos (cascalho), é que embora incrementalmente os teores de Na⁺ na parte aérea da planta (média de 4,5 g kg⁻¹ de Na PA) há também o aporte de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas, como o Ca, Mg, P e K (Tabela 1), minimizando, assim, os efeitos tóxicos do Na⁺ pelo efeito da diluição. (Cavalcanti et al., 2005).

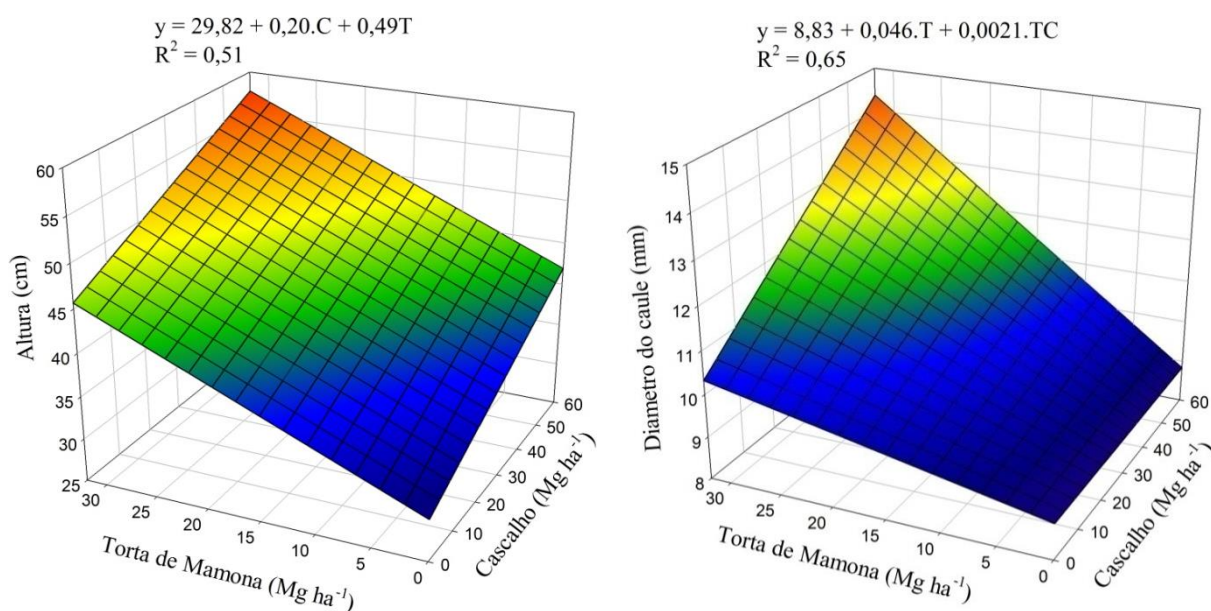


Figura 3. Altura das plantas e diâmetro do caule de mamoneira em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Na Figura 4, visualiza-se a mamona aos 97 DAP representada pelas unidades experimentais correspondentes aos tratamentos com doses crescentes de cascalho e dose zero de torta. O aumento das doses de cascalho promoveu crescimento da biomassa, o que se confirmou com a avaliação de superfície da matéria seca da parte aérea das plantas – MSPA (Figura 6), porém com aspecto de intensa senescência das folhas basais. Esta senescência pode ser decorrente do estresse salino, uma vez que houve correlação positiva entre os teores totais de Na⁺ na parte aérea e o Na⁺ trocável no solo, conforme demonstrado na Figura 12, através da análise de dispersão das médias dos tratamentos.

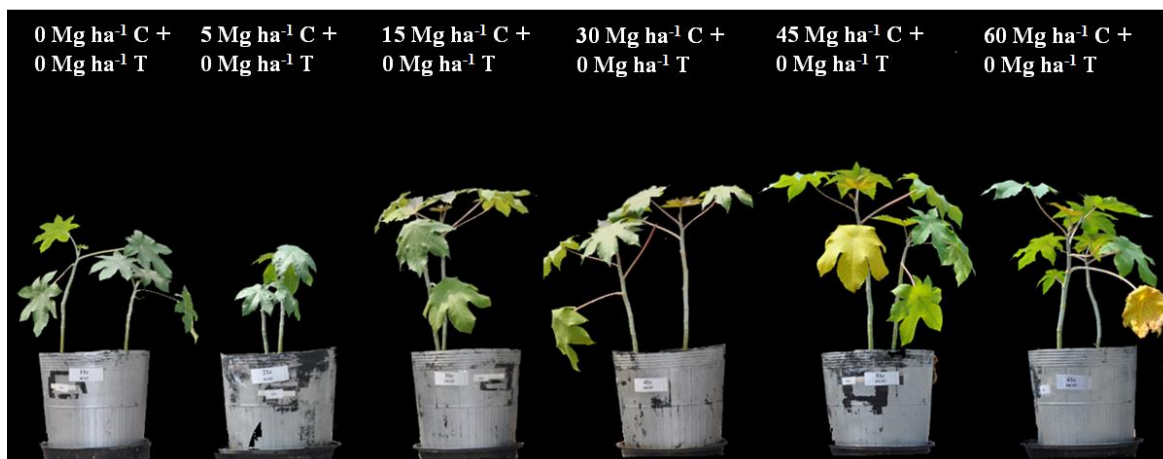


Figura 4. Imagem correspondente aos tratamentos com dose zero de torta (T) associado a doses crescentes de cascalho (C).

A Figura 5 mostra as plantas crescidas nos tratamentos com doses crescentes de torta de mamona sem aplicação do cascalho, constatando-se que o aumento das doses de torta possui alta significância de correlação ($\rho = 0,62$) com o aumento da MSPA e consequentemente com o crescimento das plantas da mamoneira. Entretanto, ressalta-se que em doses altas ocorreu um desfavorecimento, provavelmente relacionado ao efeito de diluição nutricional, podendo ter acarretado desbalanço nutricional. Estes resultados são confirmados pelas equações de superfícies de regressão de MSPA e matéria seca das raízes (MSR) em função das doses de torta de mamona e cascalho de perfuração (Figura 6).

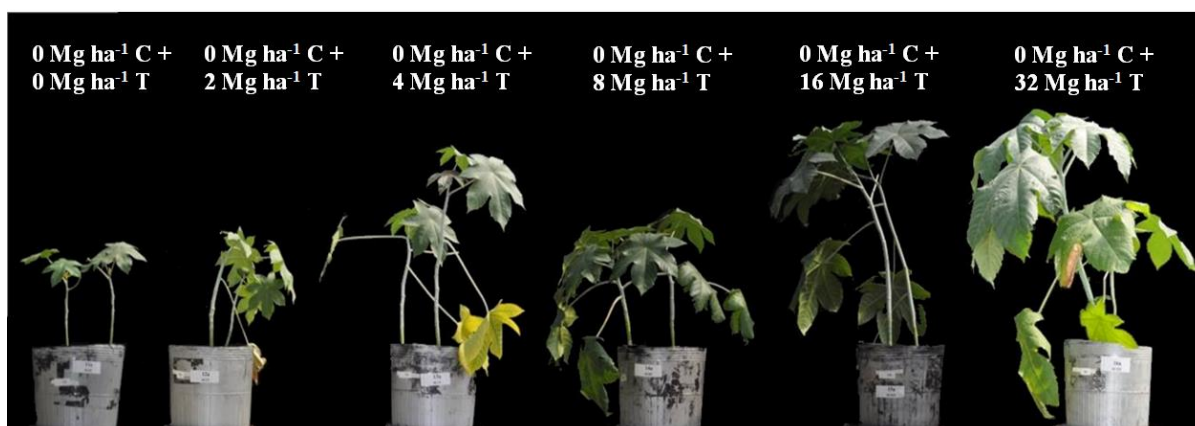


Figura 5. Imagem correspondente aos tratamentos com dose zero de Cascalho (C) associado a doses Crescentes de Torta (T).

De forma geral, o melhor desempenho encontrado em relação à biometria e biomassa da mamona foi proporcionado pela interação do cascalho de perfuração com a torta de mamona, favorecido pelo sinergismo das qualidades de ambos os resíduos nos valores de 60 Mg ha^{-1} e 20 Mg ha^{-1} , respectivamente (Figura 6). O efeito quadrático da torta de mamona, tanto para a MSPA quanto para a MSR, indica um incremento de biomassa máximo ao atingir 20 Mg ha^{-1} de torta de mamona para a MSPA e 15 Mg ha^{-1} para a MSR.

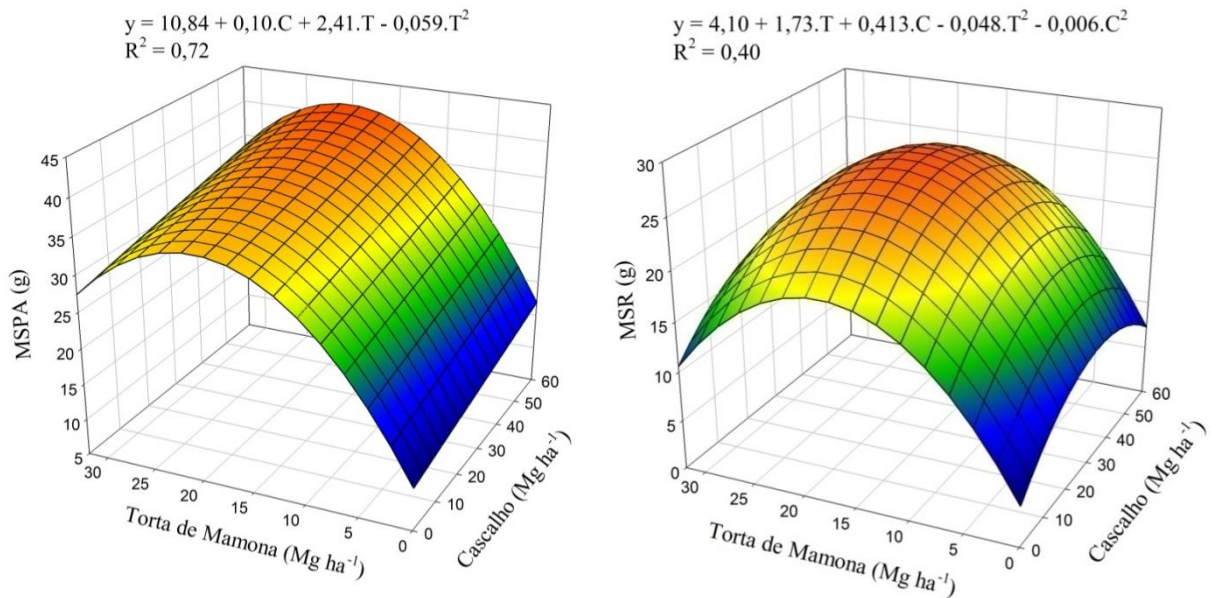


Figura 6. Massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

A avaliação da área foliar total em função das doses de torta de mamona e cascalho de perfuração são demonstrados através da análise de superfície de regressão, apresentando ajuste quadrático para torta, sendo o maior desenvolvimento das folhas observado com as doses entre 20 e 25 Mg ha⁻¹ (Figura 7). Houve pouca influência do cascalho no crescimento das folhas, sugerido pelo modelo de equação da Figura 7.

A área foliar é um dos mais importantes índices de crescimento das plantas, pois retrata o tamanho do seu aparelho assimilatório, o qual está diretamente relacionado com os processos fisiológicos das plantas (Fotossíntese). De acordo com Ribeiro et al. (2009), trabalhando com a cultivar BRS-188 Paraguaçu, a medição da área foliar da mamoneira é uma ação importante para a pesquisa com essa cultura, por tratar-se da característica que melhor expressa à adequação, ou não, das condições ambientais ao desenvolvimento da planta. Segundo Reddy e Matcha (2010) e Lima et al. (2012), o processo de crescimento das folhas de mamona tem alta relação com o fornecimento de N.

Segundo Santos et al. (2004) e Rodrigues et al. (2006), a mamoneira é uma cultura exigente em N para a produção foliar. Dessa forma, o aumento da área foliar em função das doses de torta de mamona pode estar relacionado ao elevado teor de N presente na torta (55,54 g kg⁻¹).

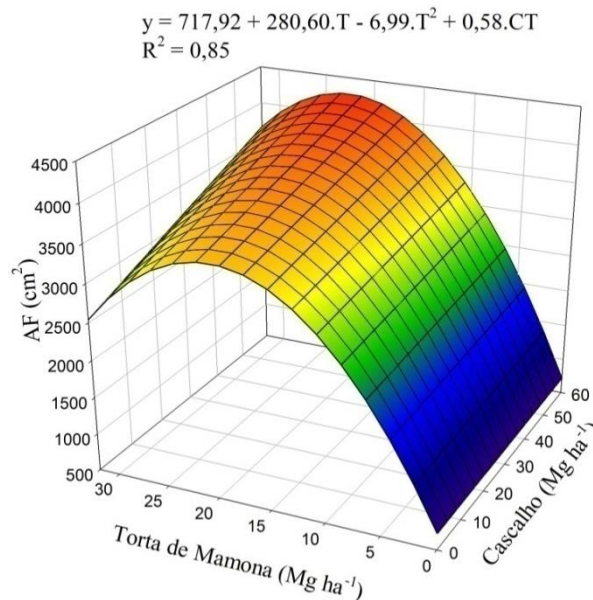


Figura 7. Área Foliar Total (AF) em função das doses de torta de mamona (T) e cascalho (C). Modelo de equação de regressão ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste t.

4.2. Efeitos Sobre as Concentrações de Nutrientes na Mamona

A superfície de regressão que melhor representou o teor de N na parte aérea da mamona (NPA) em função da torta de mamona e cascalho de perfuração está apresentado na Figura 8. O modelo de regressão linear múltipla obteve um coeficiente de determinação de 0,83, o que indica que o ajuste do modelo representa satisfatoriamente os dados observados.

O ganho de N observado com as doses crescentes de torta de mamona no tratamento controle para cascalho foi de 47% em seu teor (Figura 8), estando evidenciadas no ganho de MSPA, descritas anteriormente.

O parâmetro estabelecido pela CFSEMG (1999) e Malavolta et al. (1997), correspondente ao teor de N na folha, neste caso, encontra-se adequado (entre 40 e 50 g kg⁻¹) nos tratamentos onde receberam 16 e 32 Mg ha⁻¹ de torta de mamona associados somente a 0 e 5 Mg ha⁻¹ de cascalho. Nos outros tratamentos do cascalho (15, 45 e 60 Mg ha⁻¹), somente a dose de 32 Mg ha⁻¹ de torta conseguiu fornecer N suficiente para que a planta conseguisse atingir o teor adequado de N na folha. No tratamento onde foi aplicado 30 Mg ha⁻¹ de cascalho, as plantas não conseguiram atingir o teor adequado de N na folha em nenhuma dose de torta Figura 8.

Resultados com mamona foram encontrados por Nobre et al. (2013) analisando o acúmulo de N, P, K e Na na mamoneira sob estresse salino e doses de N, verificando que mesmo com aumento unitário de condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) houve aumento de N na folha, tanto aos 46 DAS quanto aos 120 DAS, sendo observado o incremento de 4,2 e 7,8 g kg⁻¹, respectivamente ao tempo de exposição do estresse salino.

A fertilização nitrogenada além de promover o crescimento das plantas pode também reduzir o efeito da salinidade sobre os vegetais devido à acumulação deste soluto elevar a capacidade de ajustamento osmótico das plantas à salinidade e aumentar a resistência das culturas ao estresse hídrico e salino. (Lima et. al, 2012).

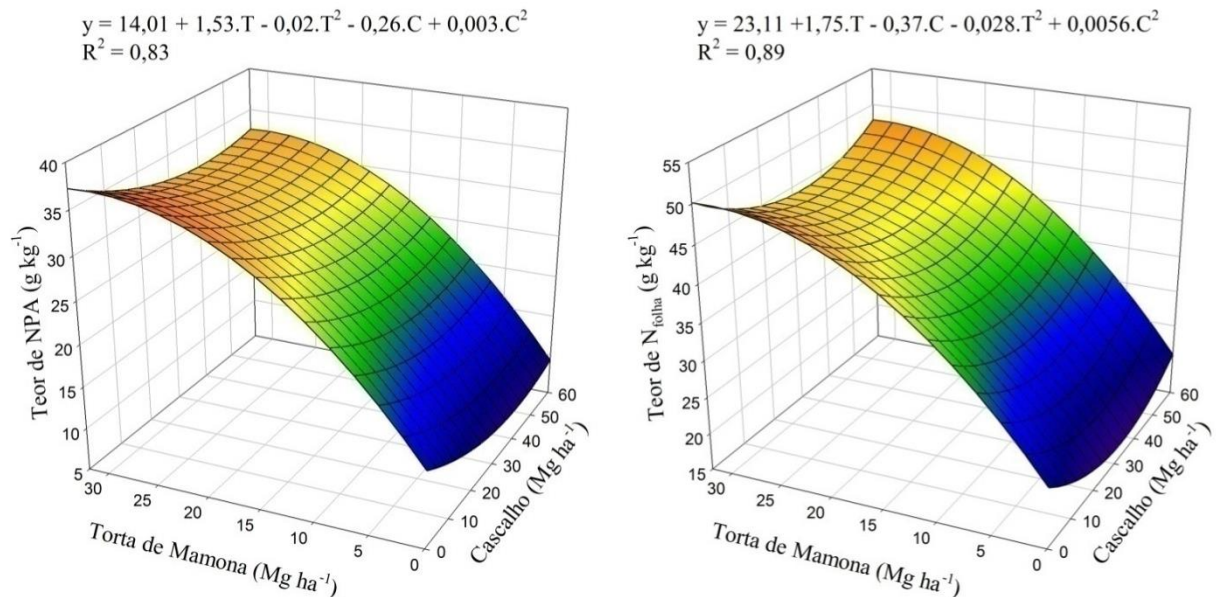


Figura 8. Teor de N na parte aérea (NPA) e N na folha (N_{folha}) da mamona em função de Cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelo de equação de regressão significativo a 1% de probabilidade.

Para os teores de P na parte aérea (PPA) o modelo de regressão linear foi o que melhor explicou influência das doses de torta de mamona na nutrição das plantas (Figura 9). Ressalta-se que apenas a torta de mamona afetou de forma significativa a concentração de PPA ao nível de 1%, mesmo com um coeficiente de determinação baixo (0,43).

O teor adequado de P na planta, segundo a CFSEMG (1999) e Malavolta et al. (1997), está entre 3 e 4 $g\ kg^{-1}$ na folha. Os resultados deste estudo mostram que somente com a maior dose de torta de mamona ($32\ Mg\ ha^{-1}$) os teores de P se aproximaram da faixa considerada adequada, independente das doses de cascalho de perfuração que, para esta variável, não tiveram efeitos significativos.

Jeschke et al. (1996) observaram que sob forte deficiência de P a absorção e a assimilação de nitrato é fortemente inibida, assim como a fotossíntese líquida. Como a redução de nitrato é fortemente inibida na raiz provoca-se uma translocação substancial de P das folhas mais velhas para as mais novas permanecendo com alta atividade (Jeschke et al., 1997). Este efeito limita a produção, sendo necessário lançar mão de fontes de fósforo mineral disponíveis no mercado ou utilização de resíduos fornecedores de P. Assim abrindo margem para novas pesquisas e desafios na reutilização de resíduos agroindustriais.

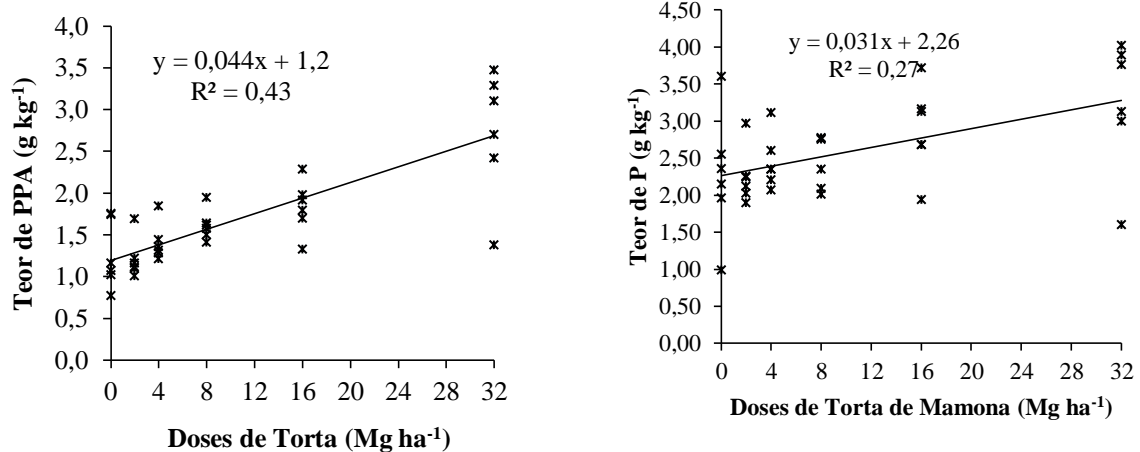


Figura 9. Teor de P na parte aérea (PPA) e de P na folha (P_{folha}) da mamona em função de torta de mamona (T). Modelo de equação de regressão significativo a 1% de probabilidade.

Os teores de K na parte aérea (KPA) apresentaram ajuste quadrático em função de das dose de torta de mamona e linear para o cascalho, sendo observada melhor correlação do KPA com a torta de mamona do que com o cascalho de perfuração, em bora ambas significativas (Figura 10). O maior teor de K foi verificado na associação torta + cascalho com aproximadamente 24 g kg^{-1} . Segundo a CFSEMG (1990) e Malavolta et al. (1997) os teores adequados de K nas folhas da mamoneira variam de 30 a 40 g kg^{-1} na folha. Apesar de os teores neste estudo terem sido inferiores aos considerados como adequados para a cultura, não foidetectadadeficiência visual de K, o qual entende-se por amarelecimento e posterior necrose, encontrada inicialmente nas bordas do limbo.

A mamoneira quando se encontra sob deficiência de K, reduz a atividade fotossintética das folhas, aumenta a respiração radicular, direcionando o carbono para as raízes que aumentam a relação raiz/parte aérea (Peukeet al., 2002). Assim, a absorção de nitrato é reduzida e aumenta a de Na, Ca e Mg; ocorre maior biossíntese e acúmulo de ácido abscísico na raiz, forçando a transferência para a parte aérea; juntamente com forte degradação desse ácido ocorre a redução no crescimento de brotos e aumento no crescimento radicular (Peuke et al., 2002), efeitos não observados neste experimento.

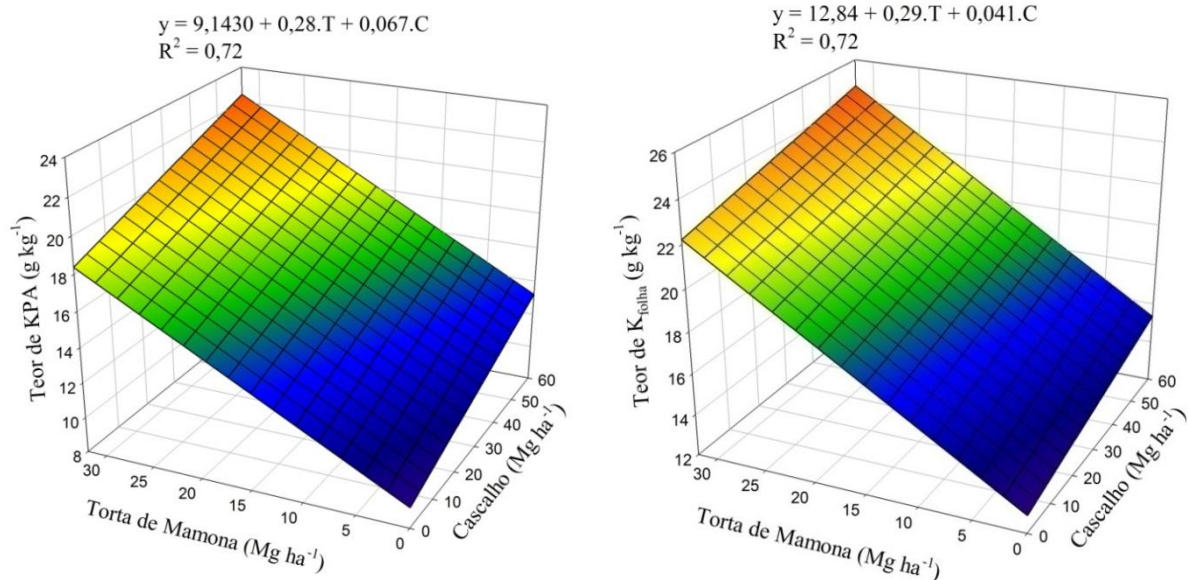


Figura 10. Teor de K na parte aérea (KPA) e na folha (K_{folha}) da mamona em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelo de equação de regressão significativa a 1% de probabilidade.

O teor de Na na parte aérea (NaPA) apresentou ajuste linear com o cascalho e nenhuma relação com a presença ou ausência da torta de mamona (Figura 11). Os teores de NaPA aumentam na medida em que as doses de cascalho se elevam, o que se explica pelo aumento dos teores de Na^+ disponível no substrato de mistura de cascalho e torta na medida em que se aumentam as doses de cascalho (Figura 22). Altas concentrações de Na^+ podem inibir a absorção de K pelas plantas, através do antagonismo entre estes dois íons, bem como pode ocorrer o vazamento do íon K quando há a substituição do Na pelo Ca nas membranas celulares (Marschner, 1995).

O incremento de sódio na solução do solo prejudica a absorção radicular de nutrientes, principalmente K e Ca e por consequência interfere nas funções fisiológicas. No entanto, a habilidade das plantas em manter altos teores de K e baixos níveis de Na dentro do tecido vegetal, principalmente na folha, é um mecanismo de adaptação que as plantas desenvolveram para expressar maior tolerância à salinidade (Ferreira-Silva et al., 2008; Mansour et al., 2003). Estas elevadas concentrações de Na encontradas nos tecidos das plantas explicam as baixas concentrações de K, de acordo com a Figura 10.

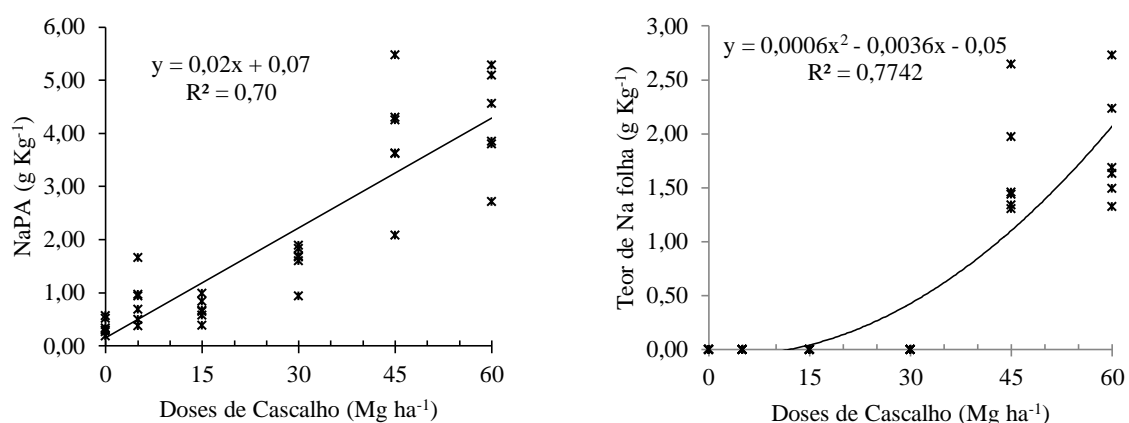


Figura 11. Teor de sódio na parte aérea (NaPA) e na folha (Na_{folha}) em função das doses de cascalho. Modelos de equações de regressão para NaPA e Na_{folha} significativas a 1% de probabilidade.

O aumento das doses de cascalho elevou os teores de Na⁺ trocável de 0,05 cmol_cdm⁻³ nos tratamentos controle para 1,62 cmol_c dm⁻³, nos tratamentos com as maiores doses de cascalho (60Mg ha⁻¹) influenciando nos teores de NaPA, os quais foram de 0,52g kg⁻¹ nos tratamentos controle para 5,28 g kg⁻¹ na dose de 60 Mg ha⁻¹ (Figura 12). Este resultado é um indicativo de estresse inicial, uma vez que este elemento não é essencial para a cultura da mamoneira.

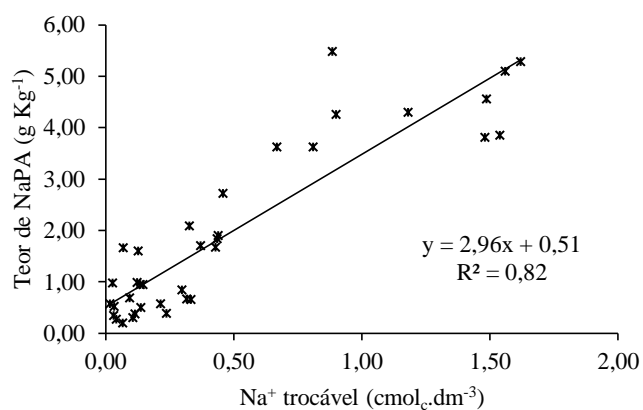


Figura 12. Correlação entre o teor de sódio na parte aérea (NaPA) das plantas em função da disponibilidade de Na⁺ no solo. Modelo de equação ao nível de significância de 1% de probabilidade pelo teste t.

A relação Na/K cresce de forma linear em todas as partes da planta de acordo com as doses crescente de cascalho (Figura 13). Esta relação é maior na raiz que na parte aérea, o que explica os maiores teores de Na⁺ na raiz. A relação no pecíolo aumenta de forma a concentrar maior quantidade de Na comparativamente ao caule, nas doses 30, 45 e 60 Mgha⁻¹ de cascalho, sendo observado concentrações maiores no caule nas doses 0, 5 e 15 Mgha⁻¹ de cascalho. Este resultado pode ser indicativo de que o mecanismo de tolerância da mamona ao estresse salino está em armazenar Na⁺ na parte aérea, tanto no caule quanto no pecíolo, sendo observado maior acúmulo no caule que no pecíolo, proporcionalmente à massa de cada parte das plantas.

De acordo com Sousa et al. (2011), os danos causados pelo estresse salino dependem do tempo, concentração, tolerância da cultura e volume de água transpirado. O aumento na concentração de Na^+ no ambiente radicular pode causar a redução na absorção de K^+ , no entanto, a concentração que determina esta redução varia com a espécie, podendo este fato estar associado com sua tolerância à salinidade (Sousa et al., 2011). O efeito mais facilmente observado da salinidade sobre as plantas é a redução no crescimento e no acúmulo de biomassa em razão dos desequilíbrios nutricionais e como consequência na produção (Ferreira et al., 2001). Fato este que se observa neste trabalho de acordo ao apresentado na Figura 4 onde o desenvolvimento da mamona na presença de doses crescentes de cascalho provocou redução no crescimento e senescência precoce de folhas basais devido ao estresse salino.

Os resultados deste estudo corroboram com Joshi et al. (2012) que observaram o efeito inibidor da salinidade sobre o crescimento das plantas, sendo menor em folhas e mais elevado em caules e raízes. Consequentemente, as folhas seriam mais resistentes e outros tecidos mais sensíveis à salinidade do solo. Contudo ainda existe o efeito sobre a redução da área foliar (área fotossintética) da mamoneira em resposta à salinidade, redução do crescimento e da produtividade das plantas (Garg e Gupta, 1997).

Alguns trabalhos tem documentado à respeito do antagonismo entre o Na^+ e os três elementos essenciais às culturas, Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , (Kopittke et al., 2011; Kopittke, 2012; Munns e Tester, 2008; Tester e Davenport, 2003), no entanto, poucos relacionam a amenização da toxidez de Na^+ pela adubação destes nutrientes (Wakeel, 2013). Tanto Joshi et al. (2012) como Severino et al. (2014) compartilham da hipótese de que a fertilização de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , tem uma capacidade real, porém limitada na redução de toxidez pelo Na^+ no crescimento de plantas.

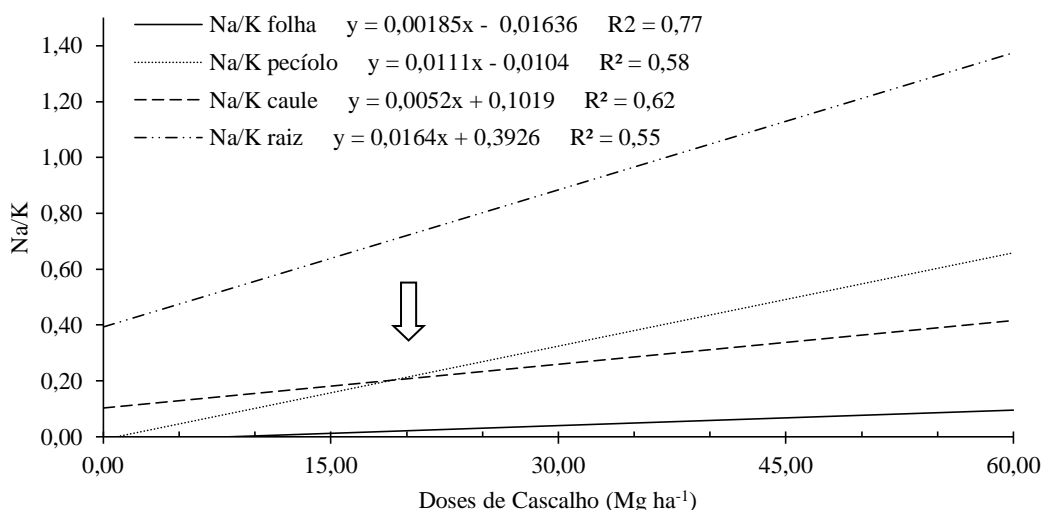


Figura 13. Relação dos teores de sódio/potássio (Na/K) na folha, pecíolo, caule e raiz, em função das doses de cascalho de perfuração. Modelos de equação de regressão significativos a 1% de probabilidade.

Os teores de Ca^{2+} na parte aérea e na folha (CaPA e Ca_{folha} , respectivamente) da mamona em função das doses de cascalho de perfuração e torta de mamona são apresentados na Figura 14 e os teores de Mg^{2+} na parte aérea e na folha (MgPA e Mg_{folha} , respectivamente) estão apresentados na Figura 15.

Os teores CaPA , foram ajustados à equação de regressão quadrática para ambas as fontes de variação, chegando ao máximo do teor de CaPA em $30,10 \text{ g kg}^{-1}$ no tratamento com 16 e 45 Mg ha^{-1} de torta e cascalho, respectivamente.

Nos tratamentos em que continha somente doses crescente de cascalho, na ausência da torta de mamona, observou um teor máximo de 16,34 g kg⁻¹ de CaPA na dose de 45 Mg ha⁻¹ de cascalho e nos tratamentos contendo somente doses crescentes de torta, na ausência de cascalho, foi encontrado um teor máximo de 12,50 g kg⁻¹ na dose máxima da torta de mamona (32 Mg ha⁻¹).

De acordo com Malavolta et al. (1997) e CFSEMG (1999), os níveis adequados de Ca²⁺ na folha da mamoneira encontram-se entre 15 e 25 gkg⁻¹. Valores semelhantes a estes foram observados nestas mesmas doses de cascalho e torta de mamona (45 e 16 Mg ha⁻¹, respectivamente). Em todos os tratamentos que receberam 15, 30, 45 e 60 Mg ha⁻¹ de cascalho foram observados teores adequados de Ca²⁺ nas folhas, independentemente das doses de torta aplicadas. Contudo, nos tratamentos controle de cascalho, com doses crescente de torta, somente a maior dose (32 Mg ha⁻¹) obteve teor dentro dos níveis adequados (16,20 gkg⁻¹) na folha. Da mesma forma, nos tratamentos com 5 Mg ha⁻¹ de cascalho, somente as doses 8 e 16 Mg ha⁻¹ de torta tiveram os teores dentro dos níveis adequados (16,31 e 19,38 gkg⁻¹, respectivamente) nas folhas.

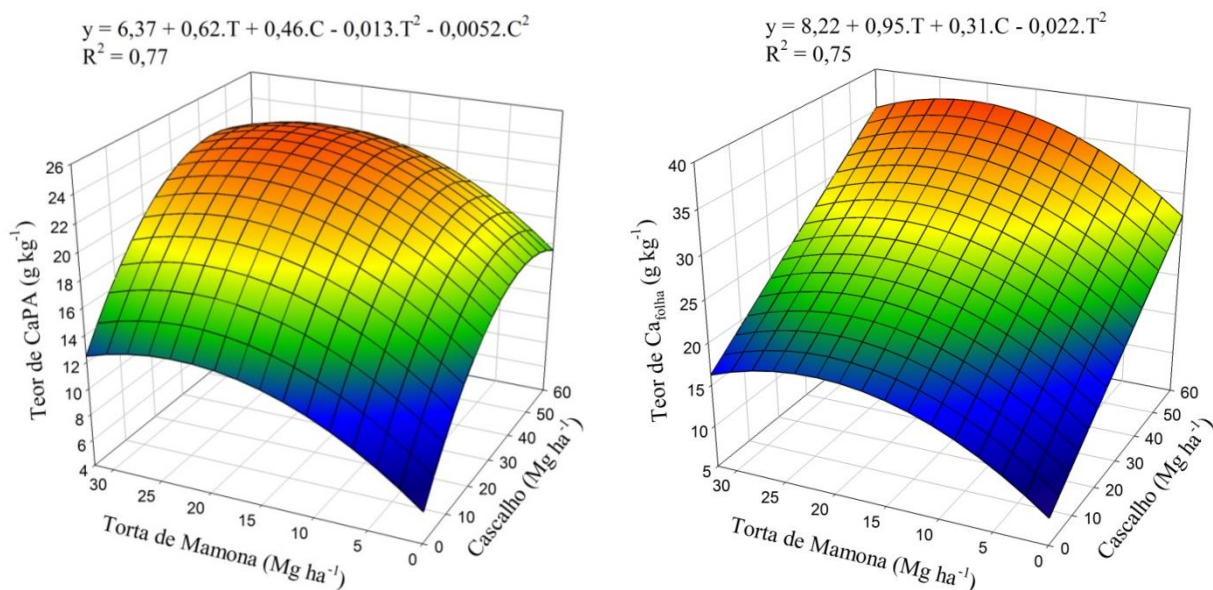


Figura 14. Teores de cálcio na parte aérea (CaPA) e na folha (Ca_{folha}) da mamona em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativas a 1% de probabilidade.

Os teores de Mg²⁺ na parte aérea (MgPA) foram positivamente influenciados pelos resíduos no fornecimento e na absorção deste elemento pela planta, o que indica que o modelo de superfície de regressão apresentado obteve ajuste quadrático para torta e linear crescente para o cascalho. O acúmulo de MgPA foi influenciado positivamente por ambos resíduos e ainda encontra-se melhor desempenho quando em conjunto (Figura 15).

Em todos os tratamentos foram observados teores de Mg nas folhas (Mg_{folha}) acima daqueles indicados por Malavolta et al. (1997) e a CFSEMG (1999), como sendo ideal para um bom desenvolvimento da cultura (entre 2,5 e 3,5 g ka⁻¹). Apesar de o cascalho apresentar uma concentração maior de Mg²⁺ à torta de mamona, os teores de MgPA e de magnésio nas sementes das plantas, tiveram uma tendência crescente de concentração melhor relacionada à torta que ao cascalho, de acordo com o índice de correlação de Pearson (0,67 e 0,51; respectivamente).

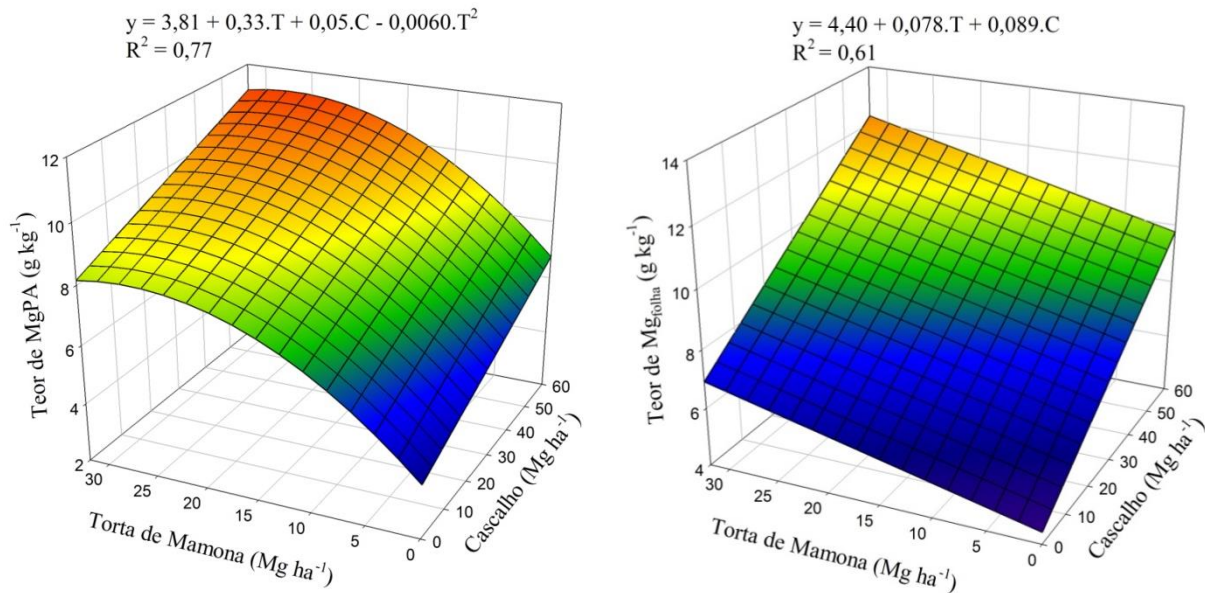


Figura 15. Teores de magnésio na parte aérea (Mg_{PA}) e na folha (Mg_{folha}) da mamona em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativas a 1% de probabilidade.

Estão sendo apresentados na Figura 16 os micronutrientes estudados, a saber: teor de ferro, manganês zinco na parte aérea (Fe_{PA} , Mn_{PA} e Zn_{PA} , respectivamente). Nestes, estão demonstrados os modelos de equações de regressão para cada elemento, salientando que para o teor de Fe_{PA} , o ajustada equação de regressão que melhor se enquadrou foi a linear crescente, tendo em vista sua significância e correlação com a torta de mamona ($\rho_t = 0,62$; $\rho_c = -0,17^{ns}$). Para o teor de Mn_{PA} tanto a torta de mamona quanto o cascalho de perfuração tiveram significância no aumento do teor deste micronutriente na parte aérea, contudo o efeito isolado da torta favoreceu a absorção de Mn de forma crescente quando comparado ao efeito isolado do cascalho, onde apresentou queda na concentração de Mn_{PA} ($\rho_t = 0,69$; $\rho_c = -0,45$), verificando melhores resultados à medida que aumenta as doses torta e diminui as doses de cascalho. Para os teores de Zn_{PA} , foi significativo somente o efeito isolado do cascalho, sendo decrescente o ajuste que melhor representou essa relação ($\rho_t = -0,15^{ns}$; $\rho_c = -0,76$).

Foi observado neste estudo a seguinte sequência de absorção para micronutrientes $Fe > Mn > Zn$ na parte aérea da mamona, o qual corrobora com os dados de Nascimento et al. (2012) e Crusciol et al. (2012), cujos trabalhos foram realizados a campo em períodos de safra e safrinha com os híbridos de mamona Lyra e Savana respectivamente, sendo encontrados a seguinte sequência de absorção: $Fe > Mn > Zn > B > Cu > Mo$, para ambos os híbridos.

Malavolta (2006) indica que a requisição de nutrientes seria $Fe > Mn > B > Zn > Cu > Mo$. Laviola e Dias (2008) observaram em estudo com pinhão manso (*Euphorbiaceae*) que a quantidade absorvida segue uma ordem decrescente de micronutrientes a saber: Mn, Fe, B, Zn, Cu nas folhas e frutos. Segundo Prates (2014), considerando apenas a parte aérea (caule, folhas e fruto) de pinhão manso, a seguinte ordem decrescente nos teores como sendo Mn, Fe, Zn, Cu, quando o autor considera a raiz, ou seja, teor na planta inteira, essa ordem modifica, passando a ser $Fe > Mn > Zn > Cu$.

Os teores foliares de micronutrientes descritos na literatura como sendo adequados para a mamona são apresentados pela máxima eficiência física (MEF) no trabalho de Pacheco et al. (2008), a saber: 199, 47 e 27, em $mg\ kg^{-1}$ de Fe, Mn e Zn, respectivamente. Hocking (1982) descreve as concentrações ideais de Fe, Mn e Zn nas folhas aos 60 dias como sendo de

186, 29 e 14 mg kg⁻¹, respectivamente. Malavolta (2006) indica que o teor de micronutrientes na folha seria, para Fe, Mn e Zn, 32 - 44, 12 - 17 e 9 mg kg⁻¹, respectivamente.

Foram encontrados teores de Fe superiores ao indicado por Pacheco (2008) e Hocking (1982) em todos os tratamentos que receberam as doses de 8, 16 e 32 Mgha⁻¹ de torta de mamona, independente das doses de cascalho. Apesar do cascalho de perfuração conter maior teor de Fe (30053,2 mg kg⁻¹) e a torta de mamona menor teor (1845,5 g kg⁻¹), a concentração de FePA, assim como na folha (Fe_{folha}) tiveram somente correlação significativa com a torta de mamona, provavelmente pela forma na qual este elemento se apresenta nestes resíduos. Presotto (2014) trabalhando com torta de crambe e cascalho de perfuração salientou que no cascalho de perfuração, o Fe presente é essencialmente derivado dos minerais do material geológico perfurado, enquanto que na torta, o Fe já foi absorvido e metabolizado pelo crambe e com a mineralização da torta torna-se prontamente absorvível.

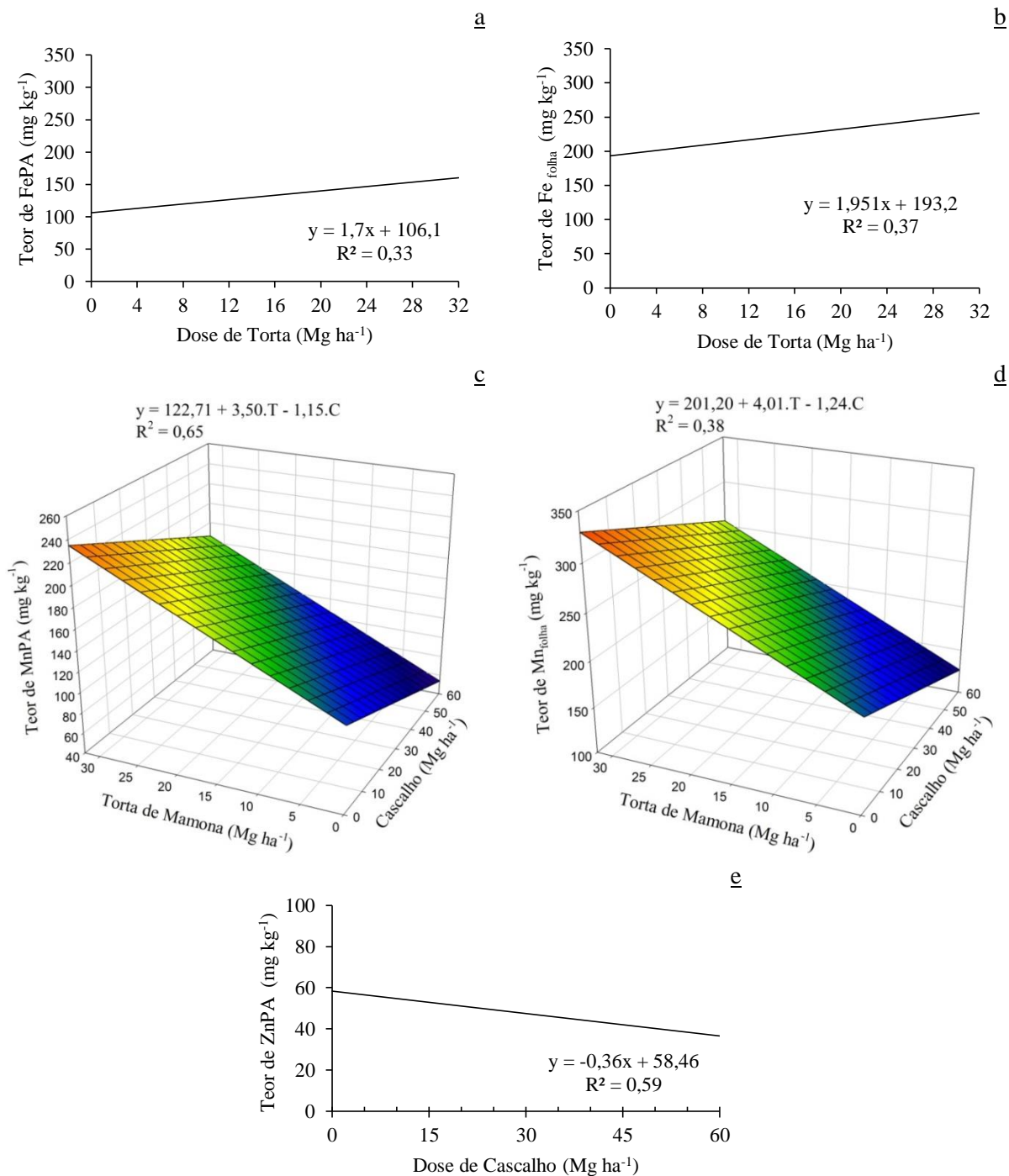


Figura 16. Teores de ferro na parte aérea (a) e na folha (b) em função das doses de torta de mamona; Teores de manganês na parte aérea (c) e na folha (d) em função das doses de torta de mamona e cascalho de perfuração; teores de zinco na parte aérea em função das doses de cascalho (e). Modelos de equações de regressão significativas a 1% de probabilidade.

Em todos os tratamentos deste trabalho os teores de Zn e Mn na folha estiveram acima dos teores indicados por Pacheco et al. (2008) e Hocking (1982). Outros valores de referência encontrados na literatura para teores de Zn nas folhas são descritos por Souza e Natale (1997) e Oliveira (2004) a saber: 39 a 43 mgkg⁻¹, 15e40 mg kg⁻¹, como sendo a faixa ideal para o desenvolvimento da mamoneira.

De acordo com Lange et al. (2005) os teores de ferro observados no limbo inferior foram menores quando houve omissão de Mn, sendo caracterizado uma correlação direta entre os micronutrientes, o que corrobora com os dados do presente trabalho cuja correlação de Pearson entre os teores foliares de Fe e Mn foi de $r=0,67$. Neste mesmo trabalho Lange et al. (2005) concluíram que na omissão de Fe foi observado elevada concentração de Mn em todas as partes da planta analisadas com exceção do limbo inferior, sendo semelhante aos teores encontrados no tratamento completo. Tal argumento é justificado pelo trabalho de Malavolta et al. (1997) que apresentaram uma relação de inibição competitiva entre Mn e Fe. Contudo, Lange et al. (2005), concluíram que a omissão de Mn reduziu a concentração de Fe nos tecidos foliares, o qual foi verificado o inverso por Malavolta (1997) que a omissão no fornecimento de Mn pode aumentar a absorção de Fe.

4.3. Efeitos Sobre os Pigmentos Fotossintéticos

Os teores de clorofila *A*, *B* e *Total* e os carotenóides das folhas foram diretamente influenciados pela torta de mamona e o cascalho de perfuração, ora positivo e ora negativamente (Figura 17). A clorofila *A* apresentou elevação descrevendo comportamento quadrático com os maiores valores entre as doses de 20 e 25 Mg ha⁻¹ de torta de mamona, não sendo verificado o mesmo comportamento relacionado as doses de cascalho de perfuração (Figura 17a). Comportamento similar foi observado para a clorofila *B*, com os maiores valores obtidos entre as doses de 10 e 15 Mg ha⁻¹ de torta de mamona, sendo verificado redução dos teores de clorofila *B* com o aumento das doses de cascalho de perfuração (Figura 17b). A clorofila total apresentou comportamento similar ao descrito para a clorofila *A* com os maiores valores ocorrendo entre as doses de 20 e 25 Mg ha⁻¹ de torta de mamona, sem influência do cascalho (Figura 17c). Os carotenóides apresentaram aumentos significativos em função da torta de mamona até as doses entre 20 e 25 Mg ha⁻¹, com leve redução em função do aumento das doses de cascalho (Figura 17d).

De maneira geral os resultados mostram efeitos benéficos da torta de mamona para os quatro parâmetros avaliados (clorofilas *A*, *B* e *Total* e os carotenóides), e influência negativa do cascalho de perfuração.

Tendo em vista que a determinação de clorofila e carotenóides nas folhas pode ser usada para diagnosticar a integridade do aparelho fotossintético nas plantas submetidas às adversidades ambientais, como na presença de metais pesados e condições salinas no solo (Dhir et al, 2008; Paulus et al, 2010), pode-se inferir que a torta de mamona proporciona benefícios para a cultura da mamoneira, ao passo que não se pode dizer o mesmo para o cascalho de perfuração.

Os carotenóides são essenciais para a fotossíntese, atuando como pigmentos secundários, fator pró-vitamina e filtros solares que eliminam os radicais livres (Espécie reativa de oxigênio) em tecido danificado (Pandey et al, 2010; Dhir et al, 2008). Assim como na foto-proteção das moléculas de clorofila, atuam também na dissipação do excesso de energia. Ademais, desempenham um papel importante como precursores na sinalização durante o desenvolvimento das plantas expostas a estresses abióticos.

O aumento nas doses de cascalho causou senescência na mamona, provavelmente pelo aporte de Na⁺ introduzido, cuja consequência foi a diminuição na produção de pigmentos fotossintéticos (clorofila e carotenóides). Vários fatores podem influenciar no processo fotossintético da mamoneira (inibindo ou auxiliando na produção de clorofilas), como estresse hídrico (deficiência ou excesso de água), estresse nutricional (ex.: deficiência de Fe e Mg ou

excesso de Zn), toxidez por metais pesado (ex.: Pb, Cd e Cr) e excesso de sais presente no solo (principalmente como NaCl). (Beltrão et al., 2011).

Em estudos realizados com o objetivo de verificar as alterações na fotossíntese e nos teores de pigmentos cloroplastídicos em plântulas de mamona da cultivar BRS Nordestina, cultivadas sob condições de salinidade, Beltrão et al. (2011) constataram que o estresse salino promoveu reduções de 19% na fotossíntese líquida na fase inicial de exposição ao estresse. Esse fato está associado a uma limitada capacidade de síntese e/ou maior degradação de clorofilas totais, clorofila *A* e clorofila *B*. Além disso, o estresse salino promoveu maior incremento na síntese de carotenóides totais, e isso indica que, sob estresse, as plantas parecem necessitar de rotas alternativas de dissipação de energia a fim de evitarem problemas de fotoinibição e fotoxidação.

Todavia, mesmo observando um estresse na mamoneira causado pelo cascalho de perfuração neste trabalho, não foi verificado um aumento no teor de carotenóides em doses crescentes do resíduo, como indica a literatura (Beltrão et al., 2011), e sim um decréscimo (Figura 17d). Contudo, as avaliações de Pinheiro et al. (2008) estudando o acúmulo de matéria seca e pigmentos cloroplastídicos no desenvolvimento inicial da mamona BRS 149cv. Nordestina sob estresse salino, verificaram que o conteúdo de carotenóides na folha se manteve inalterado em todos os tratamentos (0 e 30 Mm de NaCl) na primeira avaliação (38 dias após germinação) e observou-se uma queda de 33% na segunda avaliação (59 dias) do tratamento sob condições salinas em comparação às plantas controle.

Pinheiro et al. (2008) denotam que as plântulas de mamona são capazes de acumular sacarose no vacúolo afim de ajustamento osmótico, podendo ser um mecanismo de dissipação fotossintética em plantas estressadas, de modo que observaram muito pouco crescimento até mesmo quando a fotossíntese se encontrava elevada. Seus resultados obtiveram correspondência à ideia de que o metabolismo de sacarose e de carbono foram alteradas em resposta à diminuição de Clorofila *a* após 38 dias sob estresse salino. Neste sentido, enfatizaram necessidade de maiores pesquisas para fornecer uma compreensão plena sobre a alocação de carbono em mamoneira e concluíram que esta cultivar é sensível ao estresse salino em estágio de plântula.

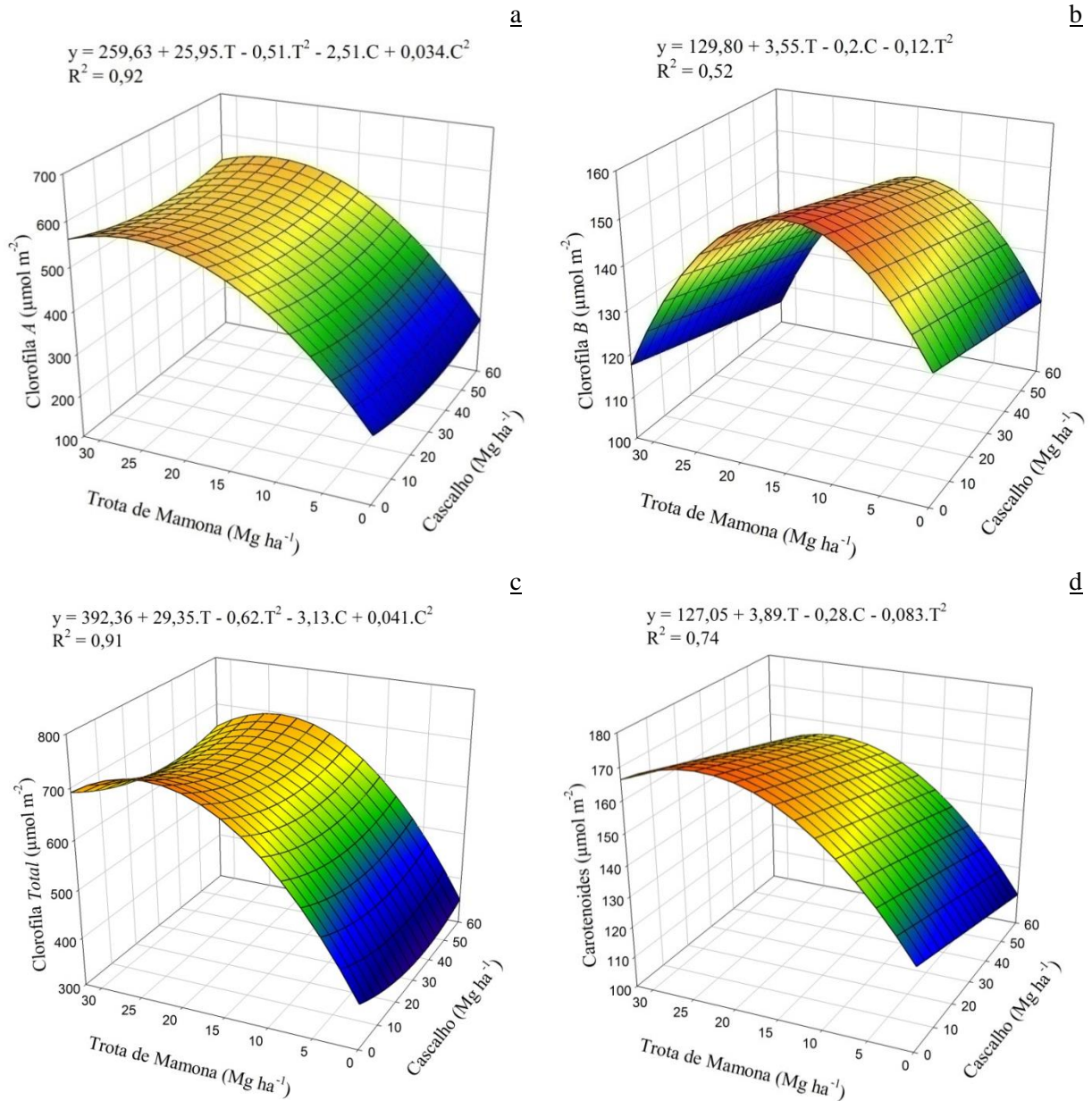


Figura 17. Teores de clorofila A (a), B (b), total (c) e carotenóides (d) em função de doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativas a 5% de probabilidade para clorofila A, B e Total e 1% para carotenóides.

Ao analisar o teor de nitrogênio (NFI) e área da folha indicadora (AFI), nota-se que houve tendências semelhantes, sendo ambos influenciados diretamente pela torta de mamona e pelo cascalho (Figura 18), principalmente na avaliação dos tratamentos que receberam a maior dose de torta. Verificou-se que a torta de mamona favoreceu o maior aporte de ambos os fatores, sendo o precursor mais significativo no incremento dos mesmos. Portanto verifica-se que à medida que aumenta as doses de torta, os fatores NFI e AFI tiveram um mesmo direcionamento, em suas ordens de grandeza, a julgar por sua correlação de Pearson sendo igual a 0,80 (NFI x AFI).

Os teores de nitrogênio na folha indicadora subiram de 18 g kg⁻¹ no tratamento controle para 56 g kg⁻¹ na dose de 32 Mg ha⁻¹ de torta de mamona na ausência de cascalho e de 16 g kg⁻¹ na dose zero de torta para 44 g kg⁻¹ na dose de 32 Mg ha⁻¹ de torta de mamona

nos tratamentos onde receberam a dose máxima de cascalho (60 Mg ha⁻¹), ou seja, houve um ganho tanto na ausência de cascalho (amplitude de ganho maior, 38 g kg⁻¹) quanto em sua maior dosagem (amplitude de ganho menor, 28 g Kg⁻¹).

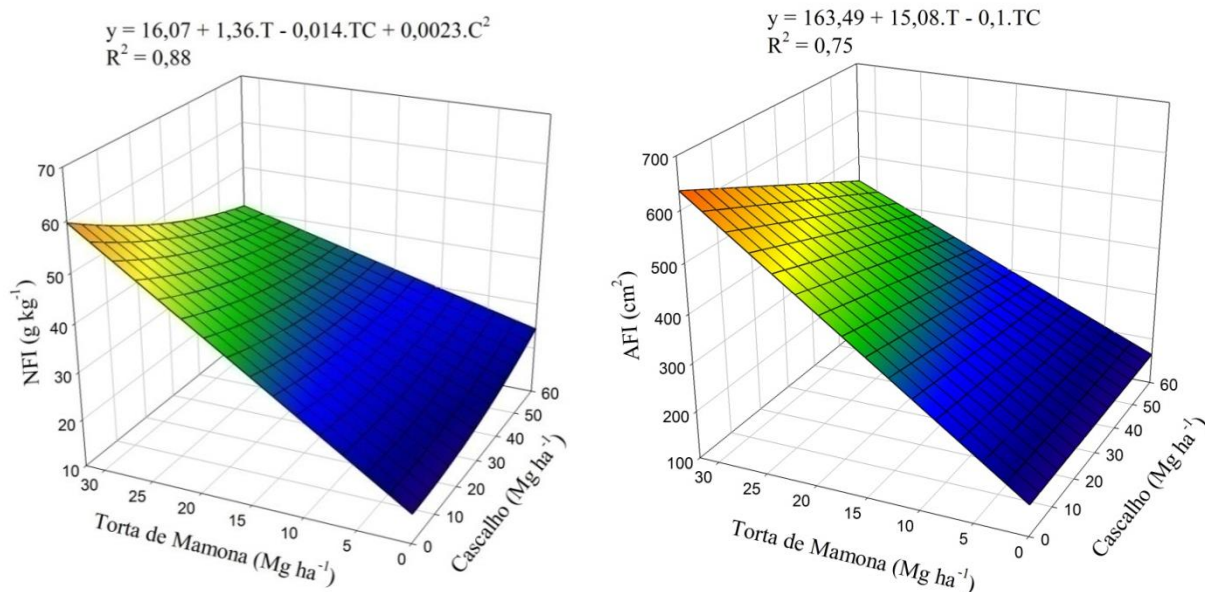


Figura 18. Teores de nitrogênio (NFI) e área da folha da folha indicadora (AFI) em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equações de regressão significativos a 1% de probabilidade.

Também foi verificada uma relação direta entre o NFI e AFI com os teores de Clorofila A, sendo estabelecida correlações de Pearson de 0,80 e 0,67, respectivamente; com o teor de clorofila total foi de 0,73 e 0,60, respectivamente; e com os teores de carotenóides foi de 0,55 e 0,45, respectivamente (Figura 19). As correlações de área e nitrogênio da folha indicadora com a clorofila B não foram significativas.

Foi observado um ganho nos fatores estudados (C_a , C_{total} e Carotenóides) em função do aumento, tanto nos teores de NFI quanto na AFI. A clorofila A apresentou elevação descrevendo comportamento quadrático com os maiores valores entre as teores de 50 e 60 g kg⁻¹ de NFI e entre 600 e 700 cm² de AFI (Figura 19 a e b). Comportamento semelhante ocorreu para o teor de C_{total} (Figura 19 c e d). A respeito do teor de carotenóides, apresentou um comportamento de crescimento linear para teores NFI e quadrático para valores de AFI, verificando melhores aproveitamentos nas mesmas faixas dos demais fatores estudados (Figura 19 e e f).

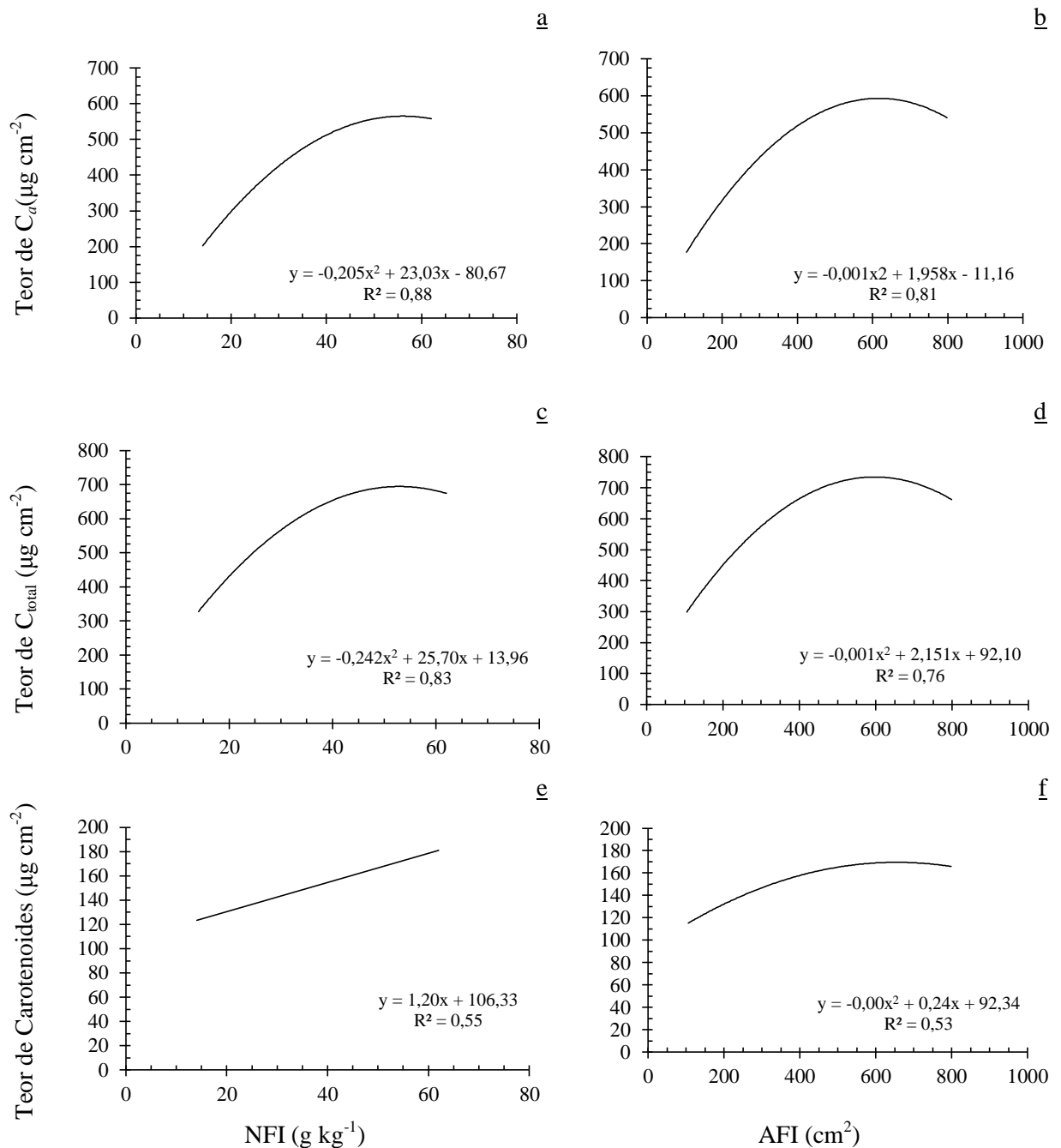


Figura 19. Teor de Clorofila A (C_a), Clorofila total (C_{total}) e Carotenóide sem função de NFI e AFI. Modelos de equações de regressão significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Na Figura 20 é apresentada a relação entre os teores de clorofila *a* extraído pelo solvente orgânico DMSO e a clorofila *total* calculada, ambos em função do índice de clorofila Falker correspondente, referente aos tratamentos com 0, 15 e 60 $Mg\ ha^{-1}$ de cascalho de perfuração e doses crescente de torta de mamona, para melhor aproveitamento dos dados.

Verificou-se correlação direta entre os coeficientes de determinação, com valores respectivos de 0,93, 0,85 e 0,89 para clorofila *a* e valores respectivos de 0,96, 0,91 e 0,94 para clorofila *total*, nas doses de 0,15 e 60 $Mg\ ha^{-1}$ de cascalho.

Argenta et al. (2001) trabalhando a relação entre a leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraíveis e de N na cultura do milho, discutiram à respeito da vantagem do

uso deste aparelho, cuja medição não seria influenciada pelo consumo de luxo de N pela planta, já que o N acumulado nesta fase é armazenado como nitrato e por conseguinte não se associa à molécula de clorofila, resultando em não detecção desta pelo medidor de clorofila. (Blackmere Schepers, 1995).

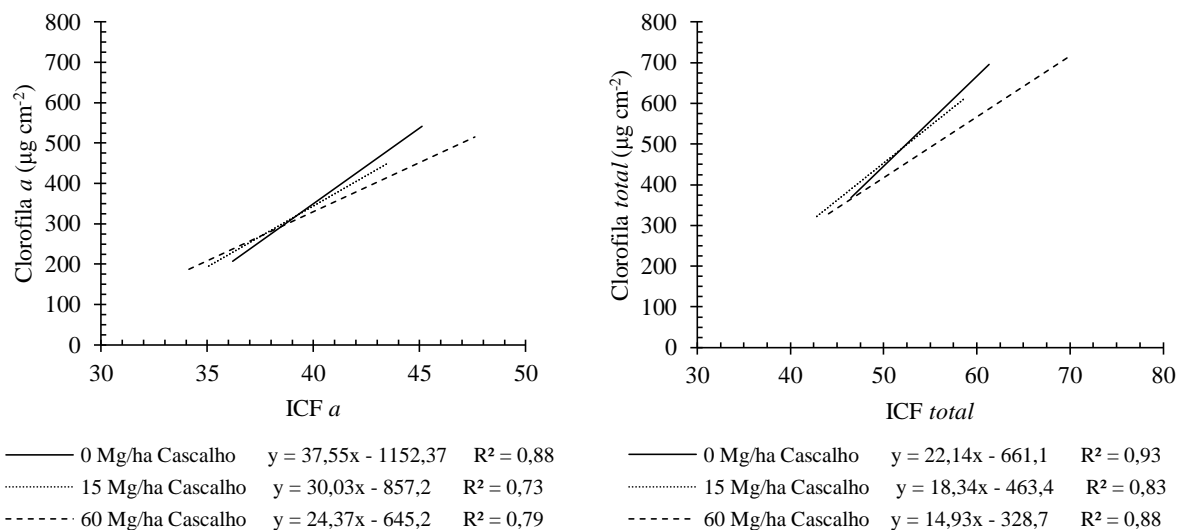


Figura 20. Relação entre os teores de clorofila *a* extraído e o Índice de Clorofila Falker correspondente à clorofila A (ICF *a*) e a relação dos teores de clorofila *total* extraído (clorofila *a* + *b*) e ICF *total* nos tratamentos de doses crescente de torta de mamona e 0,15 e 60 Mg/ha⁻¹ de cascalho. Modelos de equações de regressão significativos ao nível de 1% de probabilidade.

O ICF *a* e *total* apresentaram comportamento quadrático em função do NFI, aumentando a partir de 15 g kg⁻¹ até 40 g kg⁻¹, com subsequente redução com o aumento dos teores de NFI (Figura 21). O ICF *b* apresentou comportamento linear em função do aumento de NFI. Os três parâmetros avaliados (ICF *a*, ICF *b* e ICF *total*) apresentaram baixos coeficientes de regressão.

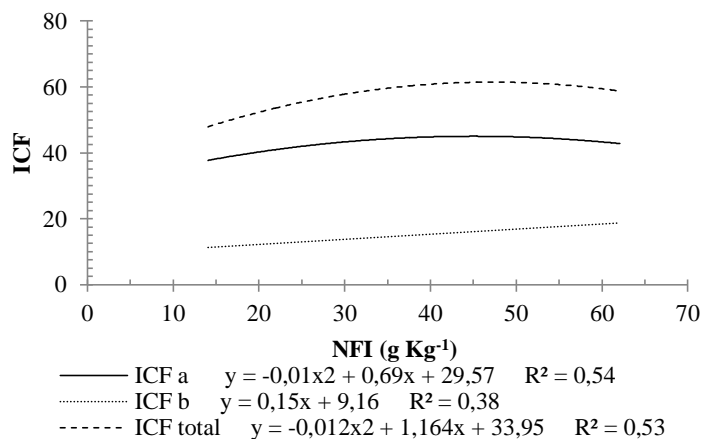


Figura 21. Correlação entre o Índice de Clorofila Falker (ICF) para clorofila *a*, *b* e *total* em função dos teores de N encontrados nas folhas indicadoras (NFI). Modelos de equação de regressão significativos ao nível de 1% de probabilidade.

A relação verificada entre leitura com medidor portátil de clorofila e o teor de clorofila extraível evidencia que as leituras efetuadas com clorofilômetro estimam adequadamente o teor de clorofila *a* e *total*, não ocorrendo o mesmo para a clorofila *b* cuja correlação não é significativa.

4.4. Efeitos no Solo Após o Cultivo da Mamona

A aplicação de torta de mamona e cascalho de perfuração têm potencial de alteração das características do solo (Tabelas 10 e 11, Anexo B), objetivando sua utilização adequadamente. Foram observadas alterações significativas na disponibilidade de nutrientes (bases trocáveis), fósforo assimilável, acidez potencial, alumínio trocável (Al^{3+}), pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) e capacidade de troca de cátions (CTC) do solo.

Os valores absolutos dos resultados da análise destes componentes no solo refletem os níveis destes parâmetros de forma individual, a SB (Soma de Bases) indica o número de cargas negativas dos colóides que está ocupado por bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) (Eq.:4 – Anexo A). A CTC reflete a capacidade do solo em reter cátions próximo ao valor do seu pH natural, ou seja, tal parâmetro indica a quantidade de íons positivos (cátions) que o solo é capaz de reter em determinadas condições e permutar com a solução do solo quantidades estequiométricas equivalentes de outros cátions, e é função da intensidade de cargas negativas que se manifesta nos colóides (Eq.:5).

A porcentagem de saturação por bases (V%) é um parâmetro que reflete quantos por cento dos pontos de troca de cátions (CTC) do complexo coloidal do solo estão ocupados por bases, ou seja, quantos por cento das cargas negativas, passíveis de troca, estão ocupados por Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , em comparação com aqueles ocupados por H^+ e Al^{3+} (Eq.:7). É um parâmetro utilizado para separar solos considerados férteis ($\text{V}\% > 50$) de solos de menor fertilidade ($\text{V}\% < 50$).

A porcentagem de saturação por alumínio (m%) expressa a fração da capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe, Eq.:6) que estão ocupados pela acidez trocável ou Al^{3+} trocável, ou seja, reflete a porcentagem de cargas negativas dos colóides do solo que está ocupada por Al^{3+} , sendo outra forma de expressar a toxidez por alumínio (Eq.:8). Em geral, quanto mais ácido é um solo, maior o teor de Al^{3+} trocável em valor absoluto, menores os teores de bases trocáveis, menor a SB e maior a m%.

A porcentagem de sódios trocáveis (PST), indica a proporção de sódio adsorvido no complexo de troca de cátions no solo (Eq.:9) levando assim, em consideração para seu cálculo, o Na^+ trocável, as bases trocáveis (SB), e a acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$). A razão de adsorção de sódio (RAS), expressa em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, depende da relação entre as concentrações de sódio e de íons polivalentes na solução do solo, que na prática, estes íons são representados por Ca^{2+} e Mg^{2+} (Eq.:10), contudo em solos sódicos ácidos, cujo teor de íons trivalentes são significativos, estes devem entrar no cálculo da RAS.

São apresentados na Tabela 4 as correlações de Pearson entre os elementos minerais provenientes da análise de fertilidade do solo e as fontes de variação (Torta e Cascalho) após o cultivo da mamona, refletindo em interações diretas quando positivas, ou inversas quando negativa, assim como nenhuma interação quando não significativa ($p \geq 0,05$).

Tabela 4. Valores de correlação de Pearson (ρ) entre as fontes de variação (cascalho e torta) e o resultado da análise da fertilidade do solo após o cultivo da mamona.

FV	Na	K	Ca	Mg	P	Al	H+Al	pH	PST	RAS	CE
Torta (ρ_t)	0,17*	0,67**	0,16*	0,56**	0,85**	-0,24**	0,08 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,15*	0,39**
Cascalho(ρ_c)	0,74**	-0,23**	0,97**	0,44**	0,41**	-0,72**	-0,79**	0,95**	0,91**	0,87**	0,77**

*, **: Fator de significância pelo teste F com probabilidade de 5 e 1% de ocorrência, respectivamente; ns: não significativo.

Constata-se que a correlação do cascalho de perfuração com todas as variáveis apresentadas são significativas ($p \leq 0,01$), tendo uma relação direta principalmente com Na^+ , Ca^{2+} , pH, PST, RAS e CE, e inversa com Al^{3+} , K^+ e acidez potencial. A torta de mamona teve correlação direta e significativa com K^+ , Mg^{2+} , P e CE e inversa com Al^{3+} .

Para melhor elucidação dos efeitos dos resíduos (cascalho de perfuração e torta de mamona) sobre a disponibilidade de minerais no solo, essenciais à planta ou não, a seguir estarão sendo apresentados gráficos de regressão de superfície.

Na Figura 22 estão demonstrados os modelos de regressão de superfície pelo gráfico dos teores de Natrocáveise K disponíveis em função do cascalho e da torta de mamona. O Na aumentou em função das doses crescentes de cascalho, porém foi pouco modificado em função da torta. Este resultado deve-se basicamente ao aporte de Na no cascalho, resultante do fluido de perfuração. O aporte de K^+_{disp} no solo cresceu proporcionalmente às aplicações crescentes de torta de mamona com mínima interferência do cascalho, cuja interação se vê inversa, confirmadas pela correlação de Pearson ($\rho_c = -0,23^{**}$).

Resultados com tendências semelhantes para o teor de Na e K no solo foram encontrados por Freitas (2009) e Presotto (2013) que trabalharam com cascalho de perfuração de poços de petróleo. Magalhães (2011), trabalhando com arroz em ambientes saturados e com 70% da capacidade de campo (70% CC), verificou aumento no teor de Na à medida que aumentou as doses de cascalho, contudo o aporte foi menor na condição de saturação quando comparado com o solo a 70% CC, o mesmo foi encontrado por Coutinho (2013). Magalhães (2011), avaliando o teor de Na nos extratos lixiviados em experimentos de coluna de lixiviação, verificou que a maior concentração de Na no extrato lixiviado foi encontrado no tratamento em condição de oxidação (70% CC).

Os altos valores de sais, principalmente Na, nos resíduos é devido a utilização de aditivos como o cloreto de sódio e soda cáustica que servem para controlar o pH do fluido e como inibidor de argila (Carls et al., 1995).

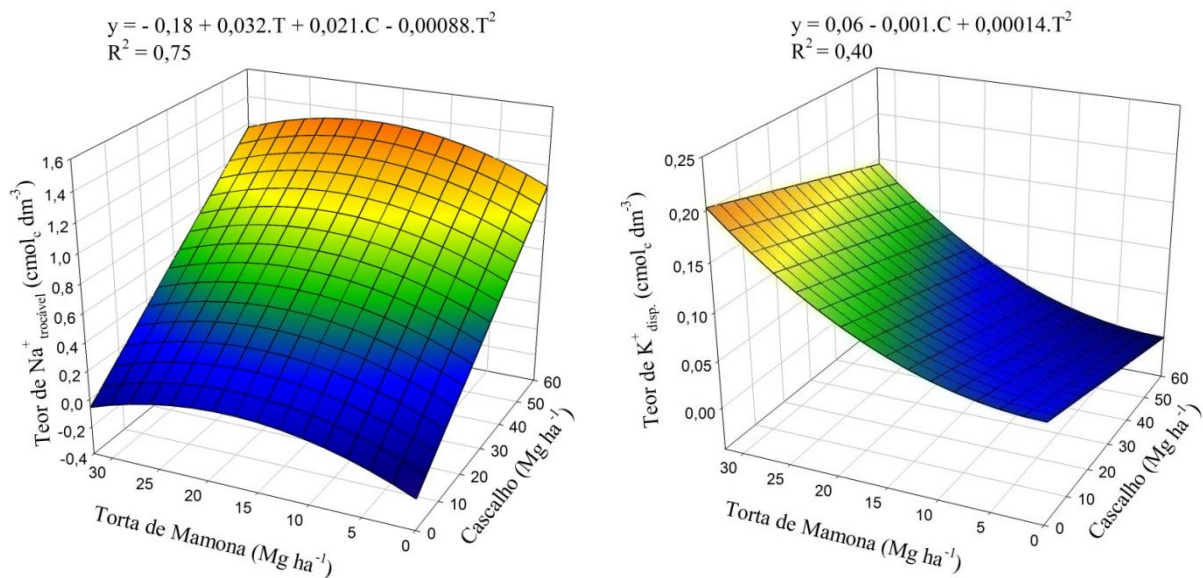


Figura 22. Teor de sódio trocável (Na^+ trocável) e potássio disponível (K^+ disp) no solo após o cultivo da mamona em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Equação de regressão significativa a 1% de probabilidade pelo teste t.

Na Figura 23 a seguir está apresentado o gráfico de superfície de regressão da influencia da torta de mamona e do cascalho de perfuração sobre o teor de Al^{3+} trocável no solo e o gráfico de dispersão da interação entre o Al^{3+} e pH encontrados nos tratamentos correspondentes. Ambos os modelos de equação de regressão são significativas com $p \leq 0,01$.

O Al^{3+} trocável decresceu nos tratamentos sob doses crescentes de ambos os resíduos, indicando que os dois resíduos promovem a complexação do Al, confirmando a correlação de Pearson na Tabela 4, cuja correlação é inversa para ambas as fontes de variação ($\rho_t = -0,24^{**}$; $\rho_c = -0,72^{**}$). Quanto ao Al^{3+} trocável e o pH houve correlação inversa, ($\rho = -0,64^{**}$), sendo verificado que em pH 5,5 não havia mais Al^{3+} na solução do solo.

Nota-se que tanto o cascalho como a torta de mamona alteraram o comportamento do Al^{3+} no solo. No tratamento controle foi encontrado um teor de Al^{3+} trocável de $0,41 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Analisando isoladamente cada fonte de variação, observa-se que a torta diminuiu a disponibilidade do Al^{3+} caindo para $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na maior dose do tratamento (32 Mg ha^{-1}). Em relação ao cascalho, que também verificou redução na disponibilidade do Al^{3+} trocável, caiu para $0,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na maior dose do mesmo (45 Mg ha^{-1}). Salientando que na dose de 15 Mg ha^{-1} de cascalho já não se encontra Al^{3+} trocável.

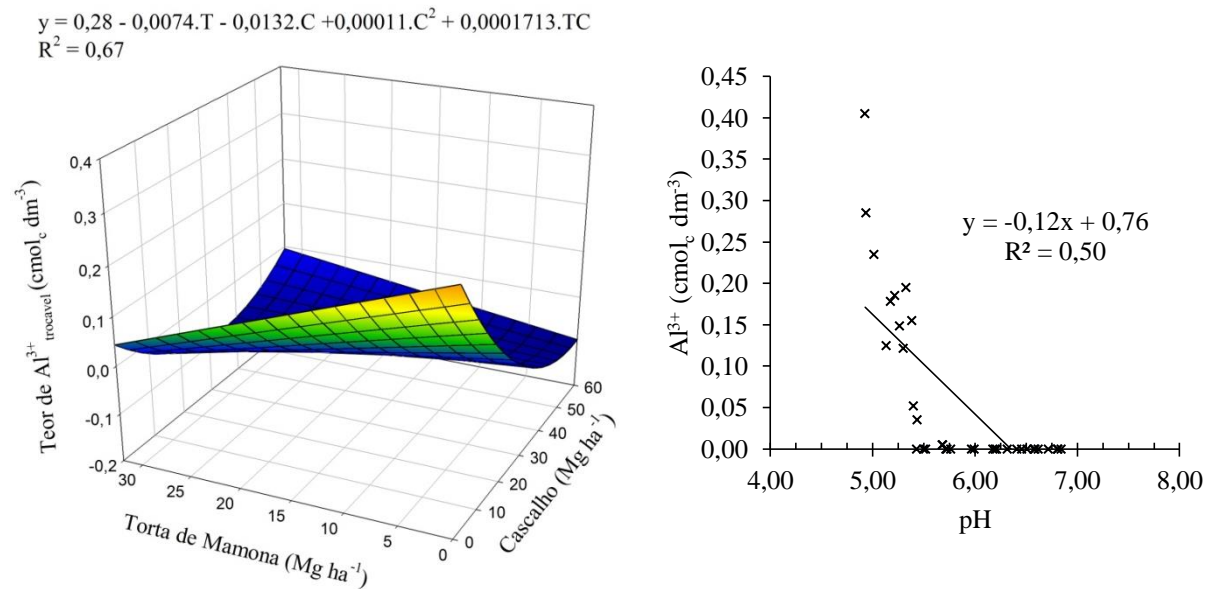


Figura 23. Gráfico de superfície: teores de Al³⁺ trocável (cmol_cdm⁻³) do solo após cultivo da mamona, em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Gráfico de dispersão: teores de Al³⁺ trocável (cmol_cdm⁻³) do solo em função do pH encontrado. Modelos de equação de regressão ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Observa-se no gráfico de superfície (Figura 24), que o uso da torta e do cascalho teve influencia significativa sobre o pH do solo, após o cultivo da mamona. No tratamento controle foi verificado um pH de 4,93 e ao analisarmos cada fonte de variação isoladamente, verifica-se que o cascalho obteve expressiva atuação sobre este fator, à conhecer sua composição, elevando o pH para 6,72. O efeito da torta sobre o pH, analisando isoladamente, teve um incremento menor, chegando a 5,40. Nos tratamentos onde receberam ambos os resíduos, observou-se efeito positivo, elevando o pH para 6,45 em suas maiores doses, constatando uma boa interação entre o cascalho e a torta de mamona. O aumento dos valores de pH em função da aplicação do resíduo é em função das altas concentrações de carbonato de cálcio e de hidróxido de sódio presentes no resíduo de perfuração. A adição de carbonato de cálcio serve para prevenção de corrosão dos tubos como também no aumento da densidade do fluido (Carls et al., 1995; Bauder et al., 2005). O CaCO₃ também pode ser utilizado para selar pequenas rupturas ocasionadas durante a atividade de perfuração (Kisic et al., 2009). Outros aditivos utilizados no controle de corrosão são o hipofosfito de sódio (Na₂(HPO₄)₂) e soda cáustica (NaOH), que também contribuem para o elevado teor de sódio no resíduo. Assim também, o CaCO₃ pode fazer parte da composição do próprio cascalho, se for o caso da formação geológica (carbonática), encontrada durante a perfuração.

Diversos autores relatam os efeitos da aplicação de resíduos de perfuração nas propriedades químicas do solo e descrevem principalmente o aumento dos valores de pH, concentração de bário, de sódio e condutividade elétrica (Miller & Pesaran, 1980; Miller et al., 1980; McFarland et al., 1992; Carls et al., 1995; Bauder et al., 2005; Magalhães, 2011; Coutinho, 2013).

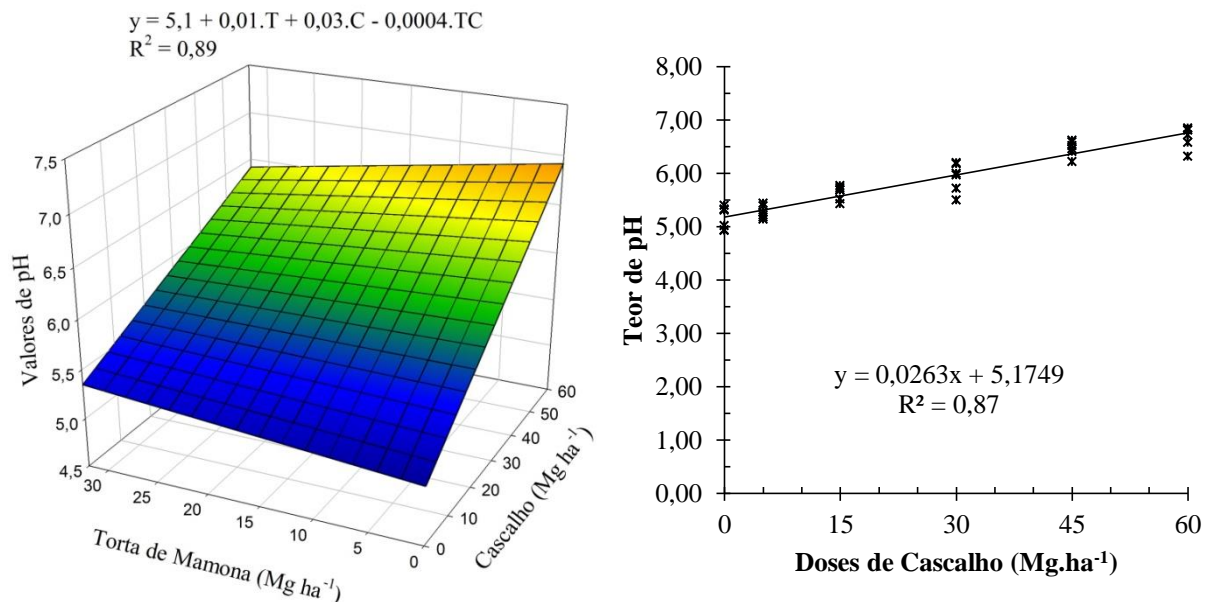


Figura 24. Gráfico de superfície: valores de pH_{H_2O} do solo em função das doses de cascalho de perfuração (C) e torta de mamona (T). Gráfico de dispersão: valores de pH_{H_2O} do solo em função da aplicação das doses de cascalho. Equação de regressão múltipla significativa a 1% de probabilidade teste t.

Houve aumento no teor de P assimilável (P_{ass}) tanto com adição de cascalho de perfuração como de torta de mamona (Figura 25). No tratamento controle foi encontrado um teor de $5,41 \text{ mg L}^{-1}$ de P_{ass} . Analisando o efeito da torta de mamona e do cascalho isoladamente, o incremento de P no solo pela torta foi superior ao do cascalho, sendo observado nas maiores doses dos resíduos (32 e 60 Mg ha^{-1}), respectivamente, $36,19$ e $21,37 \text{ mg L}^{-1}$, a julgar pelo aporte de fósforo contido na torta de mamona ($5,4 \text{ g kg}^{-1}$) encontrado na ordem de dez vezes maior ao contido no cascalho ($0,56 \text{ g kg}^{-1}$).

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 e também na antecipação do racemo primário. Na região do semi-árido, sua importância é evidente, pois estimula o desenvolvimento do sistema radicular predispondo a planta para suportar períodos prolongados de seca (Savy filho, 2005; Silva, 2010).

A deficiência de P proporciona uma redução na área foliar através da limitação do número de folhas, da ramificação da parte aérea, da redução da taxa de assimilação de carbono e da senescência prematura das folhas, limitando assim a futura produção de sementes (Marschner, 2002; Santos et al. 2011).

De acordo com o sistema de produção da mamona orientado pela Embrapa (Scivittaro & Pillon, 2007), os teores médio, alto e muito alto de P encontrados na análise de solo variam entre $14,1$, $21,1$ e superiores a 42 mg dm^{-3} , respectivamente, considerando o teor de argila menor que 20%. Para estes teores, é indicada uma adubação fosfatada de 60 , 30 e zero kg ha^{-1} de P_2O_5 no primeiro cultivo, respectivamente, e 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 para ambos os teores no segundo cultivo. Salientando que devem ser acrescentados 15 kg ha^{-1} de P_2O_5 por tonelada adicional de grãos a serem produzidos. Partindo destas recomendações os tratamentos que obtiveram valores muito alto de P_{ass} foram as seguintes doses (torta:cascalho): $16:60$; $32:15$; $32:45$ e $32:60 \text{ Mg ha}^{-1}$, e os que obtiveram valores alto de fósforo assimilável foram as

seguintes doses (torta:cascalho): 0:60; 2:60; 4:60; 8:45; 8:60; 16:0; 16:15; 16:30; 16:45; 16:60; 32:0; 32:5 e 32:30 Mg ha⁻¹.

Assim pode-se entender que cada resíduo influencia de uma forma no aumento de P_{ass}, a torta aumentando o aporte de P e o cascalho na disponibilidade do mesmo.

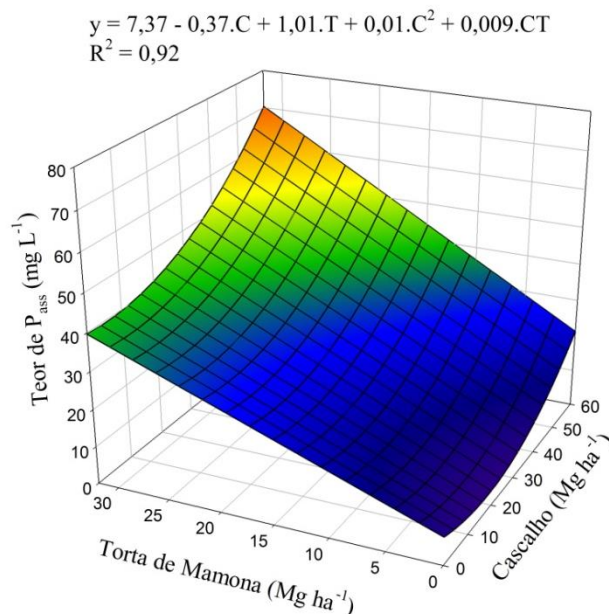


Figura 25. Teor de fósforo assimilável (P_{ass}) no solo em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelo de equação de regressão significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ disponíveis no solo seguem tendências semelhantes, sendo observado um aumento significativo com as doses de cascalho e torta de mamona (Figura 26). A influência do cascalho sobre a disponibilidade do Ca²⁺ no solo foi mais pronunciada do que a influência da torta, haja visto teor deste elemento nestes resíduos, 31,8 e 8,69 gKg⁻¹ respectivamente, proporcionando também maior aporte deste nutriente ao solo. O cálcio além de estar presente na estrutura mineral do cascalho, como parte da mineralogia do solo, também se encontra em aditivos do fluido de perfuração na forma de carbonato de cálcio, elevando ainda mais seu teor e sua disponibilidade no solo.

Analisando os tratamentos na presença isolada do cascalho, em doses crescentes, foram encontrados resultados de 0,61 cmol_cdm⁻³ de Ca²⁺ trocável na dose 0 Mg ha⁻¹ e de 2,83 na dose 60 Mg ha⁻¹ de cascalho. Em relação aos tratamentos de torta, isoladamente, foram observados teores de 0,61 e 1,16 cmol_cdm⁻³ de Ca²⁺ trocável nas doses 0 e 32 Mg ha⁻¹ de torta de mamona, respectivamente. Auxiliando no estudo desta relação estão apresentados na Tabela 4 as correlações de Pearson ($\rho_t = 0,16^*$; $\rho_c = 0,97^{**}$).

De forma semelhante, o teor de Mg²⁺ trocável encontrado no solo após o cultivo da mamona foi influenciado significativamente ($p \leq 0,01$) pela torta de mamona e pelo cascalho de perfuração, sendo a equação de regressão linear, para ambos os resíduos, que melhor representa sua disponibilidade no solo. Nota-se que a amplitude entre a menor e a maior dose de torta (0,17 cmol_cdm⁻³) é semelhante à amplitude referente ao cascalho (0,12 cmol_cdm⁻³), ambos analisados de forma isolada quanto em tratamento.

Verifica-se pela correlação de Pearson que a torta tem maior influência sobre a disponibilidade de Mg²⁺ trocável no solo que o cascalho ($\rho_t = 0,56^{**}$; $\rho_c = 0,44^{**}$), apesar de ser observado o inverso na caracterização dos resíduos, cujo aporte de Mg_{total} se encontra em

maior teor no cascalho que na torta. Fato este que possivelmente pode ser explicado pela forma que se encontra este elemento no resíduo, estando associado à estrutura mineral do cascalho ficando assim pouco disponível, o que ocorre diferente na torta, cujo nutriente já foi absorvido pela mamona e translocado, fazendo parte da estrutura da planta, se tornando prontamente disponível quando aplicado ao solo em forma de torta de mamona.

Tendências semelhantes foram encontrados por Presotto (2014) trabalhando com o desenvolvimento de girassol em substrato contendo doses crescentes de cascalho e torta de crambe, considerando que a aplicação do cascalho e da torta de crambe promoveram um ganho no teor de Ca^{2+} do solo em uma faixa que pode ser considerada responsiva pelo girassol. De forma análoga, a torta e o cascalho contribuíram de forma semelhante no aumento do teores de Mg^{2+} trocável.

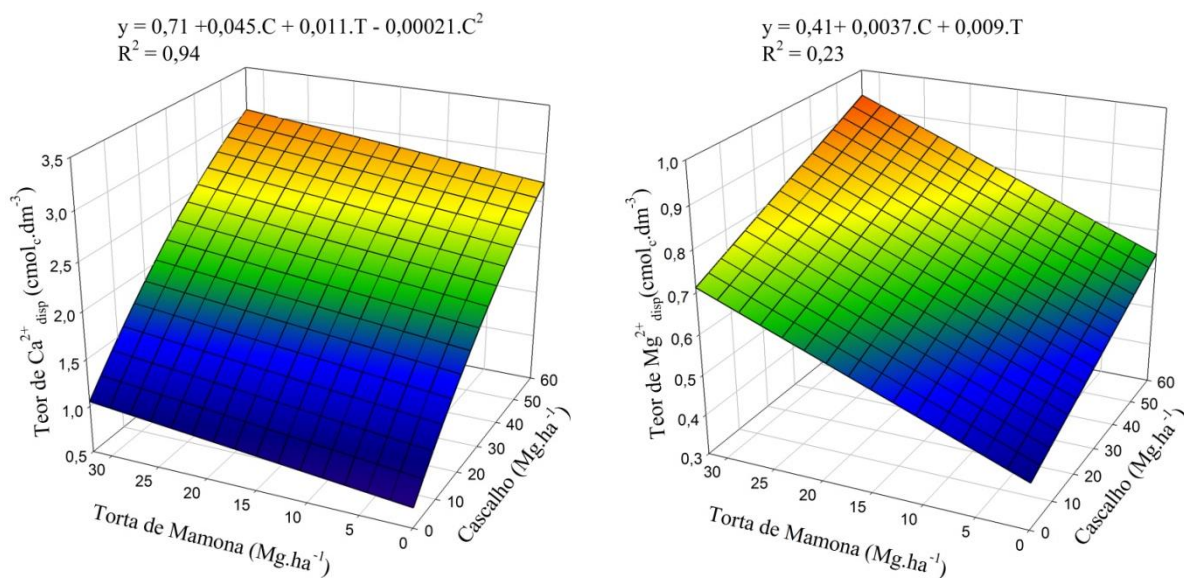


Figura 26. Teor de cálcio e magnésio disponível no solo ($\text{Ca}^{2+}_{\text{disp}}$ e $\text{Mg}^{2+}_{\text{disp}}$) em função das doses de torta de mamona (T) e cascalho de perfuração (C). Modelos de equação de regressão significativos ao nível de 1% de probabilidade.

No que diz respeito à condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) em função das doses de torta de mamona (T) e cascalho de perfuração (C), foi verificado que esta sofre um efeito positivo de ambos os resíduos (Figura 27). Em termos de magnitude de influência, o cascalho apresentou maior expressão na elevação da CE, notadamente representada pelas doses de 45 e 60 Mg ha^{-1} .

No tratamento controle foi observado um valor de 0,33 dS m^{-1} de CE, enquanto que, na maior dose de cascalho (60 Mg ha^{-1}) foi encontrado 1,09 dS m^{-1} , desconsiderando o efeito da torta. Enquanto que nos tratamentos sob doses crescentes de torta, desconsiderando o efeito do cascalho, foi observado um valor de 0,49 dS m^{-1} na maior dose de torta (32 Mg ha^{-1}), constatando maior influência do cascalho sobre a CE.

Aplicando as maiores doses de cada fator, isoladamente, não seria o suficiente para resultar em uma CE que comprometesse o crescimento da mamoneira, sendo encontrado na literatura o limite de 4 dS m^{-1} de CE para a não diminuição de seu rendimento (Fuller, 1967; Richards, 1954). Com a aplicação conjunta dos fatores, a condutividade aumenta significativamente, atingindo valores próximos a 8 dS m^{-1} .

Neste sentido, avaliando o potencial de risco para o ambiente solo e para a mamoneira, quanto à CE, limita-se o uso destes resíduos às doses máximas de 30 e 16 Mg ha⁻¹ de cascalho e torta de mamona, respectivamente.

Estes resultados se assemelham aos encontrados por Presotto (2014), em avaliação do desenvolvimento de girassol submetida a aplicações crescentes de cascalho e torta de crambe, verificando o máximo incremento de CE (6 dS m⁻¹) quando houve associação das maiores doses dos resíduos. Cavalcanti et al. (2005), trabalhando com água de irrigação salina, contendo diferentes proporções de Na⁺ e Ca²⁺, no crescimento inicial da mamoneira cv. BRS-149 Nordestina, concluíram que a área foliar é afetada pela salinidade com decréscimo de 6,55% por aumento unitário da CE e o consumo de água pela planta diminui 6,29% também por aumento unitário da CE. Foram encontrados valores maiores de CE no solo com uso de águas com proporção mais elevada de Na⁺, quando comparados aos obtidos com maior proporção de Ca²⁺, sendo de 3,73 dSm⁻¹ (14,57%) a diferença entre as proporções 0,5:9,5 e 9,5:0,5 (Na:Ca).

Na mesma linha de pesquisa, Silva et al. (2008) verificaram que as variáveis altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar, tanto para cv. BRS Paraguaçu como para a cv. BRS Energia, foram sensíveis à salinidade, a partir de 4,7 dSm⁻¹ aos 80 dias após semeadura e o consumo diário de água por ambas diminuiu. Contudo a BRS Energia foi mais tolerante à salinidade, sendo mais precoce na colheita, proporcionando maior número de frutos.

Severino et al. (2014) avaliaram se a presença Ca e Mg na água de irrigação poderia amenizar o efeito tóxico de Na na emergência e desenvolvimento inicial de três culturas oleaginosas (mamona, algodão e girassol), corroboraram a hipótese de que uma adubação com K, Ca e Mg têm capacidade real, mas limitada, de reduzir a toxidez de Na no crescimento das plantas. Por um lado causariam benefícios pelo efeito antagônico destes cátions com o Na e a melhoria do estado nutricional da planta, já que estes seriam minerais essenciais às plantas (quando estes forem fornecidos acima do requisitado pela planta e/ou planejamento de adubação), por outro lado, ocorreriam efeitos deletérios pela adição de fertilizantes ao solo salinizado podendo aumentar a condutividade elétrica e agravar o estresse salino (Severino et al., 2014; Joshi et al., 2012).

O excesso de sais na zona radicular das plantas exerce efeitos nocivos às plantas, reduzindo seu crescimento e desenvolvimento, causando até a morte das plantas em virtude do maior efeito osmótico externo às raízes e restrição ao fluxo de água do solo para as plantas, necessário para sobreviverem e produzirem em condições de estresse salino (Rhoades et al., 2000). De acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013) a faixa de CE para considerar um solo como salino é de 4 a 7 dS m⁻¹, enquanto que o caráter sálico indica uma CE superior a 7 dS m⁻¹.

Apesar da CE apresentar informações relevantes à respeito da salinidade do solo por integrar a maior parte dos sais com potencial de salinização, a proporção entre esses íons também é de extrema relevância. Por isso a relação entre o teor de Na⁺ trocável com as demais bases trocáveis, denominada de saturação por sódio ou porcentagem de sódio trocável (PST) permite avaliar melhor o potencial de efeitos de salinização ao solo e às plantas (Presotto, 2014).

A porcentagem de sódio trocável (PST) apresenta uma tendência positiva correspondendo às doses crescentes de cascalho, desta forma observa-se um incremento de PST significativo às doses deste resíduo do que se observa na torta de mamona, que apresentou maiores valores de PST nas doses intermediárias (4, 8 e 16 Mg ha⁻¹ de torta), caracterizando um ajuste quadrático como visto no modelo de equação de regressão (Figura 27).

Analisando isoladamente os tratamentos sob as doses de cascalho, verifica uma amplitude de 9,67% entre o controle e a dose 60 Mg ha⁻¹ de cascalho. Quando insere 32 Mg ha⁻¹ de torta (maior dose) aos tratamentos crescentes de cascalho, nota-se que a amplitude cresce para 21,69% a saturação por sódio nos complexo de troca. Este fato indica que a presença de torta influencia na maior disponibilidade de Na ao solo, mesmo que este não contenha em sua caracterização, altos teores de Na.

O excesso de sais de sódio pode afetar as propriedades físicas e químicas do solo, pois aumenta a espessura da dupla camada difusa, proporcionando a dispersão de argilas e, conseqüentemente, reduzindo a porosidade e a permeabilidade do solo (Korndörfer, 2006). Valores de saturação por Na igual ou superior a 15% pode caracterizar ao solo o caráter sódico, pois essa porcentagem de Na causa toxidez à maioria das plantas, afetando o seu crescimento. Além dos efeitos diretos às plantas, a presença de Na inibe a adsorção de Ca e Mg, elementos vitais ao seu desenvolvimento das plantas (Presotto, 2014).

De acordo com o modelo, a dose máxima de cascalho para não ultrapassar a PST crítica de 15% seria de 30 Mg ha⁻¹ em qualquer associação com torta de mamona. Neste sentido, somente as doses de 2:45;4:45;8:45; 2:60; 4:60; 8:60; 16:60 e 32:60, ultrapassaram 15% de saturação por Na.

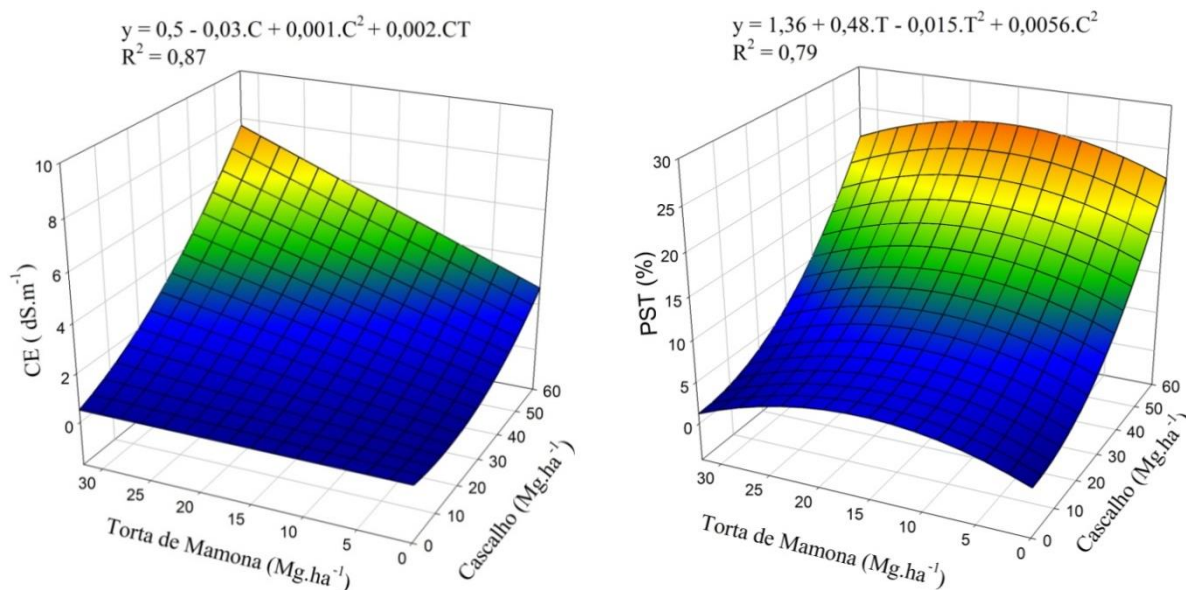


Figura 27. Valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) e porcentagem de sódio trocável (PST) em função das doses de cascalho (C) e torta de mamona (T). Modelos de equação de regressão significativos a 1% de probabilidade de ocorrência pelo teste t.

Em relação aos hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), a elevada concentração desses compostos presentes no cascalho de perfuração resultou em significativo aporte ao solo (Figura 28). Entretanto, a concentração de HTP no solo em função das doses de cascalho de perfuração, sem a torta, após o cultivo de mamona, apresentou valores baixos devido a alta mineralização natural do mesmo, havendo degradação de mais de 90% do HTP aplicado em todos os tratamentos.

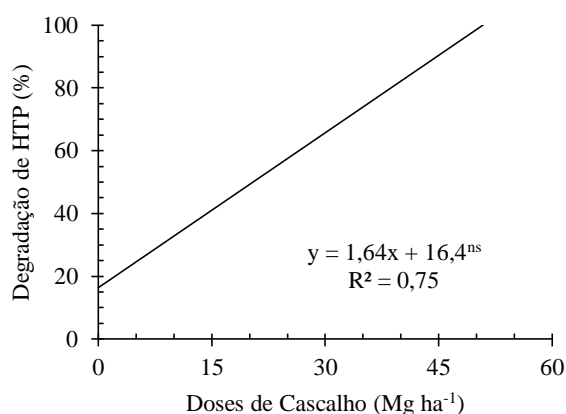


Figura 28. Porcentagem de decomposição de HTP em função das doses de cascalho, avaliados após o cultivo da mamona (97 DAS). Modelo de equação de regressão significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Para verificar a decomposição de HTP, sem a interferência da planta e da torta de mamona, foi instalado um experimento em paralelo com as mesmas doses crescentes de cascalho e o mesmo solo como substrato principal. Os resultados mostram o efeito da intensa mineralização destes compostos através do balanço de massa entre a quantidade de HTP aplicada com o cascalho e a quantidade de HTP detectada (Tabela 5). Não foi feita análise de recuperação de HTP no tempo zero.

Assim, provavelmente a degradação dos hidrocarbonetos em presença da planta será ainda maior em função da interação dos mesmos com às raízes, tanto no auxílio da aeração do solo como transformando sua rizosfera de forma a favorecer aumento na disponibilidade de nutrientes que por conseguinte auxilia o desenvolvimento microbiano interferindo positivamente na decomposição dos HTP's.

Tomando como base o valor de referência de qualidade para HTP (50 mg kg^{-1}), em solos, segundo a Lista Holandesa (2009), verifica-se que mesmo na maior dose de cascalho, foi encontrado uma concentração inferior ao estabelecido pela lista ($7,67 \text{ mgkg}^{-1}$) e em todos os tratamentos foram decompostos mais de 90% do HTP aplicado. Neste contexto pode-se inferir que mesmo sem a aplicação de torta ou de qualquer planta como cobertura de solo, independente de sua finalidade, o HTP será mineralizado. Salienta-se que o solo utilizado foi de textura arenosa, o qual favoreceu, em parte, os microorganismos aeróbicos na decomposição do HTP, que embora a aeração tenda a ser maior que outros solos, geralmente apresentam menor diversidade microbiana, por reterem menos umidade assim apresentando menores teores de matéria orgânica natural.

Tabela 5. Porcentagem de HTP decomposto no solo nu em função das doses de cascalho aplicado, na ausência de planta e torta de mamona.

Doses de Cascalho	Teor de HTP no solo	HTP aplicado	HTP detectado	HTP decomposto
-----Mg.ha ⁻¹ -----	-----mg.kg ⁻¹ -----	-----mg.vaso ⁻¹ -----	-----mg.vaso ⁻¹ -----	-----%-----
0	-	-	-	0
5	2,55	405,42	30,60	92,45
15	2,51	1216,26	30,10	97,53
30	3,13	2432,52	37,5	98,46
45	4,28	3648,78	51,3	98,59
60	7,67	4865,04	92	98,11

Resultados semelhantes quanto à decomposição do HTP foram encontrados por Presotto (2014), Magalhães (2011), Freitas (2013). Sarkaret al. (2004) avaliando a biorremediação de solo contaminado com HTP, utilizando dois métodos laboratoriais, um de monitoramento natural e outro com liberação rápida de fertilizantes inorgânicos, concluíram que o segundo método teve melhor resposta na decomposição do HTP. Foi verificado com o método de liberação rápida de fertilizantes inorgânicos cerca de 96% de degradabilidade em oposição ao natural com 93,8%, salientando que o método teve aumento microbiano significativo nos primeiros 8 dias, porém apresentou queda após esse período, não havendo, ao final do trabalho, diferença significativa entre os métodos. Desta forma foi sugerido que o método natural pode ser uma estratégia de remediação viável em certos solos com população microbiana nativa alta.

Com base nos resultados destes estudos, pode se inferir que a carga microbiana do solo aumenta quando se aplica o cascalho, já que este influencia no pH e na disponibilidade de nutrientes do solo, assim como na incorporação de hidrocarbonetos assimiláveis, favorecendo certa classe de microorganismos em detrimento a outras.

5. CONCLUSÕES

A mistura do cascalho de perfuração de poços de petróleo e da torta de mamona na proporção de 30:16 Mg ha⁻¹, respectivamente, favorece o desenvolvimento da mamoneira, cultivar BRS-149.

Doses elevadas de cascalho de perfuração de poços de petróleo causam salinização no solo e afetam de forma negativa o desenvolvimento da mamoneira cultivar BRS-149.

Os teores de N, P, K são mais afetados pela torta de mamona em detrimento ao cascalho de perfuração.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os parâmetros morfológicos da mamoneira BRS-149 cv. Nordeste analisados mostraram resultados satisfatórios, principalmente nos tratamentos onde houve a interação do cascalho de perfuração com torta de mamona. O melhor desempenho foi observado nas doses de 60 e 16 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Quanto aos parâmetros nutricionais da mamoneira, a interação entre o cascalho e a torta com melhor desempenho ocorreu nas respectivas doses de 15 e 16 Mg ha⁻¹ para N, Ca e Mg; para o teor de P a melhor resposta foi observada pela aplicação de 32 Mg ha⁻¹ de torta; para o K não houve dose correspondente, devendo assim complementar com adubação mineral. Para a mínima ocorrência de estresse salino, não foi observada presença de Na na folha nas doses de 5, 15 e 30 Mg ha⁻¹, o que indica menor influencia deste elemento nos processos fotossintéticos e nas trocas gasosas.

A respeito dos pigmentos fotossintéticos, foi constatado que os teores de clorofila *a*, *total* e carotenóides tiveram correspondência significativa aos teores de nitrogênio e área da folha indicadora. Assim também, os índices de clorofila *a* e *total* feitos por leitura no aparelho Falker[®] estimaram adequadamente os dados de clorofila extraível, porém se sugere mais estudos para averiguação dos mesmos.

Os efeitos no solo após o cultivo da mamona foram favoráveis quanto ao fornecimento e à disponibilidade de nutrientes proporcionada principalmente pelo cascalho, atentando para seu melhor desempenho na associação com a torta de mamona. Houve a eliminação do Al³⁺ tóxico pelo aumento do pH na dose mínima de 15 Mgha⁻¹ de cascalho, independente das doses de torta. Assim, os tratamentos também favoreceram pelo incremento de P_{disp}, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ trocáveis, com melhoria da fertilidade do solo; contudo deve ser apontado o relevante conteúdo de Na⁺, que pode limitar o seu uso indiscriminado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, W. E. B. Viabilidade Técnica do Cultivo de Oleaginosas no Norte-Fluminense. Pesagro-RJ. 47 pag. 2007.
- AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. (ed.). O Agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 350p.
- BALL, A. S.; STEWART, R. J.; SCHLIEPHAKE, K. A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cutting. *Waste Management e Research*, v.30, p.457-473, 2012.
- BAUDER, T. A .; BARBARICK, K. A.; IPPOLITO, J. A.; SHANAHAN, J. F.; AYERS, P. D. Soil properties affecting wheat yields following drilling-fluid application. *Journal of Environmental Quality*. 34, 1687-1696. 2005.
- BELTRÃO, N. E. de M. & OLIVEIRA, M. I. P.; Detoxicação e Aplicações da Torta de Mamona. Campina Grande: Embrapa Algodão (Documentos, 217). 35p. 2009.
- BELTRÃO, N. E. M.; LUCENA, A. M. A.; BRITO, G. G.; OLIVEIRA, M. I. P.; ALBUQUERQUE, F. A. Ecofisiologia da mamoneira (*Ricinus communis* L.). In: BELTRÃO, N.E.M. e OLIVEIRA, M.I.P. (Ed.) Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal. Brasília, DF: Embrapa Inform. Tec. Cap. 5; pg. 248, 2011.
- BLACKMER, T. M. e SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *Journal of Production Agriculture* , 8:56-60, 1995.
- CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M.; NETO, S. C. A revolução verde da mamona. *Química e Sociedade*.Vol. 32, Nº 1, Fevereiro 2010.
- CARLS, E.G.; DENNIS, B. F.; CHAFFEY, S. A. Soil contamination by oil and gas drilling and production operations in Padre Island National Seashore, Texas, USA. *Journal of Environmental Managment*.45, 273-286. 1995.
- CAVALCANTI, M. L. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BARROS JUNIOR, G.; SOARES, F. A. L.; SIQUEIRA, E. C. Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: germinação e características de crescimento. *Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.*,Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, v.9, (suplemento), p.57-61, 2005.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. Viçosa, MG,359p, 1999.
- CONAB 2014, Acomp. safra bras. grãos, v.2 - Safra 2014/15, n.3 - Terceiro Levantamento, Brasília, ISSN 2318-6852, p. 1-100, dez. 2014.
- COUTINHO, I. B. **Crescimento de plantas de arroz em solo com aplicação de resíduos oriundos da perfuração de poços de petróleo.** 39f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CRUSCIOL, C.A.C.; NASCIMENTO, M.S.; FERNANDES, A.M.; ZANOTTO, M.D. Extração e exportação de nutrientes pelo híbrido de mamona Savana: II – Micronutrientes. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2637-2656, 2012.

DHIR, B.; SHARMILA, P.; SARADHI, P. P. Photosynthetic performance of *Salvinia Natans* exposed to chromium and zinc rich wastewater. *Brazilian Journal Plant Physiology*, Piracicaba, v. 20, n.1, p. 61-70, 2008.

DIAS, G. J.; COUTINHO, A. L. G. A.; MARTINS, R. P. Modelagem tridimensional do lançamento de cascalhos de perfuração de poços de petróleo em águas profundas. 3º Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás. 2005.

EMBRAPA, Agência Embrapa de Informação Tecnológica – Ageitec, <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/mamona/arvore/CONT000h4pitb4s02wx7ha0awymtyiscijnl.html>, Acessado em 29 de dezembro de 2014.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª Edição. Rio de Janeiro, Embrapa Solo, 353p. 2013.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 370p. 1997.

FAM, M.A; DUSSEAUT, M. B; FOOKS, J. C. Drilling in mudrocks: rock behavior issues. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v.38, p.155-166, 2003.

FERREIRA, R. G.; TÁVORA, F. J. A. F.; HERNANDEZ, F.F.F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 1, p. 79-88, 2001.

FERREIRA-SILVA, S. L.; SILVEIRA, J. A. G.; VOIGT, E. L.; SOARES, L. S. P.; VIÉGAS, R. A. Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew root stocks. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 20, p. 51-59, 2008.

FILHO, D. B. F. & JÚNIOR, J. A. S. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, Vol. 18, n. 1, 2009.

FULLER, W. H.; Water soil and crop management, principles for the control of salts. Tucson: University of Arizona. (University of Arizona. Bulletin, A-23). 21 p. 1967.

GARG, B.K.; GUPTA, I. C. Saline wastelands environment and plant growth. Scientific Publishers, Jodhpur, India, 1997.

GLÓRIA, N. A. Uso Agrônômico de resíduos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, 2004, Lages. Anais... Lages: SBCS, 2004. 1 CD-ROM.

HOCKING, P. J. Accumulation and distribution of nutrients in fruits of castor bean (*Ricinus communis* L.). Nedlands, Western Australia. *Annals of Botany Company*. 49, 51-62, 1982.

HOLANDA, A. Biodiesel e inclusão social. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2004. 189 p.(Cadernos de Altos Estudos, 1).

JESCHKE, W.; KIKBY, E. A.; PEUKE, A.; PATE, J. S.; HARTUNG, W. Effects of P deficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean *Ricinus communis* L. *Journal of Experimental Botany*, v. 48, p. 75-91, 1997.

JESCHKE, W.D; KIKBY, E. A.; PEUKE, A.; PATE, J. S.; HARTUNG, W. Effects of P deficiency on the uptake, flows and utilization of C, N and H₂O within intact plants of *Ricinus communis* L. *Journal of Experimental Botany*, v. 47, p. 1737-1754, 1996.

JOSHI, S.V.; PATEL, N. T.; PANDEY, I. B.; PANDEY, A. N. Effect of supplemental Ca²⁺ on NaCl-stressed castor plants (*Ricinus communis* L.). *Acta Bot. Croat.* 71, 13-29, 2012.

JUNIOR, E. B.; **características estruturais, teores de clorofila e suas relações com o nitrogênio foliar e biomassa em capim–Tifton 85**. 49f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia – PPGZ) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

KEENEY D.R. AND BREMNER J. M. Use of the Coleman model 29A analyser for total nitrogen analysis of soils. *Soil Science*.p.104, (5), 358-363. 1967.

KISIC, I.; MESIC, S.; BASIC, F.; BRKIC, V.; MESIC, M.; DURN, G.; ZGORELEC, Z.; BERTOVIC, L. The effect of drilling fluids and crude oil on some chemical characteristics of soil and crops. *Geoderma*, 149, 209-216. 2009.

KOPITTKE, P. M. Interactions between Ca, Mg, Na and K: alleviation of toxicity in saline solutions. *Plant Soil* 352, 353–362, 2012.

KOPITTKE, P. M.; BLAMEY, F. P.; KINRAIDE, T. B.; WANG, P.; REICHMAN, S. M.; MENZIES, N.W. Separating multiple, short-term, deleterious effects of saline solutions on the growth of cowpea seedlings. *New Phytol.* 189, 1110–1121, 2011.

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, p. 355-374. 2006.

LAVIOLA, B. G. & DIAS, L. A. do S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-mansão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1969-1975, 2008.

LIMA, E. S. T., Dinâmica do bário em solos que receberam baritina. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H .R.; SOARES, L. A. A.; LOURENÇO, G. S. Resposta da mamoneira cv. BRS Energia a diferentes níveis de salinidade da água e doses de nitrogênio, *Rev. Verde de Agroec. e Desenv. Sustentável*, v. 7, n. 2, p. 79-87, 2012.

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. *Caatinga* (Mossoró, Brasil), v. 21 n. 5 (Número Especial), p. 102-106, dezembro de 2008.

LISTA HOLANDESA. Soil Remediation Circular 2009. Esdat Environmental Database Management Software. Disponível em: <http://www.esdat.com.au/Environmental%20Standards/Dutch/ENGELSE%20versie%20circulaire%20Bodemsanering%202009.pdf>. Acessado em 6 de fevereiro de 2015.

MAGALHÃES, M. O. L. **Dinâmica do bário em solos contaminados por resíduos oriundos da perfuração de poços de petróleo.** 163 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciências do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

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

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

MANSOUR, M. M. F.; SALAMA, K. H. A.; AL-MUTANA, M. M. Transport protein and salt tolerance in plants. *Plant Science*, v.146, p.891-900, 2003.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2 Ed. Academic Press, London, 1995.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 889p. 2002.

McFARLAND, M. L.; UECKERT, D. N.; HONS, F. M.; HARTMANN, S. Selective placement burial of drilling fluids: I. Effects on soil chemi yield for similar soils and management systems when cal properties. *J. Environ. Qual.* 21:135-139. 1992.

MELO, W. C.; SILVA, D. B.; PEREIRA JUNIOR., N.; ANNA, L. M. M. S.; SANTOS, A. S. Produção de etanol a partir de torta de mamona (*Ricinus communis* L.) e avaliação da letalidade da torta hidrolisada para camundongos. *Quim. Nova*, v..31, n. 5, p. 1104-1106, 2008.

MILLER, R. W. & PESARAN, P. Effects of drilling fluids on soils and plants: Complete drilling fluid mixtures. *J. Environ. Qual.* 9, 552-556. 1980.

MILLER, R. W.; HONARVAR, S.; HUNSAKER, B. Effects of drilling fluids on soils and plants: Individual fluid components. *J. Environ. Qual.* 9:547-552. 1980.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 651–681, 2008.

NASCIMENTO, M. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, A. M.; ZANOTTO, M. D. Nutrient extraction and exportation by castor bean Hybrid Lyra. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:113-124, 2012.

NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, S. S.; Acúmulo de NPK e sódio na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental.* Campina Grande, PB, v. 17, n.10, p. 1066-1073, 2013.

OLIVEIRA, M. K. T.; OLIVEIRA, F. A., MEDEIROS, J. F.; LIMA, C. J. G. S.; GUIMARÃES, Efeito de diferentes teores de esterco bovino e níveis de salinidade no crescimento inicial da mamoneira (*Ricinus communis* L.). Rev. Verde de Agroec. e Desenv. Sustentável, v.1, n.1, p. 68-74, 2006.

PACHECO, D. D.; GONÇALVES, N. P.; SATURNINO, H. M.; ANTUNES, P. D. Teores foliares em mamoneira (*Ricinus communis*) adubadas com doses variadas de NPK em solo de chapada da bacia do Rio Jequitinhonha. Rev. Biologia e Ciência da Terra (ISSN 1519-5228). v. 8, n. 1, 1º semestre de 2008.

PANDEY, V.; DIXIT, V.; SHYAM, R. Chromium effect on ROS generation and detoxification in pea (*Pisum sativum*) leaf chloroplasts. Protoplasma, New York, v. 236, n. 1-4, p. 85-95, 2010.

PAULUS D; DOURADO NETO D.; FRIZZONE J. A.; SOARES T. M. Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 28, p. 29-35, 2010.

PEUKE, A.D.; JESCHKE, W.D.; HARTUNG, W. Flows of elements, ions and abscisic acid in *Ricinus communis* and site of nitrate reduction under potassium limitation. Journal of Experimental Botany, v. 53, n. 367, p. 241-250, 2002.

PINHEIRO, H. A.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; FERREIRA, V. M.; CÂMARA, C. A.; CABRAL, F. F.; OLIVEIRA, J. F.; CARVALHO, L. W. T.; SANTOS, J.M.; SANTOS FILHO, B.G. Leaf gas Exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions. Ind. Crops and Products. 27, 385-392, 2008.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E.; Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura. Jaguariúna, SP. EMBRAPA, 2008, 9p. (Circular técnica, 19).

PRATES, F. B. S. **Nutrição e adubação do pinhão manso e crambe.** 155 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciências do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

PRESOTTO, R. A. **Efeito da salinidade do cascalho de perfuração de poços de petróleo no cultivo do girassol.** 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

REDDY, K. R.; MATCHA, S. K. Quantifying nitrogen effects on castor bean (*Ricinus communis* L.) development, growth, and photosynthesis. Ind. Crops and Products, 31 (2010) p. 185-191. 2009.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M.; Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB, Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 48 revisado, 117p. 2000.

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

RICHARDS, L. A.; Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D. C., U.S. Salinity Laboratory, (USDA Agriculture Handbook, 60). 160p. 1954.

RIGON, J. P. G.; CAPUANI, S.; BELTRÃO, N. E. M.; NETO, J. F. B.; SOFIATTI, V.; FRANÇA, F. V. Non-destructive determination of photosynthetic pigments in the leaves of castor oil plants. Maringá, Brazil. Acta Scientiarum Agronomy.v.34, n.3, p.325-329, July-Sept., 2012.

RODRIGUES, L. N. NERY, A. R.; CARVALHO, A. P.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N.E.M. Crescimento foliar da mamoneira irrigada com esgoto doméstico sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracajú. Anais... Aracajú: SAGRI, Embrapa Tabuleiros Costeiros e Embrapa Algodão, 2006 CD-ROM.

SANTOS, A. C. M.; FERREIRA, G.B; XAVIER, R. M; FERREIRA, M. M. M; SEVERINO L. S; BELTRÃO, N. E. M; DANTAS, J. P; MORAES, C. R. A. Deficiência de cálcio e magnésio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

SANTOS, C. V., Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. Sci. Hort. 103, 93-99, 2004.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C.S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B.; Produtividade de Cana-de-açúcar sob Adubação com Torta de Filtro Enriquecida com Fosfato Solúvel. Pesq. Agropec. Trop. , Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010.

SANTOS, V. M.; CASTRO, H. G.; CARDOSO, D. P.; LIMA, S.O.; BARROS LEAL, T. C. A.; SANTOS, G. R. Avaliação do crescimento e da produtividade da mamoneira BRS 149 Nordeste em dois níveis tecnológicos. J. Biotec. Biodivers. v. 2, N.3: pp. 58-66, Aug. 2011.

SARKAR D.; FERGUSON M.; DATTA R.; BIRNBAUM S. Bioremediation of petroleum hydrocarbons in contaminated soils: Comparison of biosolids addition, carbon supplementation, and monitored natural attenuation. Environmental Pollution 136:187-195. 2005.

SAVY FILHO, A. Mamona de tecnologia agrícola. Campinas: EMOPI, 105p. 2005.

SEVERINO, L. S.; LIMA R.L.S.; CASTILLO, N.; LUCENA, A.M.A.; AULD, D. L.; UDEIGWE, T. K. Calcium and magnesium do not alleviate the toxic effect of sodium on the emergence and initial growth of castor, cotton, and safflower. Industrial Crops and Products, Amsterdam, v. 57, p. 90-97, 2014.

SEVERINO, L. S. O que sabemos sobre a torta de mamona. Campina Grande: Embrapa Algodão (Documentos, 134) 31 p. 2005.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SILVA, S. D. **Efeito do uso de torta de mamona do processo de produção de biodiesel direto da semente em solo da Chapada o Apodi – RN.** 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, S. D.; PRESOTTO, R. A.; MAROTA, H. B., ZONTA, E. Uso de torta de mamona como fertilizante orgânico. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 19-27, 2012.

SOUSA, A. B. O.; BEZERRA, M. A.; FARIAS, F. C. Germinação e desenvolvimento inicial de clones de cajueiro comum sob irrigação com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.4, p.390-394, 2011.

SOUZA, E. C. A.; NATALE, W. Efeito do boro e do zinco na cultura da mamoneira. *Científica*, Jaboticabal, SP, v.13, p.327-333, 1997.

SUHAYDA, C. G.; GIANNINI, J. L.; BRISKIN, D. P.; Electrostatic changes in *Lycopersicon esculentum* root plasma membrane resulting from salt stress. *Plant Physiology*, v.93, p.471-478, 1990.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. *Boletim técnico*, n. 5, 2ª edição, Departamento de Solos, UFRGS, Porto Alegre, 174p. 1995.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91, 503-527, 2003.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Method 3052 - Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. 1996. 20p. Disponível em: <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf> Acessado em: 29 de dezembro de 2014.

8. ANEXOS

8.1. Anexo A

$$Eq.: 1 \quad C_a(\mu\text{mol.m}^{-2}) = \left\{ \left[\frac{(12,19.A_{663} - 3,45.A_{646})xVolumeDMSO(ml)}{\acute{a}rea\ dos\ discos(cm^2)} \right] x 11,21 \right\}$$

$$q.: 2 \quad E \quad C_b(\mu\text{mol.m}^{-2}) = \left\{ \left[\frac{(21,99.A_{646} - 5,32.A_{663})xVolumeDMSO(ml)}{\acute{a}rea\ dos\ discos(cm^2)} \right] x 11,21 \right\}$$

$$Eq.: 3 \quad C_{x+c}(\mu\text{mol.m}^{-2}) = \left\{ \left[\frac{(1000.A_{470} - 2,14.C_a - 70,16.C_b)xVolumeDMSO(ml)}{\acute{a}rea\ dos\ discos(cm^2)x 220} \right] x 11,21 \right\}$$

$$Eq.:4 \quad SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{1+} + Na^{1+}$$

$$Eq.:5 \quad CTC_T = SB + Al^{3+} + H^+$$

$$Eq.:6 \quad CTC_e = SB + Al^{3+}$$

$$Eq.:7 \quad V\% = \left(\frac{SB}{CTC} \right) x 100$$

$$Eq.:8 \quad m\% = \left(\frac{Al^{3+}}{CTC_e} \right) x 100$$

$$Eq.:9 \quad PST = \left(\frac{Na^+}{CTC_T} \right) * 100$$

$$Eq.:10 \quad RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}}$$

8.2. Anexo B

Tabela 6. Valores do quadrado médio da análise de variância da H, D, MSR, MSPA e AF de *Ricinus communis* L. em função das doses de cascalho e torta de mamona (fontes de variação – FV).

FV	H	D	MSR	MSPA	AF
Torta (T)	623,29**	18,48**	563,86**	1364,87**	21652266,8**
Cascalho (C)	581,57**	8,28**	261,80**	270,16**	1362184,3**
T*C	106,14 ^{ns}	1,28 ^{ns}	68,07*	35,51**	342074,7*
CV%	28,9	10,4	39,2	12,1	20,2

*, **: Fator de significância pelo teste F com probabilidade de 5% e 1% de ocorrência, respectivamente; ^{ns}: não significativo. Altura da planta (H); Diâmetro do caule (D); Massa seca da raiz (MSR), Massa seca da parte aérea (MSPA); Área foliar total (AF).

Tabela 7. Valores do quadrado médio da análise de variância dos teores totais dos seguintes nutrientes: N, P, K, Na, Ca e Mg na parte aérea (PA) de *Ricinus communis* L. em função das doses de cascalho e torta de mamona (fontes de variação – FV).

FV	N	P	K	Na	Ca	Mg
Torta (T)	1207,21**	3,32**	156,93**	1,84**	116,99**	41,99**
Cascalho (C)	186,20**	0,66**	49,55**	45,65**	284,27**	22,09**
T*C	6,08 ^{ns}	0,23 ^{ns}	7,92**	1,07**	17,13**	3,19**
CV%	12,05	27,40	11,38	36,40	17,54	12,69

*, **: Fator de significância pelo teste F com probabilidade de 5% e 1% de ocorrência, respectivamente; ^{ns}: não significativo. Nitrogênio (N); Fósforo (P); Potássio (K), Sódio (Na); Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg).

Tabela 8. Valores do quadrado médio da análise de variância dos teores totais dos seguintes micronutrientes: Fe, Mn e Zn na parte aérea (PA) de *Ricinus communis* L. em função das doses de cascalho e torta de mamona (fontes de variação – FV).

FV	Fe	Mn	Zn
Torta (T)	0,008626**	0,02852**	0,000288**
Cascalho (C)	0,002998**	0,01698**	0,001438**
T*C	0,001007 ^{ns}	0,00195**	0,000058**
CV%	26,72	23,18	15,59

*, **: Fator de significância pelo teste F com probabilidade de 5% e 1% de ocorrência, respectivamente; ^{ns}: não significativo. Ferro (Fe); Manganês (Mn); Zinco (Zn).

Tabela 9. Valores de quadrado médio da ANOVA com os respectivos níveis de significância dos pigmentos fotossintéticos extraídos por DMSO, nitrogênio (NFI) e área da folha indicadora (AFI) em função das fontes de variação (torta e cascalho) e sua interação (T*C).

FV	C _a	C _b	C _{total}	C _{x+c}	NFI	AFI
Torta (T)	242530,66**	2513,68**	270058,64**	4924,06**	2008,50**	301971,06**
Cascalho (C)	8571,41**	833,27 ^{ns}	13135,44*	927,16**	179,41**	13367,16*
T*C	1689,32 ^{ns}	295,96 ^{ns}	1226,38 ^{ns}	204,35 ^{ns}	37,86*	13387,54**
CV%	13,53	19,35	13,44	12,60	17,53	27,96

*, **: Fator de significância pelo teste F com probabilidade de 5% e 1% de ocorrência, respectivamente; ^{ns}: não significativo. Referente aos teores de pigmentos, nitrogênio e área da folha indicadora.

Tabela 10. Valores de quadrado médio da análise de variância das análises de fertilidade do solo após o cultivo da mamona em função das fontes de variação e sua interação (T*C).

FV	Na	K	Ca	Mg	P	Al	H+Al	pH	CE
Torta (T)	0,35**	0,078**	0,30**	0,24**	3994,13**	0,053**	0,41 ^{ns}	0,189**	11,80**
Cascalho (C)	4,59**	0,024**	11,43**	0,20**	1237,80**	0,14**	6,94**	7,004**	44,88**
T*C	0,11**	0,0075**	0,03 ^{ns}	0,05 ^{ns}	64,56**	0,020**	0,27 ^{ns}	0,090**	2,72**
CV%	29,84	65,26	9,65	37,88	14,11	73,42	36,88	2,44	27,24

*, **: Fator de significância pelo teste F com probabilidade de 5% e 1% de ocorrência, respectivamente; ^{ns}: não significativo. Referente aos teores trocáveis presente no solo.

Tabela 11. Valores de quadrado médio da análise de variância dos parâmetros calculados à partir dos dados absolutos da análise de solo em função das fontes de variação (torta e cascalho) e sua interação.

FV	SB	CTC	V%	m%	PST	RAS
Torta (T)	2,24**	3,52**	114,61 ^{ns}	128,66**	102,66**	0,23**
Cascalho (C)	32,89**	14,09**	6935,38**	583,24**	1200,06**	2,38**
T*C	1,53 ^{ns}	0,73 ^{ns}	67,04 ^{ns}	46,30**	23,54**	0,062**
CV %	13,12	17,52	12,55	65,84	28,74	26,60

*, **: Fator de significância pelo teste F com probabilidade de 5% e 1% de ocorrência, respectivamente; ^{ns}: não significativo. Referente aos índices calculados à partir da análise dos teores trocáveis presente no solo.