

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
POLO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL**

JÚLIO CÉSAR RIBEIRO

**EFEITO DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO E DA TORTA DE
GIRASSOL NO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO
GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)**

VOLTA REDONDA - RJ

2015

JÚLIO CÉSAR RIBEIRO

**EFEITO DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO E DA TORTA DE
GIRASSOL NO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO
GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Zonta - UFRRJ.

Co-orientador: Prof. Dr. Fabiana S. dos Santos - UFF.

Co-orientador: Prof. Dr. Adriano Portz - UFF.

VOLTA REDONDA - RJ

2015

R484 Ribeiro, Júlio César.

Efeito do cascalho de perfuração e da torta de girassol no desenvolvimento da cultura do girassol (*Helianthus annuus L.*) / Júlio César Ribeiro; orientador: Everaldo Zonta; co-orientadores: Fabiana S. dos Santos, Adriano Portz – Volta Redonda, 2015.

91 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental)
– Universidade Federal Fluminense, 2015.

1. Poluição do solo. 2. Resíduos sólidos. 3. Girassol. I. Zonta, Everaldo; II. Santos, Fabiana S. dos. III. Portz, Adriano. IV. Título.

CDD 631.4

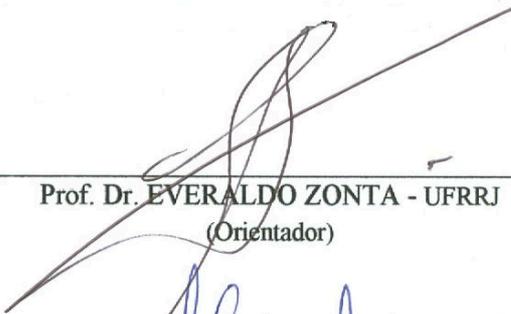
JÚLIO CÉSAR RIBEIRO

**EFEITO DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO E DA TORTA DE
GIRASSOL NO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO
GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)**

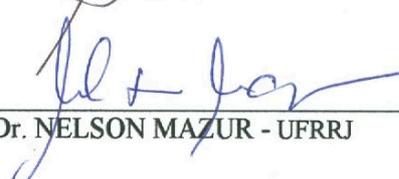
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Tecnologia Ambiental.

Data de aprovação: 19/02/2015

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. EVERALDO ZONTA - UFRRJ
(Orientador)



Prof. Dr. NELSON MAZUR - UFRRJ



Dr. JULIANO BAHIENSE STAFANATO - UFRRJ

VOLTA REDONDA - RJ

2015

Aos meus pais, César e Ivone, que nunca mediram
esforços para que eu pudesse estudar.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por guiarem meus passos, dando-me força para enfrentar os desafios que a vida nos impõe.

Aos meus pais, César e Ivone que me ensinaram a lutar pelos meus objetivos, colocando Deus sempre à frente.

Ao meu avô Jonas, pelas palavras de motivação e ensinamento durante esses anos.

Ao meu orientador Everaldo Zonta pela confiança depositada no trabalho, e pela prontidão em dar atenção e apoio.

Ao professor Adriano Portz, que sempre disposto a ajudar contribuiu muito para a realização deste trabalho.

Ao meu amigo Júlio Raposo, que sempre me incentivou a continuar os estudos.

Ao meu amigo Luiz Augusto “Augustinho”, pelas risadas e conselhos que sempre foram muito importantes.

As estagiárias Jéssica Sales e Carla Cecília, que sempre dedicadas muito contribuíram nas atividades laboratoriais.

Ao meu amigo Natanael Júnior, que muitas vezes em momentos de angústia fez-se compreensivo.

A CAPES pela concessão da bolsa.

A todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho, o meu muito obrigado!

RESUMO

As atividades antrópicas têm explorado cada vez mais os recursos naturais, principalmente as fontes não renováveis, o que tem causado grandes mudanças ambientais. Uma dessas fontes é o petróleo, que compõe grande parte da matéria prima da matriz energética mundial. Em seu processo de exploração gera uma grande quantidade de cascalho contaminado por sódio e até mesmo hidrocarbonetos, o qual possui alto potencial de contaminação ambiental. Como forma de minimizar alguns impactos ambientais, tem-se optado pelo uso de produtos provenientes de fontes renováveis, como é o caso do biodiesel. No entanto o processo de produção do biodiesel gera um subproduto denominado de torta, que também pode causar contaminação ao meio ambiente se disposto inadequadamente. Contudo, há necessidade de propor alternativas que minimizem os impactos ambientais desses resíduos e colaborem ao mesmo tempo com o desenvolvimento econômico. Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de torta de girassol proveniente da fabricação de biodiesel e cascalho da perfuração de poços de petróleo no cultivo de girassol (*Helianthus annuus* L.), permitindo recomendar doses de aplicação segura. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal Fluminense (UFF), na cidade de Volta Redonda - RJ, por um período de 80 dias. O solo utilizado no experimento foi um Planossolo Háptico coletado e preparado no Instituto de Agronomia (IA) do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Foram utilizadas seis doses de torta de girassol (0, 2, 4, 8, 16 e 32 Mg ha⁻¹) doadas pela empresa Caramuru (Itumbiara-MG) e seis doses de cascalho de perfuração de poços de petróleo (0, 5, 15, 30, 45 e 60 Mg ha⁻¹) provindas de uma mistura proporcional de todas as fases de perfuração de dois poços da Petrobrás, sendo um poço da Unidade Operacional da Bahia (UOBA; do poço 7-MGP-98D-BA) e outro de um poço da Unidade Operacional de Sergipe e Alagoas (UOSEAL; poço 7-SMC-50D-AL). O delineamento experimental utilizado foi em fatorial inteiramente casualizado com três repetições por tratamento (6 x 6 x 3). Foram realizadas avaliações de altura, diâmetro do caule, teor de clorofila, massa seca da parte aérea e raízes das plantas, além dos teores de N, P, K, Ca, Mg e Na da parte aérea e raízes ao final do experimento. No solo após o cultivo de girassol foram analisados os teores disponíveis e totais de N, P, K, Ca, Mg e Na, além dos valores de pH, H⁺Al, S, CTC, V, m, Cl, CE, PST e RAS. As características químicas do solo após o cultivo de girassol não o classificou como salino pela adição de Na presente no cascalho. Entre os tratamentos testados, a dose 16 Mg ha⁻¹ de torta de girassol associada à dose 45 Mg ha⁻¹ de cascalho de perfuração possibilitaram melhor desenvolvimento das plantas e promoveram uma mudança considerável da classe de fertilidade do solo.

Palavras-chave: Poluição do solo. Resíduos sólidos. Salinidade.

ABSTRACT

The human activities have explored the natural resources more and more, mainly the nonrenewable sources, which has caused enormous environmental changes. One of these sources is the petroleum, that compose much of the raw material from world energy matrix. During its business process, it generates a large amount of gravel, contaminated by sodium and even by hydrocarbon, which has high potential of environmental contamination. In order to minimize some environmental impacts, it has been opted for the use of renewable sources products, such as biodiesel. However, the biodiesel manufacturing process generates a byproduct known as pie, which may also cause environmental contamination if improperly disposed. However there is need to propose alternatives to minimize environmental impacts of these residues and that can collaborate simultaneously with the economical development. In this context, the purpose of this study was to evaluate the effect of different sunflower cake doses from the biodiesel manufacturing and gravel from oil well drilling in sunflower crop (*Helianthus annuus* L.), in which is possible to recommend safe application doses. The experiment was conducted in greenhouses at the Fluminense Federal University (UFF), in Volta Redonda - RJ, for a period of 80 days. The soil used for this experiment was an haplic albaqualf, collected and prepared at the Agronomy Institute (IA) of the Land Department of the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ). We used 06 sunflower pie doses (0, 2, 4, 8, 16, 32 Mg ha⁻¹) donated by Caramuru (Itumbiara - MG) and 06 gravel doses of oil well drilling (0, 5, 15, 30, 45 and 60 Mg ha⁻¹) from a proportional mix of all phases of 02 drilling wells of Petrobras, one from Bahia (UOBA: 7-MGP- well 98D-BA) and another from Sergipe and Alagoas (UOSEAL: well 7-SMC-50D-AL). The experimental design was a completely randomized factorial with three replicates per treatment (6 x 6 x 3). Evaluations were carried out in height, diameter and stem, chlorophyll content, dry matter from the aerialparts and roots of plants, besides the N, P, K, Ca, Mg, and Na of aerial part and roots at the end of the experiment. In soil, after the sunflower cultivation, the available levels and the total of N, P, K, Ca, Mg, and Na, were analysed, besides pH, H+Al, S, CTC, V, m, Cl, CE, PST and RAS values. The chemical characteristics of the soil after the sunflower cultivation not classified it as a salt one by the addition of Na presented in the gravel. Among the tested treatments, the dose 16 Mg ha⁻¹ sunflower pie associated with dose 45 Mg ha⁻¹ of drill cuttings allowed a better development of plants and promoted a considerable change of the soil fertility class.

Key-words: Pollution of soil. Solid residues. Salinity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química da torta de girassol utilizada no experimento.....	26
Tabela 2 - Análise química do cascalho de perfuração utilizado no experimento	27
Tabela 3 - Análise química do solo utilizado no experimento.	28
Tabela 4 - Análise física do solo utilizado no experimento.....	28
Tabela 5 - Valores do quadrado médio da análise de variância da H, D, MSR, MSPA de girassol (<i>Helianthus annus</i> L.) em função das doses de torta de girassol e cascalho (fontes de variação - FV/coeficiente de variação - CV).....	36
Tabela 6 - Valores do quadrado médio da análise de variância da clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> e clorofila total (<i>a+b</i>) das plantas de girassol (<i>Helianthus annus</i> L.) aos 57, 64 e 71 dias em função das doses de torta e cascalho (fontes de variação - FV/ coeficiente de variação - CV).	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Preparo dos resíduos utilizados no experimento - A - torta de girassol peletizada; B - torta de girassol triturada. C - cascalho de perfuração.....	26
Figura 2 - Etapas da coleta e preparo do solo - A - limpeza do local de coleta; B - secagem do solo; C - homogeneização do solo com os resíduos.....	27
Figura 3 - Preparo do experimento - A - distribuição dos vasos na casa de vegetação; B - irrigação dos vasos; C - plantio das sementes de girassol.....	29
Figura 4 - Condução do experimento - A - germinação das sementes; B - retirada da planta para transplante; C - planta depois de transplantada; D - plantas com necrose; E - solubilização do adubo; F - adubação líquida.....	30
Figura 5 - Temperaturas máxima e mínima dentro da casa de vegetação.....	30
Figura 6 - Coleta de dados biométricos e preparo das plantas - A - medição da altura; B - medição do diâmetro; C - medição da clorofila com ClorofiLOG [®] ; D - partes da planta ; E - secagem das plantas; F - trituração das plantas.....	32
Figura 7 - Coleta e preparo do solo após o cultivo de girassol - A - coleta do solo; B - secagem do solo; C - acondicionamento do solo.....	33
Figura 8 - Comparação entre vasos germinados e não germinados - A - solo com germinação de plantas de girassol (dose 16 Mg ha ⁻¹ de torta e 0 Mg ha ⁻¹ de cascalho); B - solo com germinação de plantas de girassol (dose 16 Mg ha ⁻¹ de torta e 60 Mg ha ⁻¹ de cascalho); C - solo sem germinação de plantas de girassol (dose 32 Mg ha ⁻¹ de torta e 0 Mg ha ⁻¹ de cascalho); D - solo sem germinação de plantas de girassol (dose 32 Mg ha ⁻¹ de torta e 60 Mg ha ⁻¹ de cascalho).....	35
Figura 9 - Altura das plantas de girassol (cm) em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	36
Figura 10 - Diâmetro do caule das plantas de girassol (mm) em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade..	37
Figura 11 - Massa seca da parte aérea das plantas de girassol (g) em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	38
Figura 12 - Massa seca das raízes (g) das plantas de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade..	40

Figura 13 - Teor de Na nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - sódio na parte aérea (g kg^{-1}); B - sódio nas raízes (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	42
Figura 14 - Teor de K nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - potássio na parte aérea (g kg^{-1}); B - potássio nas raízes (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	43
Figura 15 - Teor de P nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - fósforo na parte aérea (g kg^{-1}); B - fósforo nas raízes (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	44
Figura 16 - Teor de Ca nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - cálcio na parte aérea (g kg^{-1}); B - cálcio nas raízes (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	46
Figura 17 - Teor de Mg nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - magnésio na parte aérea (g kg^{-1}); B - magnésio nas raízes (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	47
Figura 18 - Teor de N nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - nitrogênio na parte aérea (g kg^{-1}); B - nitrogênio nas raízes (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	48
Figura 19 - Teor médio de nitrogênio nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.....	50
Figura 20 - Teor médio de fósforo nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.....	51
Figura 21 - Teor médio de potássio nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.....	52
Figura 22 - Teor médio de cálcio nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.....	52
Figura 23 - Teor médio de magnésio nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.....	53
Figura 24 - Teor médio de sódio nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.....	54
Figura 25 - Clorofila nas folhas das plantas de girassol durante o experimento (ICF - Índice de Clorofila Falker® - adimensional) em função das doses de torta: A - clorofila <i>a</i> ; B - clorofila <i>b</i> ; C - clorofila total (<i>a+b</i>). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	56

Figura 26 - Clorofila nas folhas das plantas de girassol durante o experimento (ICF - Índice de Clorofila Falker® - adimensional) em função das doses de cascalho: A - clorofila <i>a</i> ; B - clorofila <i>b</i> ; C - clorofila total (<i>a+b</i>). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	58
Figura 27 - Teor de MO no solo (g kg^{-1}) após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade de erro.....	59
Figura 28 - Teor de N no solo (g kg^{-1}) após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	61
Figura 29 - Valor de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ e teores trocáveis de Al e H+Al no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - alumínio trocável ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); B - acidez potencial ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); C - potencial hidrogeniônico. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	62
Figura 30 - Teor trocável e total de P no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - fósforo trocável (mg kg^{-1}); B - fósforo total (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	64
Figura 31 - Teor trocável e total de K no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - potássio trocável ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); B - potássio total (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	66
Figura 32 - Teor trocável e total de Na no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - sódio trocável ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); B - sódio total (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	67
Figura 33 - Teor trocável e total de Ca no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - cálcio trocável ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); B - cálcio total (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	68
Figura 34 - Teor trocável e total de Mg no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - magnésio trocável ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); B - magnésio total (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	69
Figura 35 - Valor de soma de bases trocáveis ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	70

Figura 36 - Valor da capacidade de troca de cátions ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	71
Figura 37 - Valor da saturação de bases (%) no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	72
Figura 38 - Valor da saturação por alumínio (%) no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	73
Figura 39 - Teor de cloreto no solo ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	74
Figura 40 - Valor da condutividade elétrica no solo (mS cm^{-1} a 25°C) em após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	75
Figura 41 - Valor da percentagem de sódio trocável (%) no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	76
Figura 42 - Valor da relação de adsorção de sódio do solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.....	77

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	OBJETIVOS.....	17
2.1.	Objetivo geral	17
2.2.	Objetivos específicos	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1.	Poluição do solo.....	18
3.2.	Definição e classificação de resíduos	18
3.3.	Problemas da geração de resíduos	19
3.4.	Potencial dos resíduos na agricultura.....	20
3.5.	Girassol: Características agronômicas, utilização e produção.....	22
3.6.	Torta de girassol oriunda da produção de biodiesel	23
3.7.	Resíduos da exploração de petróleo: Fluido e cascalho de perfuração.....	24
4.	MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1.	Obtenção e preparo das amostras de resíduos	26
4.2.	Coleta e preparo do solo	27
4.3.	Cultivo de girassol em casa de vegetação.....	28
4.4.	Condução do experimento	29
4.5.	Avaliações realizadas.....	31
4.5.1.	Coleta de dados morfológicos das plantas de girassol	31
4.5.2.	Análises de nutrientes das plantas de girassol.....	32
4.5.3.	Análises de nutrientes do solo.....	33
4.5.4.	Análise estatística dos dados	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1.	Efeitos dos resíduos sobre a morfologia das plantas de girassol	35
5.2.	Efeitos dos resíduos sobre o teor de nutrientes das plantas de girassol.....	41
5.3.	Teor médio de nutrientes nas diferentes partes das plantas de girassol.....	49
5.4.	Efeitos dos resíduos sobre os pigmentos fotossintéticos das plantas de girassol	54
5.5.	Efeitos dos resíduos no solo após o cultivo de girassol.....	59
6.	CONCLUSÕES	78
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
8.	APÊNDICES.....	87

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda de energia e de bens de consumo, associada à necessidade de preservação ambiental, vem mobilizando vários segmentos do mercado, principalmente os industriais. Estes setores buscam tecnologias que resultem no aumento da produtividade e na diminuição do uso de insumos, de forma a garantir a sustentabilidade econômica e ambiental. Os diversos setores industriais em seus processos produtivos sempre geram algum tipo de subproduto, denominado de resíduo (ALMEIDA & GIANNETTI, 2006).

Os resíduos gerados por esses processos são um dos grandes problemas da atualidade, devido à necessidade de um destino adequado para o seu uso. Sua disposição inadequada pode gerar possíveis contaminações ambientais, além de representarem grandes perdas de matérias-primas e energia, exigindo investimentos significativos em tratamentos.

Como meio promissor para utilização de vários resíduos agroindustriais, muitas vezes o solo recebe disposição inadequada dos mesmos, acarretando em problemas ambientais de difícil solução (MATOS et al., 2008; BARROS et al., 2011).

Na busca de medidas apropriadas para minimizar os efeitos indesejáveis dos resíduos, têm-se utilizado de produtos oriundos de fontes renováveis, como é o caso do biodiesel. O biodiesel é caracterizado como “derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustível de origem fóssil” (BRASIL, 2005).

Em grande parte, a produção de biodiesel, se dá a partir da utilização de sementes de plantas oleaginosas, como o girassol, cultura a qual possui promissor potencial de produção devido às características edafoclimáticas favoráveis de nosso país (MELLO et al., 2006). Esta cultura, no ano de 2014 ocupou uma área de 145,7 mil hectares, produzindo 233,1 mil toneladas de grãos (CONAB, 2014).

No processo de extração do óleo vegetal para a produção do biodiesel é gerado um subproduto denominado de torta, que pode conter restos de solventes e catalisadores utilizados no processo de extração do óleo, a qual se disposta inadequadamente ao meio ambiente pode causar contaminação.

Outro processo com grande potencial de contaminação ambiental advém da exploração de poços de petróleo, o qual compõe grande parte da matéria prima da matriz energética mundial.

O processo de exploração de poços de petróleo gera em grande escala um resíduo denominado de cascalho de perfuração, que merece destaque em razão da sua importância como potencial agente poluidor, em função do fluido utilizado (DIAS et al., 2004; BALL et al., 2012).

O cascalho de perfuração é composto por fragmentos das rochas produzidos pela ação da broca durante a passagem pelas formações (BALL et al., 2012). Estes fragmentos são carregados até a superfície pelo fluido de perfuração e são compostos de diversos tipos de minerais como calcários, argilas, ferro, alumínio e arenitos (SOUZA & MENDES, 2013), não devendo ser dispostos inadequadamente ao ambiente.

Uma possível alternativa para a disposição final de tais resíduos gerados é o uso agrícola, o que proporciona uma ciclagem de nutrientes, diminuindo a necessidade do uso de fertilizantes além de evitar contaminação por disposição inadequada.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito de diferentes doses de torta de girassol proveniente da fabricação de biodiesel e de cascalho da perfuração de poços de petróleo no cultivo de girassol (*Helianthus annuus* L.), permitindo recomendar doses de aplicação segura.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar quimicamente a torta de girassol e o cascalho de perfuração de poços de petróleo.
- Avaliar o desenvolvimento do girassol sob diferentes doses de aplicação de torta de girassol e de cascalho de perfuração de poços de petróleo.
- Quantificar os teores médios de nutrientes nas diferentes partes das plantas de girassol após o cultivo.
- Avaliar a fertilidade do solo após o cultivo de girassol.
- Estabelecer o potencial de uso da torta de girassol e do cascalho de perfuração de poços de petróleo na cultura do girassol.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Poluição do solo

A geração de resíduos, principalmente pelos setores industriais, tem levado a um grande aumento de poluição e contaminação dos ecossistemas (ALMEIDA & GIANNETTI, 2006).

O termo poluição é definido como toda alteração das propriedades físicas e/ou químicas e/ou biológicas que possa constituir prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações e, ainda, possa comprometer a biota e a utilização dos recursos para fins comerciais, industriais e recreativos (BRASIL, 1981).

A contaminação é definida pela presença de substâncias químicas, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações que restrinjam a utilização do recurso ambiental, definida com base em avaliação de risco à saúde humana e bens a proteger (BRASIL, 2009). Assim, a contaminação do solo caracteriza a presença considerável de algum elemento ou substância que pode afetar o ecossistema, comprometendo sua funcionalidade e sustentabilidade (BRAGA et al., 2002).

A introdução acidental ou intencional de contaminantes no solo acima de certos níveis pode resultar no desequilíbrio nutricional do solo e perda de suas funções, causando sérios problemas ambientais (RODRIGUES & DUARTE, 2003).

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), para o controle desta poluição, certos critérios e valores indicadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas devem ser respeitados num determinado ambiente (BRASIL, 2009).

Desta forma, a detecção de metais pesados e substâncias tóxicas orgânicas e inorgânicas no solo se torna essencial para evitar sua poluição e conseqüente degradação ambiental (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000), sendo imprescindível para sua sustentabilidade (RODRIGUES & DUARTE, 2003).

3.2. Definição e classificação de resíduos

Os resíduos sólidos são definidos de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - NBR 10004 como “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultem de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de

serviços e de varrição. Considera ainda, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento em redes públicas de esgotos ou corpos de água” (BRASIL, 2004).

De acordo com a mesma NBR, os resíduos são classificados como:

a) Resíduos Classe I - Perigosos: Aqueles que apresentam periculosidade, como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, ou constem nos anexos A ou B da norma.

b) Resíduos Classe II - Não Perigosos:

Resíduos Classe II A - Não Inertes: Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I, podendo ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos Classe II B - Inertes: Qualquer resíduo que, quando submetido ao teste de solubilidade, conforme ABNT - NBR 10006:2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões da potabilidade da água, excetuando se aos aspectos de cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da norma.

3.3. Problemas da geração de resíduos

O resíduo depois de gerado necessita de um destino adequado, pois não pode ser acumulado de qualquer modo no local em que foi produzido, devendo passar por tratamento e ser enquadrado nos padrões estabelecidos na legislação ambiental de modo que não venham se tornar agentes poluidores (AQUARONE, 1990).

Mariano (2001) destaca que a disposição inadequada de resíduos sólidos industriais pode acarretar diversos problemas ao meio ambiente, que, de um modo geral, incluem aspecto estético desagradável e desfiguração das paisagens; poluição do solo; poluição da água, pelo carreamento superficial ou pela infiltração dos detritos para os corpos hídricos, e; poluição do ar, pela liberação de gases tóxicos.

Os resíduos gerados podem deixar de ser uma preocupação quando são convenientemente tratados para posterior reuso ou adequadamente reciclados (LUCENA, 2007; SOUZA, 2013). Porém a destinação adequada a ser dada aos resíduos sólidos é de difícil escolha devido a grande diversidade e concentrações de poluentes. Além disso, fatores

econômicos também exercem grande influência na adoção das estratégias de destinação dos resíduos industriais (MARIANO, 2001).

O solo apresenta-se como um meio promissor para a reciclagem de resíduos agroindustriais com a finalidade de melhorar seus atributos físicos e químicos, aumentando o fornecimento de nutrientes às plantas (MATOS et al., 2008; BARROS et al., 2011). Porém muitas vezes ele recebe a disposição inadequada de resíduos, acarretando vários problemas ambientais de difícil solução (GABOS et al., 2011).

Desta forma, os resíduos antes de serem reutilizados ou descartados devem ser criteriosamente analisados e avaliados sob aspectos de viabilidade técnica, econômica e ambiental (SOUZA, 2013).

3.4. Potencial dos resíduos na agricultura

A necessidade brasileira de importação de fertilizantes agrícolas vem crescendo devido ao aumento da produção de grãos. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), o consumo de fertilizantes no Brasil no ano de 2014 atingiu 32,21 milhões de toneladas, das quais 24,03 milhões de toneladas foi proveniente de importações e apenas 8,18 milhões de toneladas foi produzida internamente. Em relação a 2013, houve redução de 5,2% na produção interna e aumento de 11,2% nas importações (ANDA, 2014).

Aliado a este fato, a grande quantidade e variedade de resíduos agroindustriais atualmente gerados tem impulsionado a utilização destes em solos agrícolas, de forma a evitar diversos problemas ambientais e conseqüentemente reduzir a necessidade de importação de fertilizantes (PIRES & MATTIAZZO, 2008).

A reutilização de resíduos de qualquer natureza que possam apresentar riscos de contaminação ambiental ou comprometimento a saúde dos indivíduos deve seguir normas pré-estabelecidas (RODRIGUES & DUARTE, 2003).

De acordo com Pires & Mattiazzo (2008), a avaliação da viabilidade de se reciclar um resíduo na agricultura deve ser cuidadosa e detalhada, evitando-se que uma atividade desejável sob o ponto de vista ambiental torne-se prejudicial ao meio ambiente. Para isso, faz-se necessário o planejamento da aplicação de resíduos na agricultura, devendo observar algumas características como teor de nutriente presente no resíduo; eficiência do resíduo no fornecimento de nutrientes; características do material orgânico contido no resíduo; e, presença de substâncias orgânicas ou inorgânicas potencialmente tóxicas.

Segundo Assis et al. (2008), vários tipos de resíduos agrícolas estão sendo utilizados como substratos para cultivo de algumas espécies de orquídeas, como por exemplo, bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz carbonizada, fibra de coco, casca de pinus e fibra de piaçava. Santos et al. (2013), citam que o uso de resíduo líquido de laticínio no solo sob pastagens pode fornecer nutrientes a cultura e diminuir a poluição gerada por laticínios via ciclagem de nutrientes entre o campo e o meio urbano. Júnior et al. (2006) utilizando composto orgânico produzido com serragem de madeira e esterco bovino no cultivo de bananeira, observaram que a adubação orgânica promoveu incrementos nas propriedades químicas dos solo.

Comparando o girassol cultivado sob aplicação de lodo de esgoto e adubação mineral, Ribeirinho et al. (2012) verificaram que o lodo de esgoto com suplementação potássica mostrou-se eficiente na substituição total ou parcial da adubação mineral, sem prejudicar a produtividade da cultura do girassol. Lobo et al. (2013), observaram que o uso de lodo de esgoto associado a doses de nitrogênio em cultivo de girassol proporcionaram aumento no rendimento de grãos, de óleo e matéria seca das plantas.

Avaliando o desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes tipos de resíduos, Silva et al. (2011a) observaram maior índice de velocidade de emergência e massa seca das plantas quando cultivadas em substrato composto por esterco bovino associado a biossólido. Lima et al. (2008) avaliando casca e torta de mamona proveniente do processo de beneficiamento e industrialização, verificaram que a torta de mamona apresentou boas características para uso como adubo orgânico. Silva et al. (2012), verificaram que o uso de torta de mamona proveniente da produção de biodiesel pode ser utilizada como fonte de nutrientes em dose equivalente a $80 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ no cultivo de mamona.

Utilizando torta de filtro no cultivo de cana-de-açúcar, Júnior et al. (2011) constataram que o resíduo promoveu melhoria na fertilidade do solo em virtude de aumentar os teores de macro e micronutrientes no solo e reduzir os teores de alumínio. Fravet et al. (2010) também avaliando torta de filtro no desenvolvimento da cana-de-açúcar, verificaram maior produção de colmos quando utilizado a dose $70 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Santos et al. (2005) estudando o uso de torta de filtro como substrato para produção de mudas de hortaliças, constataram que o uso do resíduo apresentou bons resultados na germinação das mudas, sendo a torta de filtro uma alternativa viável como substrato. Gabos et al. (2011), verificaram que o uso de torta de filtro no cultivo de girassol promoveu maior produção das plantas.

Assim o uso de diversos tipos de resíduos tem sido empregado na produção agrícola de modo a evitar contaminação ambiental e consequentemente reduzir a utilização de fertilizantes convencionais.

3.5. Girassol: Características agronômicas, utilização e produção

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é apontado como uma das mais promissoras fontes de óleo vegetal para a produção de biodiesel por apresentar boa produtividade e alto teor de óleo nos grãos (PARENTE, 2003; LEITE et al. 2005). O girassol é uma planta dicotiledônea, de ciclo vegetativo anual entre 90 e 130 dias de acordo com a cultivar, que apresenta fecundação cruzada, tipicamente realizada por insetos, principalmente abelhas (UNGARO, 2001). É uma planta que apresenta características agronômicas favoráveis ao seu cultivo, com grande adaptabilidade a diversas condições edafoclimáticas se comparado com a maioria das plantas oleaginosas cultivadas no Brasil (MELLO et al., 2006).

A cultura de girassol possui baixa incidência de pragas e doenças, além de ser mais tolerante à seca que a maioria das espécies cultivadas, desenvolvendo-se bem em solos férteis, profundos e de boa drenagem (UNGARO, 2001).

O girassol além de poder ser utilizado como matéria-prima para produção de biodiesel (PARENTE, 2003), pode ser utilizado na alimentação humana, alimentação animal, uso ornamental (DALL'AGNOL et al., 2005) e até mesmo ser associado a apicultura, com a possibilidade de produção de 20 a 30 kg de mel por hectare (UNGARO, 2001; EMBRAPA, 2004).

Para Leite et al. (2007), o girassol pode ser empregado para fins de adubação verde e cobertura morta, proporcionando melhoria nas características físico-químicas ao longo do perfil do solo através da mineralização dos restos culturais, disponibilizando nutrientes para as próximas culturas.

Segundo Gabos et al. (2011), o girassol ainda possui grande potencial para ser cultivado em áreas contaminadas com boro, cobre e zinco, sendo considerado uma planta fitoextratora de boro.

A produção brasileira de girassol na safra 2013/2014 atingiu 233 mil toneladas de grãos em 145,7 mil hectares plantados, com produtividade média de 1,6 Mg há⁻¹, havendo um aumento médio de produtividade de 1,6 % comparado com a safra anterior (CONAB, 2014).

O Brasil aumentou 107,8 % à área plantada se comparado aos 70,1 mil hectares plantados na safra de 2012/2013 (CONAB, 2014). Este aumento se deve a crescente demanda dos setores produtivos e ao estímulo dado aos agricultores pelo Governo Federal, por meio do Programa Nacional de Biocombustíveis, visto que a partir de 2005, a adição de biodiesel ao diesel foi obrigatória, necessitando-se assim aumentar a produção de oleaginosas (ANP, 2013).

3.6. Torta de girassol oriunda da produção de biodiesel

A produção de biodiesel envolve o processo de extração de óleo das sementes de plantas oleaginosas, sendo o girassol apontado como uma das potenciais oleaginosas para a produção deste combustível de origem renovável (PARENTE, 2003). As sementes de girassol são compostas por pericarpo (casca), mesocarpo e endocarpo (amêndoa) de tamanho, cor e forma variável conforme as características de cada cultivar (MANDARINO, 1992).

Existem diversas cultivares de girassol, entre elas as que apresentam maior teor de óleo (oleosas) e as que apresentam menor teor de óleo (não oleosas). As cultivares não oleosas, geralmente apresentam sementes maiores, casca fibrosa facilmente removível com teor de óleo entre 25 e 30 %, não sendo indicadas para a extração de óleo. As cultivares oleosas, apresentam sementes menores com a casca bem aderida, com teor de óleo entre 40 e 42 %, sendo indicadas para a produção de óleo (LEITE et al., 2005).

O girassol cultivado em rotações de cultura pode produzir até 800 litros de óleo por hectare de acordo com a região (LIMA, 2004).

Segundo Parente (2003), o óleo de girassol é mais viável para a produção de biodiesel se comparado com outras oleaginosas, por apresentar alto teor de óleo e atender as especificações exigidas pela legislação.

Através do processo de extração de óleo das sementes de girassol é gerado um subproduto denominado de torta, rico em proteína bruta, cálcio, fósforo e fibras. A torta de girassol possui teores entre 45 e 50 % de proteína bruta e teor de óleo superior a do farelo, subproduto também gerado no processo (EMBRAPA, 1996; PORTAS, 2004).

A torta de girassol é um alimento de valor nutricional considerado intermediário entre o farelo e o grão de girassol, o que a torna muito utilizada na produção de rações para alimentação animal (OLIVEIRA et al., 2012).

De acordo com o processo de extração do óleo, a torta pode apresentar maior ou menor teor de óleo. O procedimento de extração de óleo por prensagem associado à adição de solvente reduz o teor de óleo presente na torta (BALBINOT et al., 2013).

Em média são extraídos de cada tonelada de sementes cerca de 40% de óleo, 25% de casca e 35% de torta (EMBRAPA, 1996).

A produção mundial de torta de girassol estimada pelo United States Department of Agriculture - USDA na safra 2014/2015 será de aproximadamente 16 milhões de toneladas, o que corresponde à geração de 1.296.000 toneladas de nitrogênio, 336.000 toneladas de

fósforo, 208.000 toneladas de potássio, 96.000 toneladas de cálcio e 80.000 toneladas de magnésio (CONAB, 2014).

Com o grande montante de produção de torta de girassol, as indústrias agroenergéticas devem investir na utilização das tortas em meios agrícolas, a exemplo da torta de filtro, que é toda voltada para o campo como adubo, diminuindo o custo da produção das culturas (FRAVET et al., 2010).

3.7. Resíduos da exploração de petróleo: Fluido e cascalho de perfuração

O setor petrolífero possui grande potencial de contaminação ambiental devido à produção de diversos resíduos sólidos, líquidos e gasosos. No processo de exploração de poços de petróleo, são utilizados fluidos de perfuração que tem como função manter a pressão das formações rochosas estabilizando as paredes do poço; lubrificar e esfriar a broca de perfuração e transportar os cascalhos até a superfície. Os fluidos de perfuração são misturas de diferentes componentes, podendo destacar o sódio e, ainda em alguns casos a presença de hidrocarbonetos e metais pesados (THOMAS, 2001; BALL et al., 2012).

Outro importante resíduo produzido é o cascalho de perfuração, proveniente da rocha triturada pela broca de perfuração, que chega à superfície do poço juntamente com o fluido de perfuração utilizado no processo (LUCENA et al., 2007). Na superfície, por meio de vários equipamentos, o cascalho e os sedimentos finos são separados do fluido, o qual, uma vez limpo pode retornar ao poço (LINS & LUZ, 2003).

O cascalho extraído pode conter traços do fluido utilizado no processo de separação, que dependendo de sua natureza confere possível contaminação, devendo esse resíduo sofrer algum tipo de tratamento antes da utilização ou descarte (SCHAFFEL, 2002; DIAS et al., 2004). Atualmente os sistemas de perfuração dispõem de técnicas de separação do cascalho do fluido com boa recuperação, deixando o cascalho com menos de 8% de fluido (PIRES et al., 2008).

De acordo com Borges (2006), os cascalhos impregnados com fluidos de perfuração sintéticos apresentam geração de CO₂, indicando grande potencial de biodegradabilidade.

Souza & Lima (2002), mencionam que os cascalhos podem apresentar contaminantes, tais como metais pesados; alta salinidade, uma vez que os fluidos, em sua maioria têm sais em sua composição, cujo objetivo é o de minimizar o inchamento das formações argilosas perfuradas, promovendo a estabilidade do poço; óleos e graxas; elementos que causam

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); elementos que causam Demanda Química de Oxigênio (DQO); e, elementos que causam alcalinidade.

Seguindo os critérios de classificação de resíduos da NBR 10004:2004, os cascalhos impregnados com fluidos de perfuração sintéticos são classificados como resíduos não perigosos de classe II-A (BORGES, 2006).

Segundo EPA (2000), o volume de cascalho gerado por um poço varia de acordo com sua profundidade, diâmetro, características geológicas das formações perfuradas e tipo de fluido utilizado, produzindo entre 0,12 e 1,2 m³ de cascalho a cada metro vertical perfurado.

A grande quantidade de resíduos gerados, muitas vezes é descartada na própria área de exploração, em sítios de tratamentos e até mesmo aterros levando a contaminação do solo e corpos d'água (MARÍN et al., 2006). Com isso, nos últimos anos, o setor petrolífero tem investido em pesquisas relacionadas ao tratamento de seus resíduos de modo a identificar estratégias sustentáveis para a destinação principalmente do cascalho de perfuração (MARIANO, 2001).

A busca por novas tecnologias para disposição e uso dos resíduos de perfuração de poços de petróleo tem levado em consideração o tempo, espaço necessário e custo dos tratamentos. Algumas estratégias para minimizar os problemas com os resíduos de exploração de petróleo têm sido utilizadas, dentre elas estão à disposição em aterros sanitários, estabilização química e solidificação, re-injeção no próprio poço além de tratamentos térmicos, processos esses onerosos (BALL et al., 2012).

Trabalhos têm demonstrado o efeito da adição de resíduos de perfuração em solos e plantas com a finalidade de avaliar a viabilidade agrônômica quanto ao uso de resíduos no crescimento de plantas, através do conhecimento dos efeitos positivos no sistema solo-planta (PRADO & NATALE, 2005).

Algumas técnicas alternativas de uso do cascalho de perfuração têm sido utilizadas, como biorremediação, compostagem, vermicultura e processos por meio de biorreatores, processos esses que promovem uma biodegradação natural do resíduo, sendo este último uma técnica onde se tem um rigoroso controle do processo de degradação microbiológica (BALL et al., 2012). Assim, quando os possíveis principais contaminantes dos resíduos são suprimidos, seu uso no solo pode ser uma alternativa para a melhoria das propriedades físico-químicas do solo, com conseqüente acréscimo na fertilidade do solo (ZONTA et al., 2005).

De tal modo, o uso agrícola tem sido indicado como uma possível alternativa para disposição final dos resíduos, representando benefício social, devido ao descarte menos impactante no ambiente, além do benefício econômico (BALL et al., 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Obtenção e preparo das amostras de resíduos

A torta de girassol utilizada no experimento foi doada pela empresa Caramuru (Itumbiara-MG). A torta de girassol que era peletizada (Figura 1 A) foi triturada (Figura 1 B) em moinho tipo *Willey* antes da aplicação.

O cascalho de perfuração utilizado no experimento (Figura 1 C) provém de uma mistura proporcional de todas as fases de perfuração de dois poços da Petrobrás, sendo um poço da Unidade Operacional da Bahia (UOBA; do poço 7-MGP-98D-BA) e outro de um poço da Unidade Operacional de Sergipe e Alagoas (UOSEAL; poço 7-SMC-50D-AL).



Figura 1 - Preparo dos resíduos utilizados no experimento - A - torta de girassol peletizada; B - torta de girassol triturada. C - cascalho de perfuração.

As características químicas da torta de girassol e do cascalho de perfuração de poços de petróleo utilizados no experimento estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Análise química da torta de girassol utilizada no experimento

pH _{água}	N	P	K	Ca	Mg	Na
1: 2,5	----- g kg ⁻¹ -----					
4,8	81,31	21,3	13,9	6,5	5,4	0,0

Potencial hidrogeniônico (pH), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na).

Tabela 2 - Análise química do cascalho de perfuração utilizado no experimento

pH _{água}	N	P	K	Ca	Mg	Na
1: 2,5	----- g kg ⁻¹ -----					
6,8	1,77	0,56	3,3	31,8	15,2	38,5

Potencial hidrogeniônico (pH), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na).

4.2. Coleta e preparo do solo

O solo utilizado para a montagem do experimento foi um Planossolo Háplico coletado e preparado no Instituto de Agronomia (IA) do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). O local de coleta do solo foi limpo, retirando-se todas as plantas existentes (Figura 2 A), sendo o solo coletado a uma profundidade de 0-30 cm e levado para local coberto para secagem (Figura 2 B). Após seco, o solo foi peneirado em peneira de malha de 4 mm para retirada de raízes e demais impurezas. As características químicas e físicas do solo foram analisadas de acordo com a metodologia Embrapa (1998), as quais são apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Depois de peneirado o solo foi colocado em betoneira, juntamente com os resíduos (torta e cascalho) correspondentes a cada tratamento para serem homogeneizados por um tempo de 3 minutos (Figura 2 C). Após homogeneizado o material foi colocado em sacos de ráfia para transporte até a casa de vegetação.



Figura 2 - Etapas da coleta e preparo do solo - **A** - limpeza do local de coleta; **B** - secagem do solo; **C** - homogeneização do solo com os resíduos.

Tabela 3 - Análise química do solo utilizado no experimento.

pH _{água}	Na	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	T	V	P	MO
1: 2,5	----- Cmol _c kg ⁻¹ -----							%	mg kg ⁻¹	%	
5,4	0,057	0,09	1,2	0,6	0,04	2,8	1,95	4,7	41	62,0	0,75

Potencial hidrogeniônico (pH), sódio trocável (Na), potássio trocável (K), cálcio trocável (Ca), magnésio trocável (Mg), alumínio trocável (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V), fósforo trocável (P), matéria orgânica (MO).

Tabela 4 - Análise física do solo utilizado no experimento

Areia	Silte	Argila
----- g kg ⁻¹ -----		
890,0	60,0	50,0

4.3. Cultivo de girassol em casa de vegetação

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Campus Aterrado da Universidade Federal Fluminense (UFF), na cidade de Volta Redonda - RJ, localizada entre as coordenadas 22° 31' 23" de latitude S e 44° 06' 15" de longitude W, a uma altitude de 390 metros.

Foram utilizadas seis doses de torta de girassol (0 Mg ha⁻¹, 2 Mg ha⁻¹, 4 Mg ha⁻¹, 8 Mg ha⁻¹, 16 Mg ha⁻¹ e 32 Mg ha⁻¹) e seis doses de cascalho de perfuração de poços de petróleo (0 Mg ha⁻¹, 5 Mg ha⁻¹, 15 Mg ha⁻¹, 30 Mg ha⁻¹, 45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹), em um delineamento fatorial inteiramente casualizado com três repetições por tratamento (6 x 6 x 3), totalizando 108 unidades experimentais (vasos).

O cultivo de girassol foi realizado durante os meses de setembro a dezembro de 2013, com período de cultivo de 80 dias.

As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos de 8 litros fechados no fundo, para que não houvesse perda de nutrientes. Após o solo homogeneizado com os resíduos ser colocado nos vasos (Figura 3 A), adicionou-se água suficiente para atingir 70% da capacidade de campo para um melhor acondicionamento do material (Figura 3 B). No dia seguinte foram distribuídas 5 sementes de girassol da variedade Neon por vaso, a 2,0 cm de profundidade (Figura 3 C).

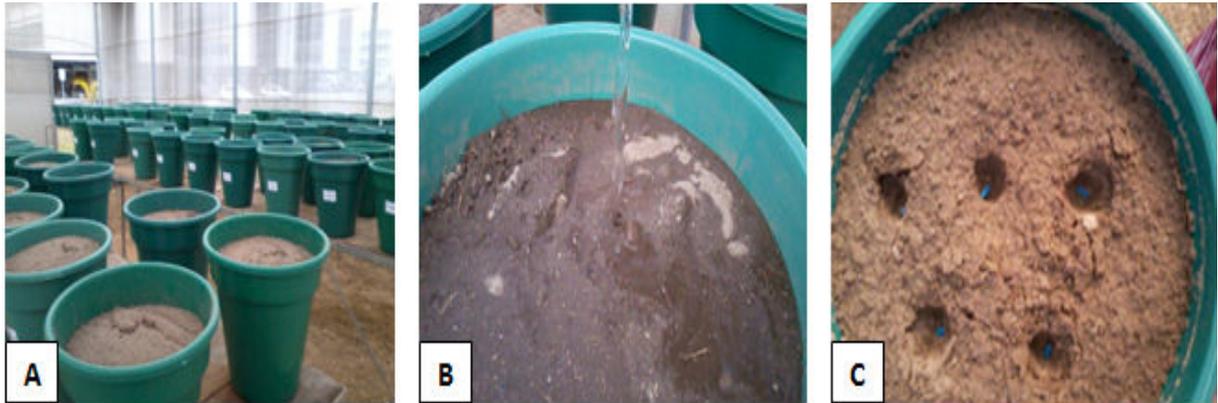


Figura 3 - Preparo do experimento - A - distribuição dos vasos na casa de vegetação; B - irrigação dos vasos; C - plantio das sementes de girassol.

4.4. Condução do experimento

A emergência das plântulas ocorreu, em média, após quatro dias da sementeira (Figura 4 A). Depois de uma semana foi realizado um transplante de plantas dos vasos com maior germinação (Figura 4 B) para vasos de mesmo tratamento que não ocorreram germinação (Figura 4 C). Decorridos vinte e cinco dias após a sementeira, em tratamentos em que ocorreu germinação superior a duas plantas, foram realizados desbastes, deixando-se apenas duas plantas mais vigorosas por vaso. A irrigação das plantas foi feita diariamente ou sempre que necessário com água potável. A quantidade de água a ser aplicada foi determinada pelo método de pesagem dos vasos. A cada 15 dias foram realizadas aleatorizações das unidades experimentais.

No decorrer do experimento surgiram manchas amareladas, tornando-se necróticas na ponta do limbo foliar das plantas (Figura 4 D), que foi controlado aos 43 dias após a sementeira com uma adubação potássica, de acordo com a análise química do solo inicial, seguindo a recomendação do manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro (FREIRE et al., 2013). A adubação realizada foi equivalente a 80 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio em solução (Figura 4 E e F). O teor de K_2O do adubo utilizado era de 60%, o que correspondeu a $0,53 \text{ g vaso}^{-1}$ de cloreto de potássio.

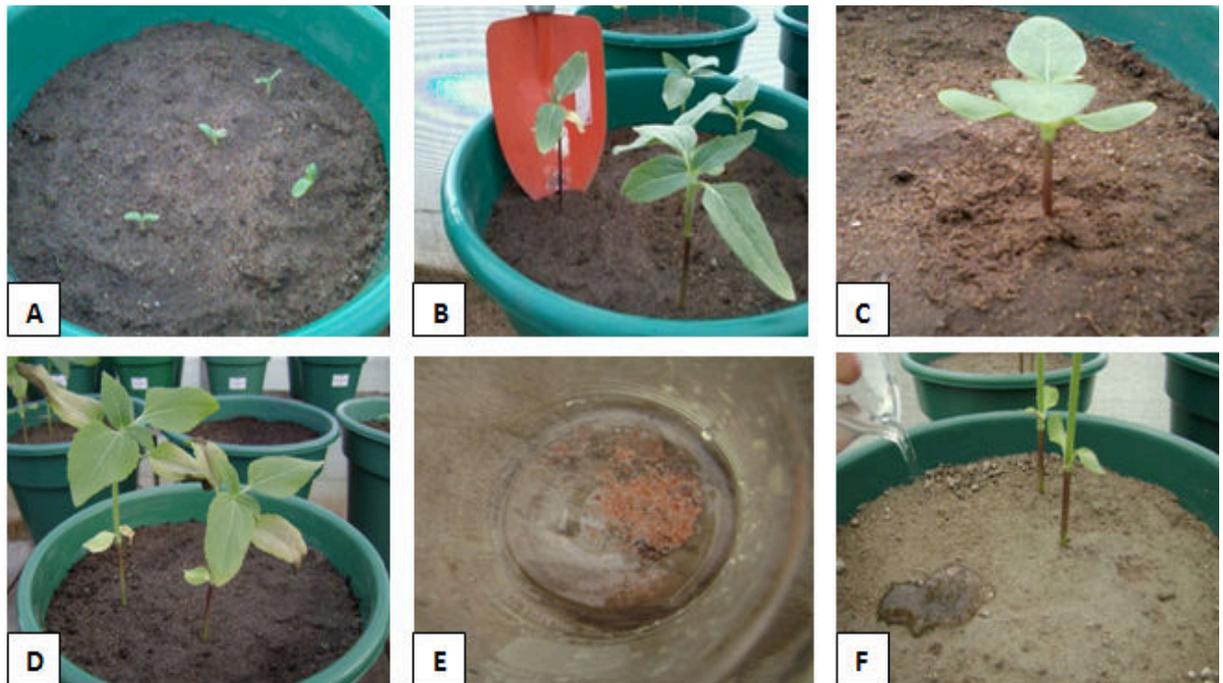


Figura 4 - Condução do experimento - **A** - germinação das sementes; **B** - retirada da planta para transplante; **C** - planta depois de transplantada; **D** - plantas com necrose; **E** - solubilização do adubo; **F** - adubação líquida.

Durante o período de condução do experimento, setembro a dezembro de 2013, a temperatura mínima na casa de vegetação oscilou entre 11°C e 22°C, apresentando temperatura mínima média de 18°C. A temperatura máxima na casa de vegetação oscilou entre 22°C e 47°C, apresentando temperatura máxima média de 36°C (Figura 5).

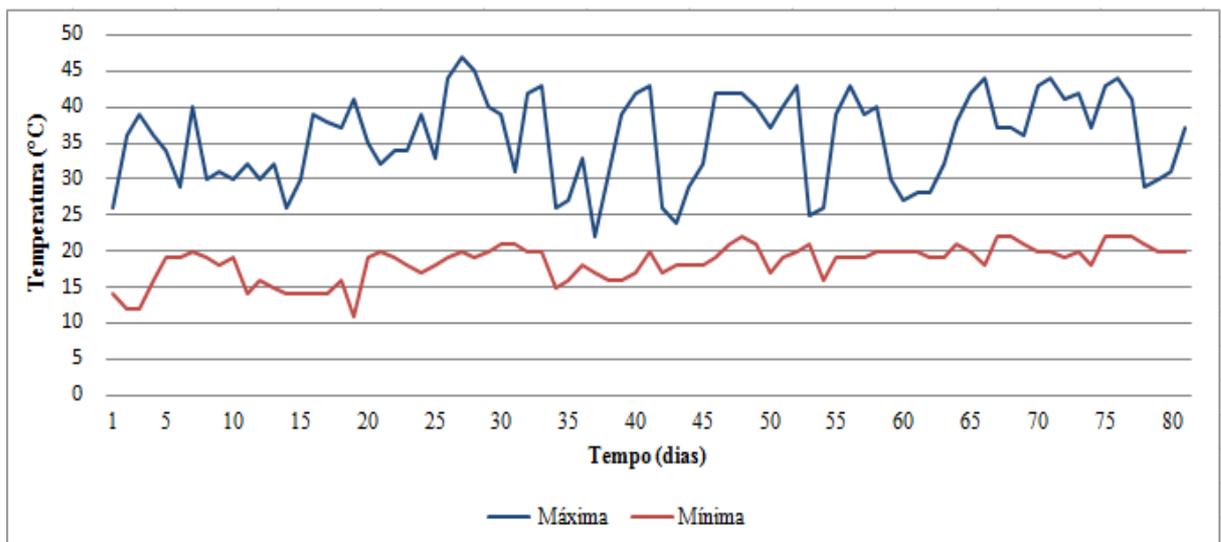


Figura 5 - Temperaturas máxima e mínima dentro da casa de vegetação.

4.5. Avaliações realizadas

4.5.1. Coleta de dados morfológicos das plantas de girassol

A medição da altura e diâmetro das plantas de girassol foi realizada aos 78 dias após a semeadura. A altura das plantas foi medida desde o nível do solo até a inserção do capítulo, com uma trena métrica (Figura 6 A). O diâmetro do caule foi medido a partir de 5 cm do solo, com paquímetro digital (Figura 6 B).

Aos 57, 64 e 71 dias após a semeadura através de um método não destrutivo foram determinados os índices de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total (*a+b*) com auxílio de um aparelho portátil denominado de ClorofiLOG® modelo CFL 1030, produzido pela Falker Automação Agrícola (Figura 6 C). A leitura das clorofilas *a*, *b* e total (*a+b*) fornecidas por este aparelho são adimensionais, sendo denominada de ICF (Índice de Clorofila Falker). O índice de clorofila foi sempre determinado entre 6:00 e 8:00 horas da manhã. As leituras foram realizadas na quarta folha no sentido base/ápice na parte central e inicial do limbo foliar. Foram coletadas 5 leituras por planta, obtendo-se a média final para cada planta.

Ao final do período experimental (80 dias), as plantas foram coletadas e seccionadas em raízes, caule, folhas e capítulo (Figura 6 D). As raízes das plantas de girassol foram separadas da terra por peneiramento, lavadas com água corrente, em seguida com água destilada e deionizada, secas em papel toalha e, então, levadas com as demais partes das plantas para estufa para a secagem a 65°C por 72 horas (Figura 6 E). Após a secagem, as amostras foram pesadas para determinação da massa seca. Todas as partes da planta foram trituradas em moinho de aço inoxidável tipo *Willey* (Figura 6 F) e acondicionadas em sacos de papel.



Figura 6 - Coleta de dados biométricos e preparo das plantas - **A** - medição da altura; **B** - medição do diâmetro; **C** - medição da clorofila com ClorofiLOG®; **D** - partes da planta ; **E** - secagem das plantas; **F** - trituração das plantas.

4.5.2. Análises de nutrientes das plantas de girassol

Para a determinação dos teores de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) nas plantas, foi utilizado o método de digestão por H_2O_2 e H_2SO_4 com mistura de digestão em bloco digestor, utilizando 0,2 g de tecido vegetal. Após digerida, a amostra foi diluída a 50 ml com água destilada e deionizada no próprio tubo de digestão. A leitura do nitrogênio foi realizada pelo método de destilação do extrato (destilador Kjeldahl), mais solução de ácido bórico e indicador misto, seguida de titulação com solução diluída de H_2SO_4 ; o fósforo por espectrofotometria com adição de molibdato de amônio e ácido aminonaftolsulfônico; o cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica com chama de gás acetileno; e o potássio por fotometria de chama. Para a determinação do sódio foi utilizado o método de digestão por HNO_3 e $HClO_4$ em bloco digestor, sendo a leitura feita por fotometria de chama (Tedesco et al., 1995).

4.5.3. Análises de nutrientes do solo

Após a coleta das plantas, foram retiradas amostras representativas do solo por meio de 4 tradagens em cada unidade experimental (Figura 7 A). Tais amostras foram secas a sombra (Figura 7 B), posteriormente peneiradas em peneira de malha de 2 mm, homogeneizadas e acondicionadas em sacos plásticos (Figura 7 C).

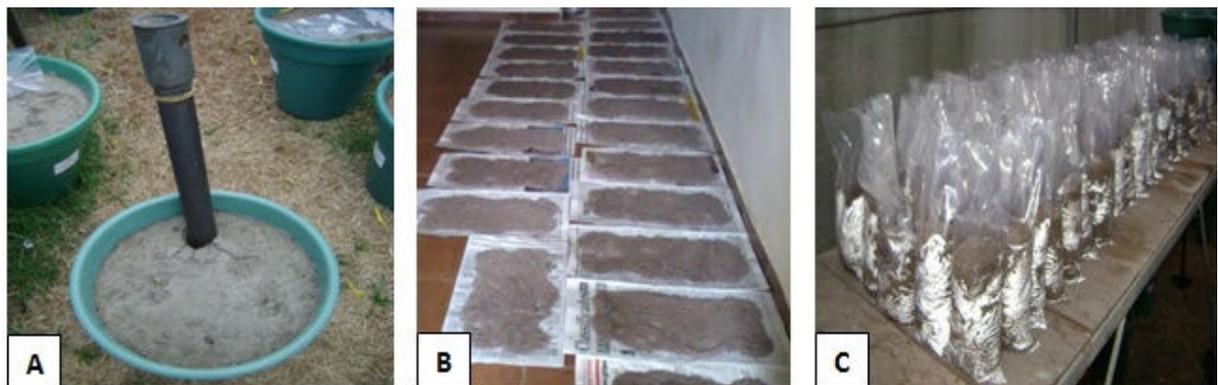


Figura 7 - Coleta e preparo do solo após o cultivo de girassol - **A** - coleta do solo; **B** - secagem do solo; **C** - acondicionamento do solo.

Em cada amostra de solo foram determinados os teores totais e trocáveis de nutrientes. Para determinação dos teores totais de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e sódio no solo foi realizado o método de digestão por HNO_3 e HCl (3:1) (ISO 11466, 1995), em bloco digestor, utilizando 1,0 g de solo. Após digerida, a amostra foi diluída a 50 ml com água deionizada no próprio tubo de digestão. A leitura de fósforo foi realizada por calorimetria do metavanadato (Malavolta et al., 1997), o sódio e potássio por fotometria de chama e, cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica com gás acetileno (Embrapa, 1998).

Para a determinação do nitrogênio no solo, foi realizado o método de digestão por H_2O_2 e H_2SO_4 com mistura de digestão em bloco digestor, utilizando 0,5 g de solo, sendo a leitura realizada pelo método de destilação Kjeldahl, mais solução de ácido bórico e indicador misto, seguida de titulação com solução diluída de H_2SO_4 (Tedesco et al., 1995).

Os valores de pH, assim como os teores trocáveis de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, sódio, saturação de Al (m%), acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V%), carbono orgânico (C_{org}), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) do solo foram

determinados pela metodologia Embrapa (1998). Os teores de cloreto (Cl) e condutividade elétrica (CE) do solo foram determinados de acordo com a metodologia Tedesco et al. (1995).

4.5.4. Análise estatística dos dados

Os dados foram avaliados por meio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000), onde os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). No caso de F significativo (ANOVA), utilizou-se da análise de regressão linear múltipla para obtenção da equação de regressão e seu respectivo coeficiente de determinação (R^2) que melhor se ajustaram aos dados ao nível de 5 % de probabilidade. Assim os resultados foram plotados em gráficos de superfície de resposta através do programa SIGMA PLOT 12.0 (Serial 775209364; Licença D32121-9A08FF68).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Efeitos dos resíduos sobre a morfologia das plantas de girassol

Após as misturas de torta e cascalho terem sido colocadas nos vasos, com o passar dos dias percebeu-se a formação de uma camada superficial de cor escura em todos os tratamentos que continham a dose 32 Mg ha^{-1} de torta de girassol, os quais não apresentaram germinação de plantas. A Figura 8 mostra de forma comparativa, vasos com misturas de 16 Mg ha^{-1} de torta e 0 Mg ha^{-1} de cascalho (Figura 8 A) até vasos com 16 Mg ha^{-1} de torta e 60 Mg ha^{-1} de cascalho (Figura 8 B) que apresentaram germinação; e vasos com misturas de 32 Mg ha^{-1} de torta e 0 Mg ha^{-1} de cascalho (Figura 8 C) até vasos com 32 Mg ha^{-1} de torta e 60 Mg ha^{-1} de cascalho (Figura 8 D) que não apresentaram germinação.

Esta ausência de germinação das plantas de girassol na maior dose de torta testada (32 Mg ha^{-1}) provavelmente ocorreu pelo excesso de matéria orgânica (torta) fornecida, o que será mais bem apresentado no item 5.5 pelo gráfico de superfície de resposta mostrando o teor de matéria orgânica do solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol utilizados.

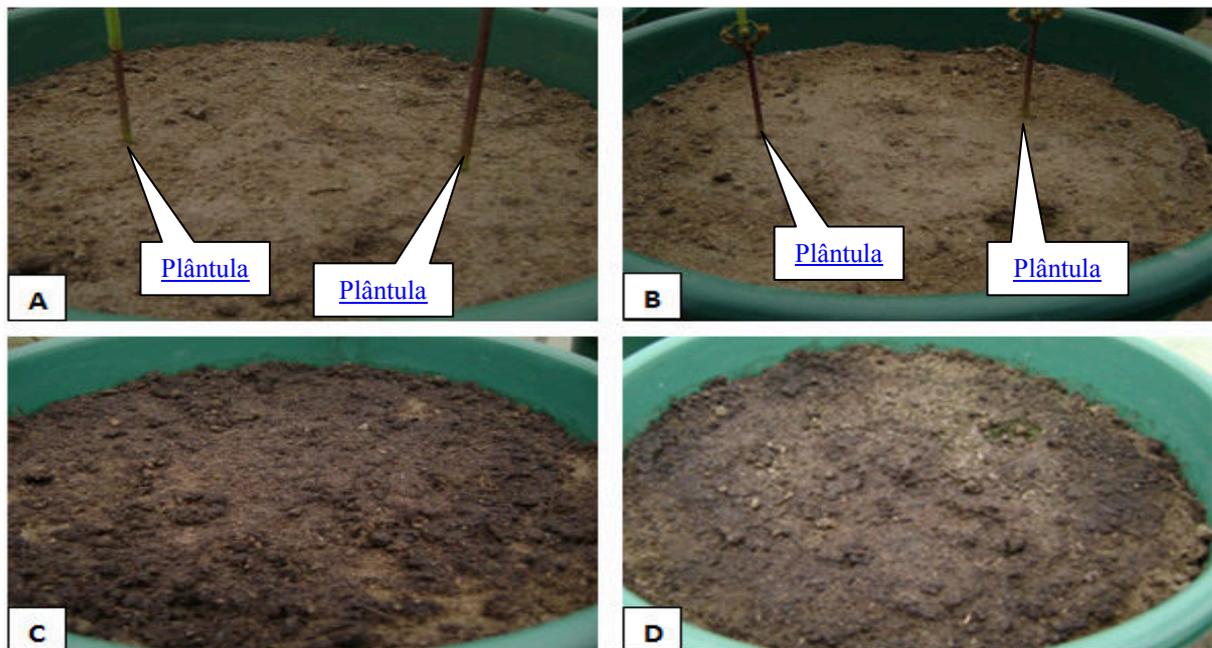


Figura 8 - Comparação entre vasos germinados e não germinados - **A** - solo com germinação de plantas de girassol (dose 16 Mg ha^{-1} de torta e 0 Mg ha^{-1} de cascalho); **B** - solo com germinação de plantas de girassol (dose 16 Mg ha^{-1} de torta e 60 Mg ha^{-1} de cascalho); **C** - solo sem germinação de plantas de girassol (dose 32 Mg ha^{-1} de torta e 0 Mg ha^{-1} de cascalho); **D** - solo sem germinação de plantas de girassol (dose 32 Mg ha^{-1} de torta e 60 Mg ha^{-1} de cascalho).

A análise de variância mostrou que ocorreu interação significativa ($p < 0,05$) entre torta e cascalho para as variáveis altura, diâmetro, massa seca da parte aérea e massa seca das raízes das plantas de girassol conforme pode ser observado na tabela 5.

Tabela 5 - Valores do quadrado médio da análise de variância da H, D, MSR, MSPA de girassol (*Helianthus annuus* L.) em função das doses de torta de girassol e cascalho (fontes de variação - FV/coeficiente de variação - CV).

FV	H	D	MSR	MSPA
Torta (T)	910,39*	11,86*	27,70*	1182,76*
Cascalho (C)	328,20*	0,31 ^{ns}	1,18*	75,84*
T x C	112,05*	0,54*	0,59*	31,21*
CV%	9,21	9,31	33,70	18,02

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

A Figura 9 mostra o crescimento das plantas de girassol em casa de vegetação, podendo ser observado os efeitos da associação entre torta e cascalho sobre o crescimento em altura das plantas.

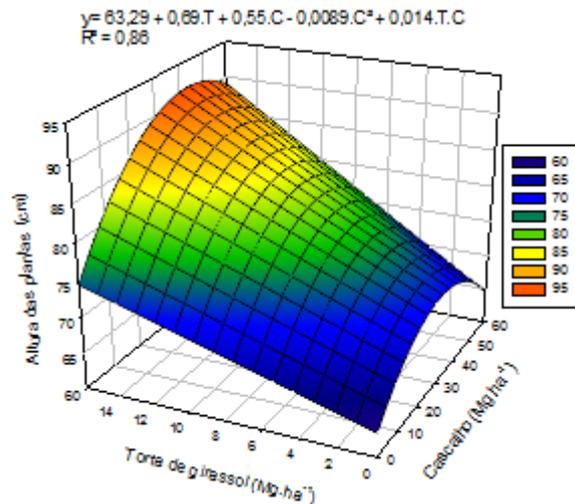


Figura 9 - Altura das plantas de girassol (cm) em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

A altura das plantas de girassol foi positivamente influenciada pela associação de torta de girassol e cascalho de perfuração. Observa-se que todas as associações de torta com cascalho apresentaram maior crescimento em altura quando comparadas ao tratamento controle (0 Mg ha⁻¹ de torta x 0 Mg ha⁻¹ de cascalho). Verifica-se ainda que houve um aumento na altura das plantas a medida que se associou doses crescentes de torta à doses crescentes de cascalho até a dose 45 Mg ha⁻¹ de cascalho. Quando as doses de torta foram associadas a maior dose de cascalho (60 Mg ha⁻¹) ocorreu um decréscimo da altura das

plantas. Este fato provavelmente está associado com o teor de sódio presente no cascalho (Tabela 2), que foi potencializado com o aumento das doses. A maior altura das plantas de girassol foi observada na associação da dose 16 Mg ha⁻¹ de torta com a dose 45 Mg ha⁻¹ de cascalho. Resultados semelhantes foram obtidos por Freitas (2009), que cultivando plantas de girassol em planossolo com doses crescentes de resíduo rico em sódio, constatou menor crescimento em altura na maior dose testada, correspondendo a 80 Mg ha⁻¹. Silva et al. (2009) observaram a ocorrência de decréscimo da altura em plantas de girassol quando submetidas a doses crescentes de salinidade. Nobre et al. (2010) verificaram redução linear de altura nas plantas de girassol com o aumento da salinidade. Dados semelhantes foram obtidos por Filho et al. (2013) no cultivo de girassol em condições de campo submetido a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, que constataram ocorrência de redução da altura das plantas à medida que aumentou o nível de salinidade da água. Cultivando girassol em planossolo com cascalho de perfuração, Freitas (2013) observou menor crescimento em altura na maior dose testada (32 Mg ha⁻¹). Segundo Taiz & Zeiger (2004), o estresse salino pode acarretar em acúmulo excessivo de sais nos tecidos vegetais causando desequilíbrio nutricional, toxicidade e redução do crescimento, sendo que para reduzir as perdas de água pela transpiração, as plantas fecham os estômatos diminuindo o processo fotossintético, o que contribui para um menor crescimento.

Em síntese, pode-se inferir que a dose 16 Mg ha⁻¹ de torta associada a dose 45 Mg ha⁻¹ de cascalho proporcionou maior crescimento em altura das plantas de girassol.

A Figura 10 apresenta o diâmetro das plantas de girassol em casa de vegetação, podendo ser observado os efeitos da associação dos resíduos torta e cascalho.

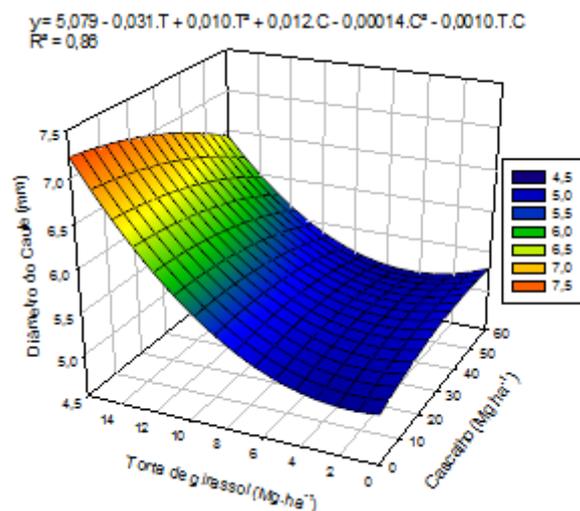


Figura 10 - Diâmetro do caule das plantas de girassol (mm) em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Observando a Figura 10, verifica-se que a ausência de cascalho nas doses crescentes de torta, proporcionou maior diâmetro do caule das plantas de girassol quando comparado aos tratamentos que não tiveram a presença de torta. O menor diâmetro do caule observado foi no tratamento controle (0 Mg ha⁻¹ de torta x 0 Mg ha⁻¹ de cascalho). Nota-se, que o diâmetro do caule apresentou-se maior na dose 16 Mg ha⁻¹ de torta associada as menores doses de cascalho (0 Mg ha⁻¹, 5 Mg ha⁻¹ e 15 Mg ha⁻¹). Quando as maiores doses de torta (8 Mg ha⁻¹ e 16 Mg ha⁻¹) foram associadas as maiores doses de cascalho (30 Mg ha⁻¹, 45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹) ocorreu uma redução no diâmetro do caule das plantas de girassol, provavelmente pela presença de sódio contido no cascalho, que se intensificou com o aumento das doses. Silva et al. (2009) cultivando girassol, constataram a ocorrência de decréscimo em diâmetro do caule das plantas quando submetidas a doses crescentes de salinidade. Nobre et al. (2010) verificaram que o aumento da salinidade no cultivo de girassol provocou uma redução no diâmetro do caule das plantas. Resultados semelhantes foram observados por Filho et al. (2013), que verificaram queda linear do diâmetro do caule de plantas de girassol cultivadas em campo, quando submetidas a níveis crescentes de salinidade pela água de irrigação.

Por tanto o maior diâmetro do caule apresentado na associação da dose 16 Mg ha⁻¹ de torta e as menores doses de cascalho (0 Mg ha⁻¹, 5 Mg ha⁻¹ e 15 Mg ha⁻¹) deve ser considerado como positivo, pois quanto mais vigoroso o caule das plantas de girassol, menor a probabilidade de acamamento, o que facilita o manejo e colheita (BISCARO et al., 2008).

A Figura 11 apresenta os efeitos da associação entre torta e cascalho sobre a massa seca da parte aérea das plantas de girassol.

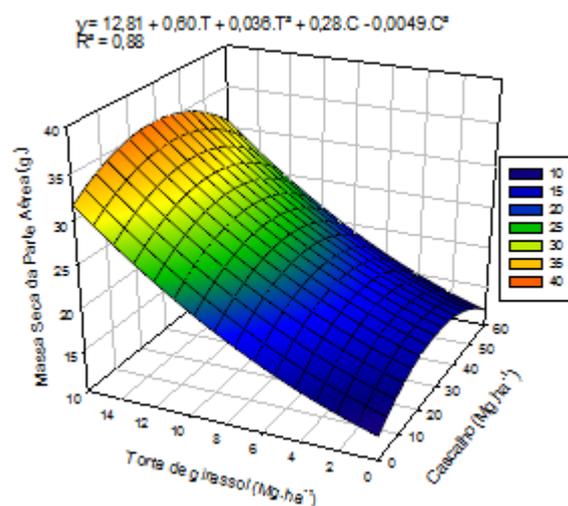


Figura 11 - Massa seca da parte aérea das plantas de girassol (g) em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

A massa seca da parte aérea das plantas de girassol foi fortemente influenciada pela adição de doses crescentes de torta. Resultado que corrobora com Gabos et al. (2011), que cultivando girassol verificaram aumento da massa seca da parte aérea das plantas a medida que foram adicionadas ao solo doses crescentes de torta de filtro até a dose 40 Mg ha⁻¹. Em cultivo de girassol em doses crescentes de lodo de esgoto, Lobo et al. (2013) observaram aumento linear da matéria seca da parte aérea de plantas de girassol quando doses crescentes do resíduo foram incorporadas ao solo. Observa-se ainda que quando as doses de torta foram associadas às doses crescentes de cascalho até a dose 30 Mg ha⁻¹, ocorreu um aumento da massa seca da parte aérea. Quando as doses de torta foram associadas a doses superiores a 30 Mg ha⁻¹ de cascalho, verifica-se um decréscimo de massa seca da parte aérea das plantas. O maior acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas de girassol foi observado na associação da dose 30 Mg ha⁻¹ de cascalho com a dose 16 Mg ha⁻¹ de torta.

A redução de massa seca da parte aérea das plantas de girassol quando as doses de torta foram associadas a doses superiores a 30 Mg ha⁻¹ de cascalho, possivelmente esta associada ao maior teor de sódio presente no cascalho, que se intensificou com o aumento das doses, o que pode ter inibido o crescimento vegetativo e conseqüentemente proporcionado a menor produção de massa seca da parte aérea, visto que o sódio é considerado tóxico em grandes concentrações para a maioria das espécies de plantas (KONDORFER, 2006). O acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas de girassol verificados neste estudo corroboram com os dados obtidos por Freitas (2009), que cultivando girassol em planossolo com doses crescentes de resíduo rico em sódio, observou um maior acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas em doses crescentes até a dose 40 Mg ha⁻¹, seguido de uma redução na maior dose testada (80 Mg ha⁻¹), indicando que o sódio influenciou no acúmulo de massa seca na maior dose. Resultado semelhante foi verificado por Freitas (2013) em plantas de girassol cultivadas em planossolo com cascalho de perfuração, que observou um menor acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas na maior dose testada (32 Mg ha⁻¹). A redução da massa seca da parte aérea de plantas de girassol em consequência do aumento da salinidade, também foi constatada por Silva et al. (2009). Comportamento semelhante foi registrado por Nobre et al. (2010), que avaliando a cultura de girassol, verificaram que o aumento da salinidade provocou redução da massa seca da parte aérea das plantas. Travassos et al. (2011) observaram durante o cultivo de girassol variedade Embrapa 122/V-2000 uma redução da massa seca da parte aérea das plantas com o aumento da salinidade.

Nota-se, que vários trabalhos apontam a redução de massa seca de plantas de girassol quando cultivadas em solo com certa quantidade de salinidade, o que reforça a necessidade de

se estabelecer os potenciais de uso de resíduos que possam vir a causar desequilíbrio produtivo em plantas de girassol.

Na Figura 12 são apresentados os efeitos da associação entre os resíduos torta e cascalho sobre a massa seca das raízes das plantas de girassol.

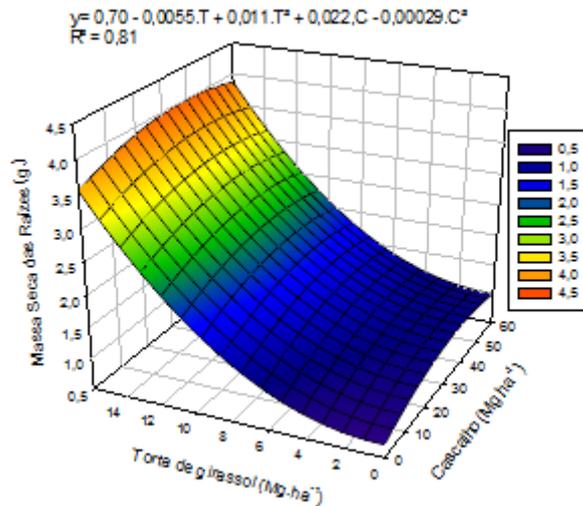


Figura 12 - Massa seca das raízes (g) das plantas de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Observando a Figura 12, verifica-se que a massa seca das raízes das plantas de girassol, foi fortemente influenciada pela adição de doses crescentes de torta. Resultados semelhantes foram observados por Gabos et al. (2011) no cultivo de girassol em doses crescentes de torta de filtro, onde a maior massa seca das raízes foi verificada na adição ao solo de 40 Mg ha⁻¹ do resíduo. Observa-se que ocorreu um maior incremento de massa seca das raízes quando as doses de cascalho foram associadas às maiores doses de torta (8 Mg ha⁻¹, 16 Mg ha⁻¹ e 32 Mg ha⁻¹). Quando as doses de torta foram associadas às menores doses de cascalho (0 Mg ha⁻¹, 5 Mg ha⁻¹, 10 Mg ha⁻¹ e 15 Mg ha⁻¹), ocorreu um menor incremento de massa seca das raízes, possivelmente devido a presença de alumínio no solo que proporcionou um menor pH, visto que o alumínio é tóxico as plantas e pode causar alterações morfológicas nas raízes e conseqüente menor desenvolvimento (NOVAIS et al., 2007). Nota-se que quando as doses de torta foram associadas às maiores doses de cascalho (30 Mg ha⁻¹, 45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹), ou seja, com maior quantidade de sódio ocorreu um maior acúmulo de massa seca das raízes das plantas. Resultados distintos foram observados por Silva et al. (2009), que constataram redução da massa seca das raízes de plantas de girassol quando submetidas a doses crescentes de salinidade. Travassos et al. (2011), também verificaram uma redução da massa seca das raízes de plantas de girassol com o aumento da salinidade no solo. Freitas

(2013), cultivando plantas de girassol em planossolo com cascalho de perfuração, observou uma redução da massa seca das raízes das plantas na maior dose testada (32 Mg ha^{-1}). Diante destes resultados, pode-se inferir que a associação de torta e cascalho influenciou positivamente o aumento da massa seca das raízes das plantas de girassol.

5.2. Efeitos dos resíduos sobre o teor de nutrientes das plantas de girassol

Observa-se que o teor de sódio encontrado na parte aérea das plantas de girassol (Figura 13 A) aumentou à medida que as doses de torta foram associadas às doses crescentes de cascalho, apresentando maior teor de sódio a dose 16 Mg ha^{-1} de torta associada a dose 60 Mg ha^{-1} de cascalho. Apenas as menores doses de torta (0 Mg ha^{-1} , 2 Mg ha^{-1} e 4 Mg ha^{-1}) associadas as menores doses de cascalho (0 Mg ha^{-1} , 5 Mg ha^{-1} , 15 Mg ha^{-1} e 30 Mg ha^{-1}) apresentaram menor teor de sódio na parte aérea das plantas de girassol. Comportamento semelhante foi observado por Freitas (2013), que constatou aumento no teor de sódio da parte aérea de plantas de girassol cultivadas em planossolo com cascalho de perfuração na maior dose testada (32 Mg ha^{-1}). No cultivo de girassol em solo com cascalho de perfuração de poços de petróleo proveniente da etapa de recuperação do fluido denominado de centrifugação, Júnior (2012) verificou que o teor de sódio nas folhas das plantas aumentou na maior dose testada ($51,3 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Nas raízes das plantas de girassol (Figura 13 B) o teor de sódio aumentou à medida que as doses de torta foram associadas às doses crescentes de cascalho. Observa-se que os maiores teores de sódio nas raízes foram encontrados quando as doses de torta foram associadas às maiores doses de cascalho (45 Mg ha^{-1} e 60 Mg ha^{-1}). Estes dados corroboram com Silva (2010), que observou aumento no teor de sódio nas raízes de plantas de girassol cultivadas nas maiores doses (40 Mg ha^{-1} e 80 Mg ha^{-1}) de torta de mamona PDS “in natura” testada, visto que o resíduo é rico em sódio. Resultado semelhante foi constatado por Freitas (2013), que verificou maior teor de sódio nas raízes das plantas de girassol cultivadas com cascalho de perfuração na maior dose testada (32 Mg ha^{-1}).

O aumento no teor de sódio verificado na parte aérea e nas raízes das plantas de girassol quando as doses de torta foram associadas às doses crescentes de cascalho possivelmente ocorreu devido à deficiência em potássio apresentada no solo inicial, o que favoreceu as plantas a absorverem o sódio presente no solo para suprir suas necessidades fisiológicas, visto que o sódio pode ser considerado como substituto do potássio em reações

enzimáticas nas quais não ocorra uma exigência absoluta do potássio, como em funções metabólicas e osmóticas (TAIZ & ZEIGER, 2004; EPSTEIN & BLOOM, 2006).

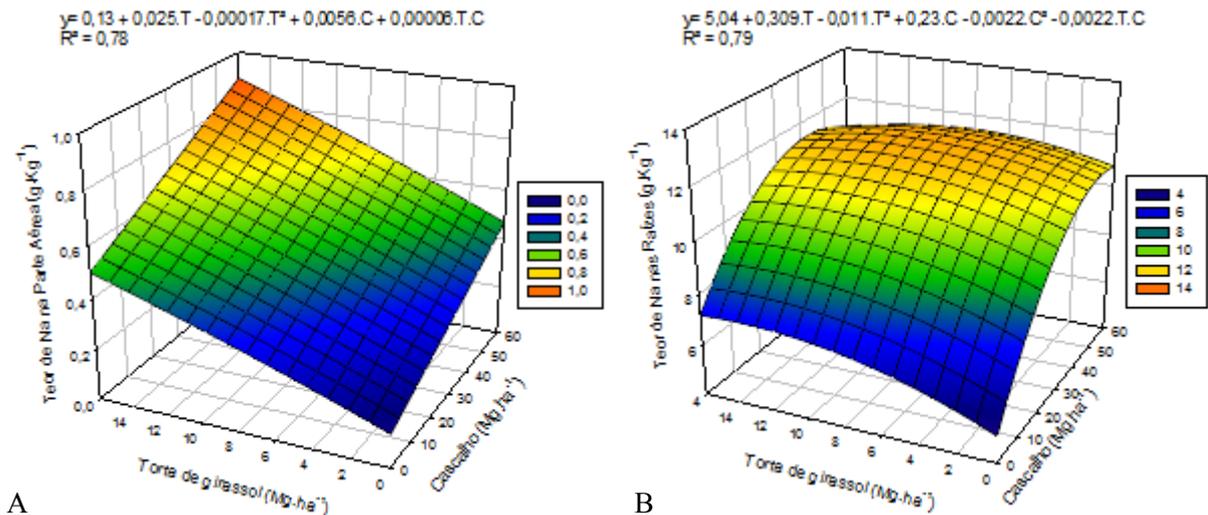


Figura 13 - Teor de Na nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: **A** - sódio na parte aérea (g kg^{-1}); **B** - sódio nas raízes (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Quanto ao potássio na parte aérea das plantas de girassol (Figura 14 A), nota-se que o maior teor ocorreu na associação das menores doses de torta (0 Mg ha^{-1} , 2 Mg ha^{-1} e 4 Mg ha^{-1}) com as maiores doses de cascalho (45 Mg ha^{-1} e 60 Mg ha^{-1}). Comportamento semelhante foi verificado por Freitas (2013) no cultivo de plantas de girassol em planossolo com cascalho de perfuração, que verificou maior teor de potássio na parte aérea das plantas na maior dose testada (32 Mg ha^{-1}). Outros estudos tem apontado o aumento no teor de potássio principalmente nas folhas de plantas de girassol, quando utilizado algum tipo de resíduo ou adubação convencional (CARVALHO & PISSAIA, 2004; UCHÔA et al., 2011).

Ainda observando a superfície de resposta (Figura 14 A), nota-se que quando as doses de cascalho foram associadas às doses 8 Mg ha^{-1} e 16 Mg ha^{-1} de torta ocorreu uma redução do teor de potássio na parte aérea das plantas. Resultados distintos foram verificados por Silva et al. (2012) no cultivo de mamona em doses crescentes de torta de mamona tratada, onde observaram elevação no teor de potássio na parte aérea das plantas com o aumento das doses, atingindo teor máximo de potássio na maior dose testada (80 Mg ha^{-1}).

A redução observada do teor de potássio na parte aérea das plantas de girassol quando as doses de cascalho foram associadas às doses 8 Mg ha^{-1} e 16 Mg ha^{-1} de torta, possivelmente ocorreu devido as plantas terem absorvido maior teor de sódio nessas associações, sendo o sódio considerado substituto do potássio em reações enzimáticas nas quais não ocorra uma

exigência absoluta do potássio, como em funções metabólicas e osmóticas (TAIZ & ZEIGER, 2004; EPSTEIN & BLOOM, 2006). Aliado a este fato, a maior concentração de magnésio no solo proporcionada pela associação dos resíduos torta e cascalho pode ter favorecido a redução da absorção de potássio na parte aérea das plantas quando as doses de cascalho foram associadas às doses 8 Mg ha⁻¹ e 16 Mg ha⁻¹ de torta, visto que nutrientes como cálcio e magnésio em maiores concentrações reduzem a absorção de potássio por inibição competitiva (NOVAIS et al., 2007).

Nas raízes das plantas de girassol (Figura 14 B) o teor de potássio aumentou quando as doses de torta foram associadas a doses crescentes de cascalho. Observa-se que o maior teor de potássio ocorreu quando as doses de torta foram associadas às maiores doses de cascalho (45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹). Os resultados verificados corroboram com Freitas (2013), que cultivando girassol em planossolo com cascalho de perfuração, verificou que as raízes das plantas apresentaram maior teor de potássio na maior dose testada (32 Mg ha⁻¹). No entanto Silva et al. (2012) testando doses crescentes de torta de mamona tratada no cultivo de mamona, observaram que ocorreu uma redução do teor de potássio nas raízes das plantas quando as maiores doses testadas (40 Mg ha⁻¹ e 80 Mg ha⁻¹) foram adicionadas ao solo.

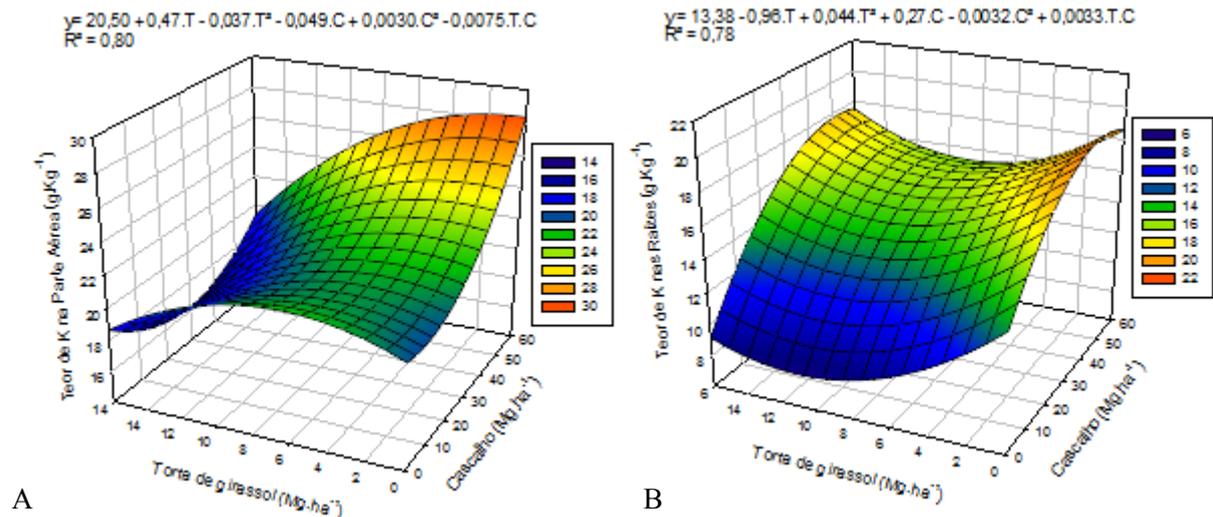


Figura 14 - Teor de K nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: **A** - potássio na parte aérea (g kg⁻¹); **B** - potássio nas raízes (g kg⁻¹). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Verifica-se que o teor de fósforo presente na parte aérea das plantas de girassol (Figura 15 A) aumentou quando as doses de cascalho foram associadas às doses crescentes de torta até a dose 8 Mg ha⁻¹. Quando as doses de cascalho foram associadas à dose 16 Mg ha⁻¹ de torta houve uma redução do teor de fósforo na parte aérea das plantas de girassol. Nota-se que

o maior teor de fósforo na parte aérea das plantas ocorreu na associação da dose 60 Mg ha⁻¹ de cascalho com a dose 8 Mg ha⁻¹ de torta. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2012) no cultivo de mamona com doses crescentes de torta de mamona “in natura”, que verificaram a redução no teor de fósforo na parte aérea das plantas com a adição da maior dose testada (80 Mg ha⁻¹). No entanto outros autores relatam aumento no teor de fósforo em plantas de girassol, quando utilizado algum resíduo ou adubação convencional (CARVALHO & PISSAIA, 2004; SILVA et al. 2011b).

A redução do teor de fósforo observado na parte aérea das plantas de girassol quando as doses de cascalho foram associadas à dose 16 Mg ha⁻¹ de torta, possivelmente está relacionado com o menor teor de magnésio absorvido pelas plantas nessas associações, visto que o magnésio atua como “carregador” de fósforo, sendo que a redução do teor de magnésio nas plantas promove a diminuição da absorção do fósforo (MALAVOLTA et al., 1997; EPSTEIN & BLOOM, 2006; NOVAIS et al., 2007).

Com relação ao teor de fósforo nas raízes das plantas de girassol (Figura 15 B), nota-se que ocorreu um aumento quando as doses de cascalho foram associadas às doses crescentes de torta até a dose 8 Mg ha⁻¹. Quando as doses de cascalho foram associadas à dose 16 Mg ha⁻¹ de torta ocorreu uma redução no teor de fósforo nas raízes das plantas de girassol. Estes resultados são corroborados por Silva et al. (2012), que observaram redução no teor de fósforo nas raízes de plantas de mamona na maior dose de torta de mamona “in natura” testada, equivalente a 80 Mg ha⁻¹.

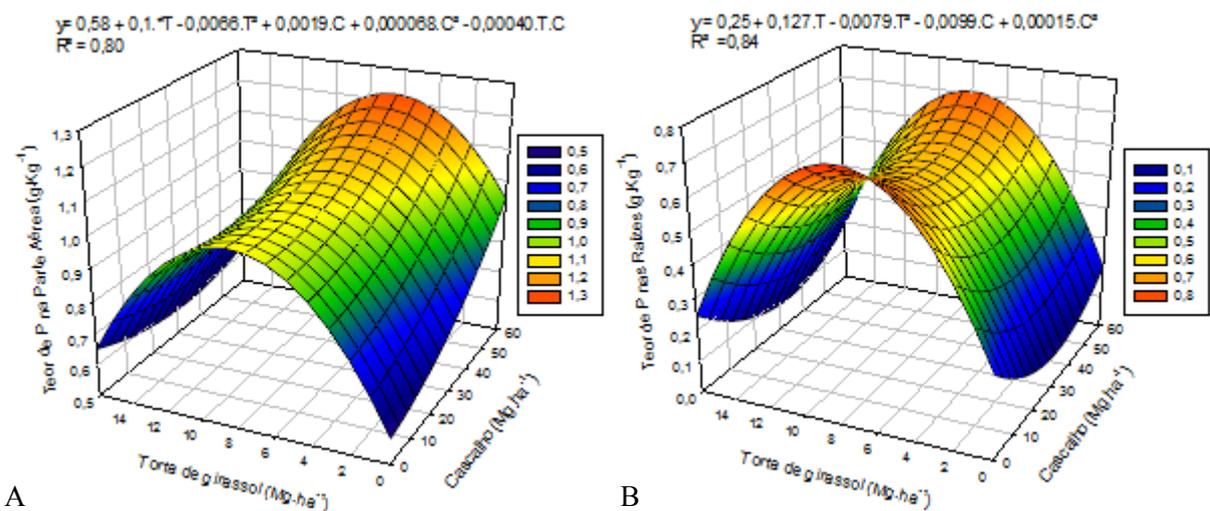


Figura 15 - Teor de P nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: A - fósforo na parte aérea (g kg⁻¹); B - fósforo nas raízes (g kg⁻¹). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Observa-se através da superfície de resposta (Figura 16) a grande contribuição do cascalho para o incremento de cálcio tanto na parte aérea quanto nas raízes das plantas de girassol. Verifica-se que na parte aérea das plantas de girassol (Figura 16 A) ocorreu um aumento no teor de cálcio quando as doses de torta foram associadas às doses crescentes de cascalho. Quando as doses de cascalho foram associadas à dose 16 Mg ha⁻¹ de torta ocorreu uma pequena redução do teor de cálcio na parte aérea das plantas de girassol. Observa-se ainda que a dose 8 Mg ha⁻¹ de torta associada a dose 60 Mg ha⁻¹ de cascalho apresentou o maior teor de cálcio na parte aérea das plantas de girassol. Resultados semelhantes foram constatados por Silva (2010) no cultivo de girassol em doses crescentes de torta de mamona tratada, onde o autor verificou redução do teor de cálcio da parte aérea das plantas na maior dose testada. No entanto Freitas (2009) não verificou aumento significativo no teor de cálcio na parte aérea de plantas de girassol cultivadas em doses crescentes de torta de mamona.

Nas raízes das plantas de girassol (Figura 16 B), o teor de cálcio aumentou à medida que as doses de torta foram associadas às doses crescentes de cascalho. Quando as doses de cascalho foram associadas à dose 16 Mg ha⁻¹ de torta ocorreu um redução do teor de cálcio nas raízes das plantas de girassol. O teor de cálcio apresentou-se mais elevado quando as doses intermediárias de torta (4 Mg ha⁻¹ e 8 Mg ha⁻¹) foram associadas as maiores doses de cascalho (30 Mg ha⁻¹, 45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹). Estes resultados corroboram com Silva (2010), que no cultivo de girassol em doses crescentes de torta de mamona tratada, verificou maior teor de cálcio nas raízes quando adicionadas ao solo doses intermediárias do resíduo.

A redução do teor de cálcio na parte aérea e nas raízes das plantas de girassol quando as doses de cascalho foram associadas à dose 16 Mg ha⁻¹ de torta, possivelmente ocorreu devido a maior presença de magnésio no solo proporcionado pela associação dos resíduos torta e cascalho, visto que nutrientes como potássio e magnésio em maiores concentrações tendem a reduzir a absorção de cálcio pelas plantas por inibição competitiva (EPSTEIN & BLOOM, 2006; NOVAIS et al., 2007).

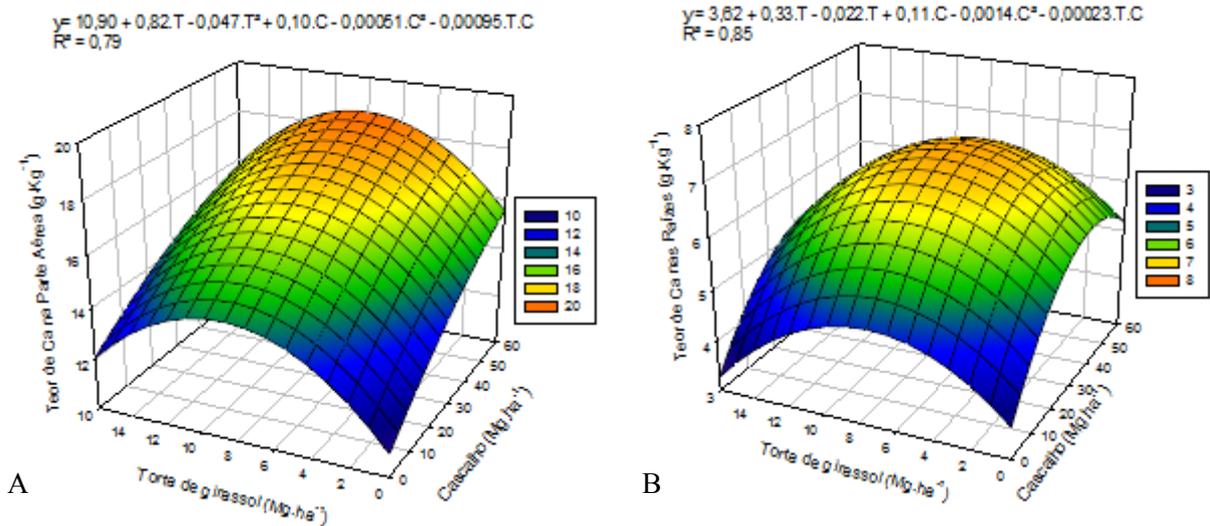


Figura 16 - Teor de Ca nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: **A** - cálcio na parte aérea ($g\ kg^{-1}$); **B** - cálcio nas raízes ($g\ kg^{-1}$). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Quanto ao magnésio na parte aérea das plantas de girassol (Figura 11 A), nota-se que ocorreu uma redução do teor quando as doses de cascalho foram associadas a doses crescentes de torta. Observa-se ainda, que o maior teor de magnésio na parte aérea das plantas foi verificado quando as doses de cascalho foram associadas às menores doses de torta ($0\ Mg\ ha^{-1}$, $2\ Mg\ ha^{-1}$ e $4\ Mg\ ha^{-1}$). Resultados distintos foram verificados por Silva (2010), no cultivo de girassol em doses crescentes de torta de mamona tratada, que constatou aumento do teor de magnésio na parte aérea das plantas quando adicionado ao solo as maiores doses testadas ($40\ Mg\ ha^{-1}$ e $80\ Mg\ ha^{-1}$).

A redução observada do teor de magnésio na parte aérea das plantas de girassol quando as doses de cascalho foram associadas a doses crescentes de torta, possivelmente esta relacionada ao maior teor de potássio apresentado no solo após a adubação realizada, além do maior teor de nitrogênio fornecido pela matéria orgânica (torta), visto que a absorção, transporte e redistribuição de magnésio pelas plantas podem ser afetados por altas concentrações de nutrientes como potássio, cálcio e nitrogênio por inibição competitiva (EPSTEIN & BLOOM, 2006; NOVAIS et al., 2007).

Nas raízes das plantas de girassol (Figura 17 B) o teor de magnésio apresentou-se maior quando as doses crescentes de torta foram associadas a doses crescentes de cascalho. O maior teor de magnésio nas raízes das plantas de girassol foi observado na associação das doses $8\ Mg\ ha^{-1}$ e $16\ Mg\ ha^{-1}$ de torta com as maiores doses de cascalho ($45\ Mg\ ha^{-1}$ e $60\ Mg\ ha^{-1}$). Estes resultados são corroborados por Silva (2010), que verificou maior teor de

magnésio nas raízes de girassol cultivado com torta de mamona tratada na maior dose testada (80 Mg ha⁻¹).

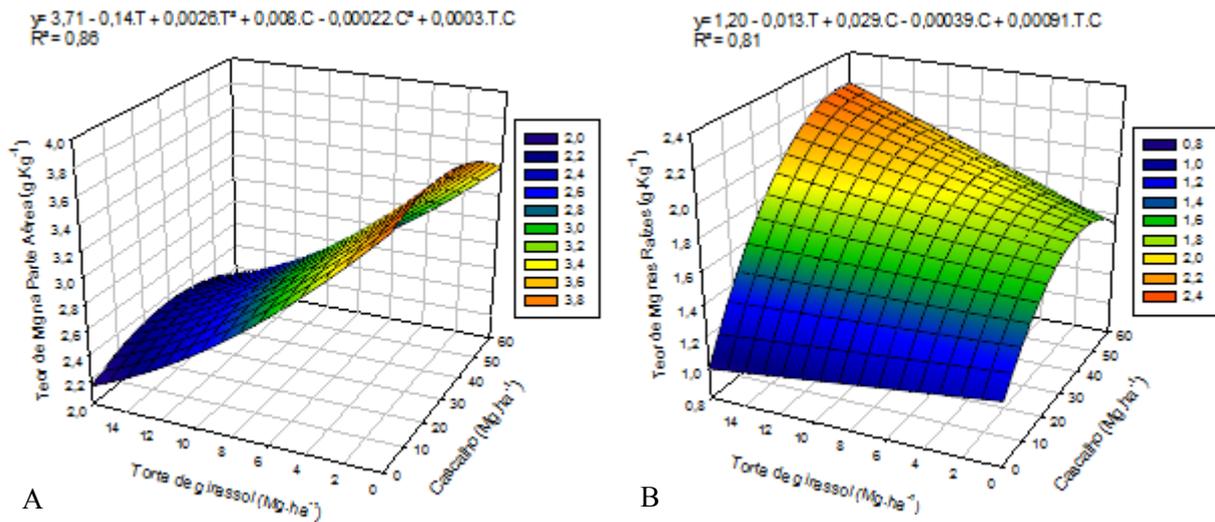


Figura 17 - Teor de Mg nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: **A** - magnésio na parte aérea (g kg⁻¹); **B** - magnésio nas raízes (g kg⁻¹). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Com relação ao nitrogênio da parte aérea das plantas de girassol (Figura 18 A), nota-se que as menores doses de cascalho (0 Mg ha⁻¹ e 5 Mg ha⁻¹) associadas as doses crescentes de torta apresentaram maior teor de nitrogênio. Quando as maiores doses de cascalho (15 Mg ha⁻¹, 30 Mg ha⁻¹, 45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹) foram associadas as doses crescentes de torta até a 8 Mg ha⁻¹, ocorreu um aumento no teor de nitrogênio da parte aérea das plantas, seguida de uma redução quando as mesmas doses de cascalho foram associadas com a dose 16 Mg ha⁻¹ de torta. Resultados distintos foram verificados por Silva et al. (2012), que observaram aumento no teor de nitrogênio na parte aérea de plantas de mamona a medida que doses crescentes de torta de mamona “in natura” foram adicionadas ao solo. Em cultivo de girassol com doses crescentes de torta de mamona, Freitas (2009) verificou maior teor de nitrogênio na parte aérea das plantas com o aumento das doses do resíduo.

Nas raízes das plantas de girassol (Figura 18 B) o teor de nitrogênio aumentou quando as doses de cascalho foram associadas às doses crescentes de torta. Observa-se que o maior teor de nitrogênio nas raízes das plantas de girassol ocorreu quando as menores doses de cascalho (0 Mg ha⁻¹ e 5 Mg ha⁻¹) foram associadas as doses 8 Mg ha⁻¹ e 16 Mg ha⁻¹ de torta. Resultados semelhantes foram verificados por Silva et al. (2012) no cultivo de mamona com doses crescentes de torta de mamona “in natura”, que constataram aumento do teor de

nitrogênio nas raízes das plantas a medida que doses crescentes do resíduo foram adicionadas ao solo.

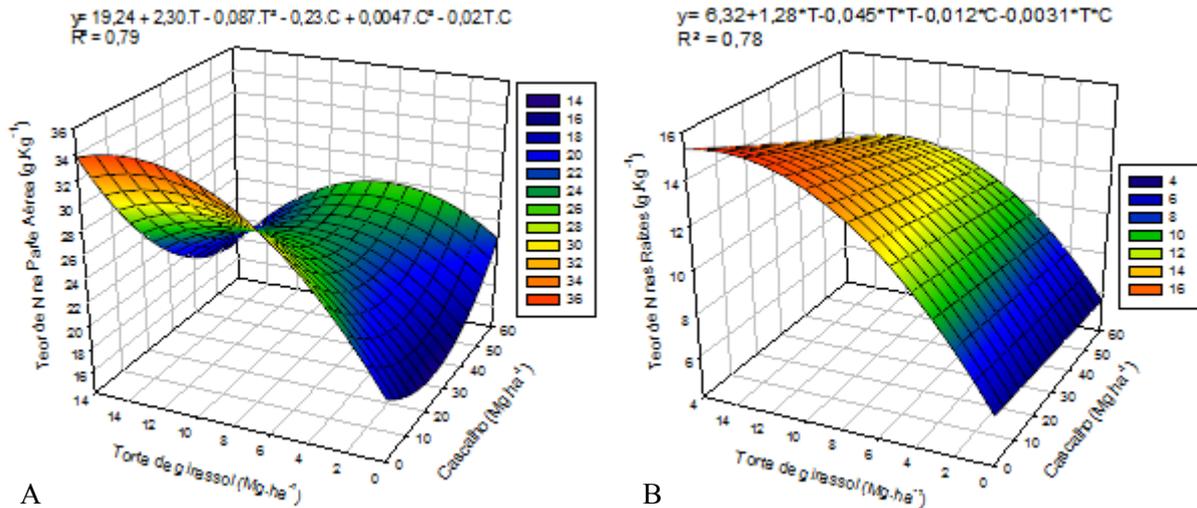


Figura 18 - Teor de N nas plantas em função das doses de cascalho e torta de girassol: **A** - nitrogênio na parte aérea (g kg⁻¹); **B** - nitrogênio nas raízes (g kg⁻¹). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

O aumento no teor de nitrogênio apresentado na parte aérea e nas raízes das plantas de girassol quando as doses iniciais de cascalho (0 Mg ha⁻¹ e 5 Mg ha⁻¹) foram associadas às doses crescentes de torta, possivelmente ocorreu devido ao menor pH apresentado no solo nessas associações, visto que um solo mais ácido favorece a absorção de nitrato, o qual ainda deve ser reduzido a amônio para assimilação de nitrogênio pelas plantas (EPSTEIN & BLOOM, 2006; NOVAIS et al., 2007). Aliado a este fato, a menor absorção de cálcio pelas plantas nas mesmas associações pode ter contribuído para que houvesse uma menor redução do nitrato, visto que baixas concentrações de cálcio prejudica o processo de redução de nitrato a amônio nas plantas (TAIZ & ZEIGER, 2004; NOVAIS et al., 2007). Portanto se pressupõe que o solo mais ácido nessas associações pode ter contribuído para maior acúmulo de nitrato nas plantas, o qual sofreu menor redução a amônio decorrente ao menor teor de cálcio absorvido, o que consequentemente contribuiu para um maior acúmulo de nitrogênio na forma de nitrato. Já nas associações das doses de torta com as maiores doses de cascalho (15 Mg ha⁻¹, 30 Mg ha⁻¹, 45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹) provavelmente a menor acidez do solo aliada a maior absorção de cálcio pelas plantas, possibilitou uma maior redução de nitrato a amônio, além de uma assimilação direta do cátion pelas plantas.

Em síntese, o teor de sódio, potássio, fósforo e cálcio na parte aérea das plantas, apresentou maior teor quando as doses de torta foram associadas a maior dose de cascalho (60 Mg ha^{-1}), o que comparado com os dados biométricos das plantas de girassol percebe-se que mesmo com o maior teor dos nutrientes, foram os tratamentos que apresentaram o segundo menor crescimento em altura (Figura 9) e um menor diâmetro do caule (Figura 10). Apenas as doses de torta sem a presença de cascalho apresentaram o menor crescimento em altura.

Quando as doses de torta foram associadas à maior dose de cascalho (60 Mg ha^{-1}), as raízes das plantas de girassol apresentaram quantidade um pouco maior de massa seca (Figura 11) e maior teor de sódio, potássio, fósforo, cálcio e magnésio. Contudo, pode-se inferir que as plantas de girassol sob estas associações mesmo recebendo maior aporte de nutrientes pelos resíduos (torta e cascalho) e apresentando maior teor de nutrientes, não apresentaram um desenvolvimento satisfatório. Diante destas circunstâncias, destaca-se a necessidade de um rigoroso critério na tomada de decisão sobre as potenciais quantidades de resíduos que venham a contribuir com um desenvolvimento adequado das plantas sem acarretar em danos ao solo.

5.3. Teor médio de nutrientes nas diferentes partes das plantas de girassol

O teor médio de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e sódio obtidos nas diferentes partes das plantas (folhas, capítulo, caule, e raízes) estão apresentados abaixo.

Dentre as partes das plantas analisadas, observa-se que o teor médio de nitrogênio (Figura 19) nas folhas ($34,8 \text{ g kg}^{-1}$) foi superior ao teor encontrado no capítulo ($27,8 \text{ g kg}^{-1}$), no caule ($10,2 \text{ g kg}^{-1}$) e nas raízes ($11,29 \text{ g kg}^{-1}$) das plantas de girassol. De acordo com Novais et al. (2007) os valores de referência para interpretação de resultados de análise de tecido em plantas de girassol para o nitrogênio está entre $33,0 \text{ g kg}^{-1}$ e $35,0 \text{ g kg}^{-1}$. No entanto Raij et al. (1997) sugere valores de $30,0 \text{ g kg}^{-1}$ a $50,0 \text{ g kg}^{-1}$ de nitrogênio como sendo adequados para folhas de girassol. Com base nesses valores de referência observa-se que o teor médio de nitrogênio nas folhas de girassol apresenta-se dentro da faixa considerada adequada. Em experimento com girassol em solução nutritiva, Prado & Leal (2006) verificaram que plantas de girassol cultivadas sem restrição nutricional apresentaram teor de $47,3 \text{ g kg}^{-1}$ de nitrogênio nas folhas. Silva et al. (2011b) avaliando o efeito residual de doses crescentes de adubo fosfatado sobre os teores de nutrientes no girassol em sucessão ao algodoeiro verificaram teor de $42,2 \text{ g kg}^{-1}$ de nitrogênio nas folhas de girassol na maior dose

testada (120 kg ha^{-1} de P_2O_5). Carvalho & Pissaia (2004) cultivando girassol em plantio direto com o objetivo de avaliar o efeito de doses crescentes de nitrogênio sobre o teor de nutrientes em plantas de girassol, observaram teor de $53,1 \text{ g kg}^{-1}$ de nitrogênio nas folhas de girassol na maior dose testada (125 kg ha^{-1} de N). Comparando os teores de nitrogênio nas folhas de girassol cultivado com adubação convencional obtido por estes autores pode-se inferir que o uso dos resíduos torta e cascalho utilizados neste estudo proporcionaram teor considerável de nitrogênio nas folhas de girassol.

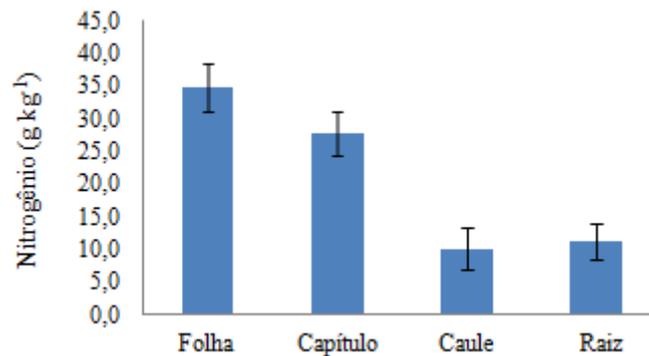


Figura 19 - Teor médio de nitrogênio nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.

O considerável teor de nitrogênio nas folhas das plantas de girassol observado neste estudo provavelmente está relacionado à adição de material orgânico (torta) ao solo, que por meio de sua decomposição favoreceu a disposição do elemento as plantas, visto que resíduos orgânicos promovem liberação gradual de nutrientes à medida que são demandados pelas plantas (MEURER, 2000). No entanto, é importante ressaltar que o excesso de nitrogênio pode provocar redução na qualidade dos grãos e crescimento excessivo da parte aérea das plantas, podendo levar ao acamamento (CASTRO & FARIAS, 2005).

Observando o teor médio de fósforo (Figura 20) encontrado nas plantas de girassol, nota-se que as folhas apresentaram $0,94 \text{ g kg}^{-1}$, capítulo $1,19 \text{ g kg}^{-1}$, caule $0,31 \text{ g kg}^{-1}$ e raízes $0,34 \text{ g kg}^{-1}$. Os valores apresentados podem ser considerados abaixo dos valores de referência para interpretação de resultados de análise de tecido em plantas de girassol para o fósforo, que segundo Novais et al. (2007) situa-se entre $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ e $7,0 \text{ g kg}^{-1}$. Resultados distintos foram observados por Carvalho & Pissaia (2004), que avaliando o efeito de doses crescentes de nitrogênio sobre o teor de nutrientes em plantas de girassol cultivadas sob plantio direto, observaram teor de $5,3 \text{ g kg}^{-1}$ de fósforo nas folhas das plantas na maior dose testada (125 kg ha^{-1} de N). No entanto, Silva et al. (2011b) cultivando girassol em sucessão ao algodoeiro afim de avaliar o efeito residual de doses crescentes de adubo fosfatado sobre os teores de

nutrientes no girassol, constataram teor de $2,9 \text{ g kg}^{-1}$ de fósforo nas folhas das plantas na maior dose testada (120 kg ha^{-1} de P_2O_5). Importante salientar que, dentre os macronutrientes (NPK), o fósforo é o que menos é exigido pelas plantas, porém é um elemento que possui grande importância na nutrição mineral, podendo influenciar diretamente na produção das plantas (RAIJ, 2011).

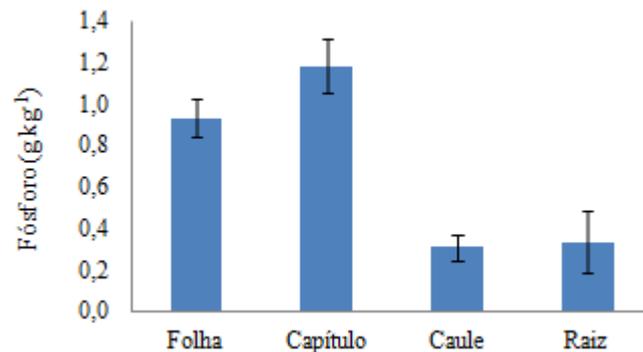


Figura 20 - Teor médio de fósforo nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.

Para o teor médio de potássio (Figura 21) encontrado nas plantas de girassol, verifica-se que as folhas apresentaram $28,50 \text{ g kg}^{-1}$, capítulo $18,50 \text{ g kg}^{-1}$, caule $19,25 \text{ g kg}^{-1}$ e raízes $14,38 \text{ g kg}^{-1}$. O teor médio de potássio encontrado nas folhas das plantas de girassol pode ser considerado acima dos valores de referência indicados para avaliação do estado nutricional de plantas de girassol, que está entre $20,0 \text{ g kg}^{-1}$ e $24,0 \text{ g kg}^{-1}$ de acordo com Novais et al. (2007). No entanto o teor encontrado está dentro da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997), que é de $30,0 \text{ g kg}^{-1}$ e $45,0 \text{ g kg}^{-1}$. Carvalho & Pissaia (2004) avaliando o efeito de doses crescentes de nitrogênio sobre o teor de nutrientes em plantas de girassol cultivadas sob plantio direto, observaram teor de $34,5 \text{ g kg}^{-1}$ de potássio nas folhas das plantas na maior dose testada (125 kg ha^{-1} de N). No entanto, Uchôa et al. (2011) cultivando girassol sob doses crescentes de potássio, verificaram teor médio de $24,0 \text{ g kg}^{-1}$ de potássio nas folhas das plantas. Prado & Leal (2006) avaliando crescimento de girassol em solução nutritiva, verificaram que plantas cultivadas sem restrição nutricional apresentaram teor de $40,5 \text{ g kg}^{-1}$ de potássio nas folhas.

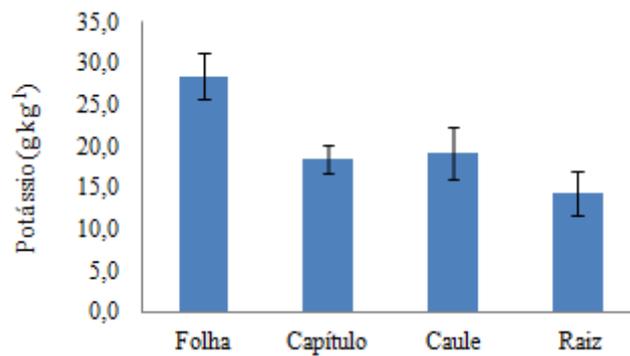


Figura 21 - Teor médio de potássio nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.

O teor médio de cálcio (Figura 22) apresentado nas folhas (24,34 g kg⁻¹) foi superior ao teor encontrado no capítulo (15,2 g kg⁻¹), no caule (5,6 g kg⁻¹) e nas raízes (5,1 g kg⁻¹) das plantas de girassol. De acordo com Novais et al. (2007), os valores de referência para avaliação do estado nutricional de plantas de girassol para o cálcio esta entre 17,0 g kg⁻¹ e 22,0 g kg⁻¹. Considerando esses valores de referência, nota-se que as folhas apresentaram teor de cálcio um pouco acima do sugerido. Objetivando avaliar o efeito residual de doses crescentes de adubo fosfatado sobre os teores de nutrientes no girassol em sucessão ao algodoeiro, Silva et al. (2011b) verificaram teor de 54,1 g kg⁻¹ de cálcio nas folhas de girassol na maior dose testada (120 kg ha⁻¹ de P₂O₅). No entanto, Carvalho & Pissaia (2004) avaliando o efeito de doses crescentes de nitrogênio sobre o teor de nutrientes em plantas de girassol cultivadas sob plantio direto, observaram teor médio de 16,6 g kg⁻¹ de cálcio nas folhas das plantas.

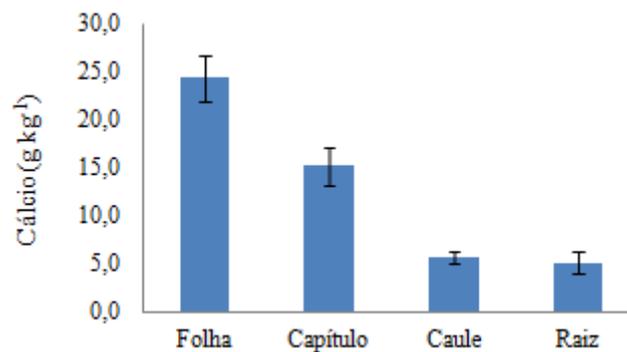


Figura 22 - Teor médio de cálcio nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.

Observando o teor médio de magnésio (Figura 23) nas plantas de girassol, nota-se que as folhas apresentaram teor de 5,5 g kg⁻¹, capítulo 2,5 g kg⁻¹, caule 1,9 g kg⁻¹ e raízes 1,6 g kg⁻¹. De acordo com Novais et al. (2007), os valores de referência para interpretação de

resultados de análise de tecido em plantas de girassol para o magnésio esta entre $9,0 \text{ g kg}^{-1}$ e $11,0 \text{ g kg}^{-1}$. Considerando esses valores de referência, nota-se que as folhas apresentaram teor de magnésio abaixo do sugerido. No entanto o teor encontrado está dentro da faixa considerada adequada por Rajj et al. (1997), que é de $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ e $8,0 \text{ g kg}^{-1}$. Em experimento com girassol em solução nutritiva, Prado & Leal (2006) verificaram que plantas cultivadas sem restrição nutricional apresentaram teor de $4,9 \text{ g kg}^{-1}$ de magnésio nas folhas. Carvalho & Pissaia (2004) objetivando avaliar o efeito de doses crescentes de nitrogênio sobre o teor de nutrientes em plantas de girassol cultivadas sob plantio direto, observaram teor médio de $4,8 \text{ g kg}^{-1}$ de magnésio nas folhas de girassol. No entanto Silva et al. (2011b) avaliando o efeito residual de doses crescentes de adubo fosfatado sobre os teores de nutrientes no girassol em sucessão ao algodoeiro, verificaram teor de $12,6 \text{ g kg}^{-1}$ de magnésio nas folhas de girassol na maior dose testada (120 kg ha^{-1} de P_2O_5).

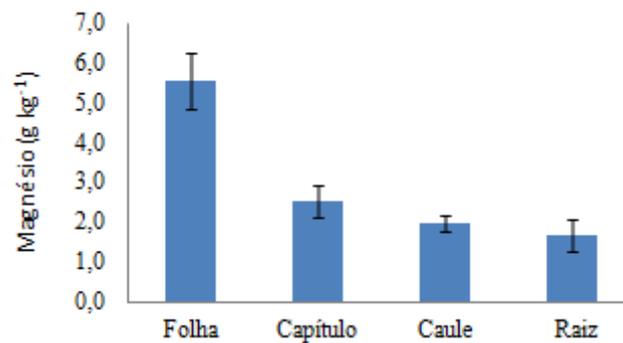


Figura 23 - Teor médio de magnésio nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.

Quanto ao teor médio de sódio (Figura 24) encontrado nas plantas de girassol, observa-se que as raízes apresentaram o maior teor ($9,5 \text{ g kg}^{-1}$) entre as partes das plantas analisadas. Nota-se que o teor apresentado pelo caule ($1,23 \text{ g kg}^{-1}$) foi maior que o teor apresentado pelas folhas ($0,19 \text{ g kg}^{-1}$) e capítulo ($0,04 \text{ g kg}^{-1}$). Segundo Tedesco et al. (1995), os valores de referência para interpretação de resultados de análise de tecido em plantas para o sódio está entre $0,01 \text{ g kg}^{-1}$ a $0,2 \text{ g kg}^{-1}$, podendo ser encontrados maiores valores em solos com grande quantidade de sais. Considerando esses valores de referência, nota-se que as folhas estão dentro do limite sugerido. Cultivando girassol em solo com cascalho de perfuração de poços de petróleo proveniente da etapa de recuperação do fluido denominado de centrifugação, Júnior (2012) verificou teor de sódio de $0,08 \text{ g kg}^{-1}$ nas folhas das plantas, $0,011 \text{ g kg}^{-1}$ no capítulo, $0,014 \text{ g kg}^{-1}$ no caule e $0,08 \text{ g kg}^{-1}$ nas raízes.

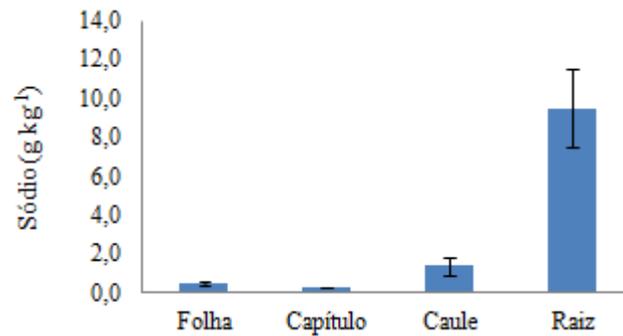


Figura 24 - Teor médio de sódio nas partes das plantas de girassol. As barras indicam o erro padrão da média.

Em síntese, os resultados encontrados indicam que o teor médio dos nutrientes analisados nas diferentes partes das plantas apresentou a seguinte ordem decrescente nas folhas e capítulo: N>K>Ca>Mg>P>Na; no caule a ordem verificada foi: K>N>Ca>Mg>Na>P; e raízes a ordem observada foi: Na>K>N>Ca>Mg>P.

De forma geral atenção especial deve ser dada na utilização dos resíduos torta e cascalho no cultivo de girassol, visto que os teores de magnésio e fósforo se apresentaram abaixo dos valores de referência e os teores de nitrogênio, potássio, cálcio e principalmente sódio apresentaram-se acima dos valores sugeridos, pois para um adequado desenvolvimento das plantas é necessário quantidades equilibradas de nutrientes no solo.

5.4. Efeitos dos resíduos sobre os pigmentos fotossintéticos das plantas de girassol

A análise de variância para o índice de clorofila *a*, nas plantas de girassol aos 57, 64 e 71 dias após a germinação, revelou não haver interação significativa ($p > 0,05$) entre os resíduos utilizados, não sendo possível afirmar que suas associações influenciaram nos pigmentos fotossintéticos das plantas de girassol (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores do quadrado médio da análise de variância da clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total (*a+b*) das plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) aos 57, 64 e 71 dias em função das doses de torta e cascalho (fontes de variação - FV/ coeficiente de variação - CV).

Dias	57			64			71		
	FV	clor <i>a</i>	clor <i>b</i>	clor tot (<i>a+b</i>)	clor <i>a</i>	clor <i>b</i>	clor tot (<i>a+b</i>)	clor <i>a</i>	clor <i>b</i>
Torta (T)	24,29*	49,29*	142,71*	17,41*	36,85*	418,18*	22,90*	22,01*	82,27*
Cascalho (C)	6,08*	17,82*	43,43*	21,74*	20,42*	78,99*	21,43*	16,69*	72,58*
T x C	2,95 ^{ns}	2,77 ^{ns}	9,33 ^{ns}	5,24 ^{ns}	4,81 ^{ns}	15,94 ^{ns}	5,24 ^{ns}	3,16 ^{ns}	8,68 ^{ns}
CV%	6,01	14,27	7,93	7,8	16,82	9,14	9,52	16,88	8,97

*: Fator de significância pelo teste F com 5 % de probabilidade; ^{ns}: não significativo.

Considerando o fato de não ter ocorrido interação entre os resíduos testados para o índice de clorofila *a*, nota-se que quando as doses crescentes de torta até a dose 4 Mg ha⁻¹ foram adicionadas ao solo ocorreu uma pequena redução do índice de clorofila *a* (Figura 25 A), seguido de um aumento quando as doses 8 Mg ha⁻¹ e 16 Mg ha⁻¹ de torta foram utilizadas.

Para o índice de clorofila *b* nas plantas de girassol (Figura 25 B), a análise de variância revelou o mesmo comportamento observado na clorofila *a*, não ocorrendo interação significativa entre os resíduos testados aos 57, 64 e 71 dias após a germinação. Assim como a clorofila *a*, o índice de clorofila *b* sofreu uma pequena redução com as doses crescentes de torta até a dose 4 Mg ha⁻¹, seguido de um aumento quando as doses 8 Mg ha⁻¹ e 16 Mg ha⁻¹ de torta foram adicionadas ao solo. Comportamento semelhante foi observado para o índice de clorofila total (*a+b*), mostrando não ter havido interação entre torta e cascalho aos 57, 64 e 71 dias após a germinação (Figura 25 C). Do mesmo modo que ocorrido para os índices de clorofila *a* e clorofila *b*, o índice de clorofila total (*a+b*) sofreu uma pequena redução com as doses crescentes de torta até a dose 4 Mg ha⁻¹, seguido de um aumento quando as doses 8 Mg ha⁻¹ e 16 Mg ha⁻¹ de torta foram adicionadas ao solo. Baseado no fato de ser o nitrogênio e o magnésio os principais elementos da estrutura molecular da clorofila, o aumento do índice de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofilas total (*a+b*) proporcionado nas doses 8 Mg ha⁻¹ e 16 Mg ha⁻¹ de torta, indicam o maior incremento desses nutrientes ao solo.

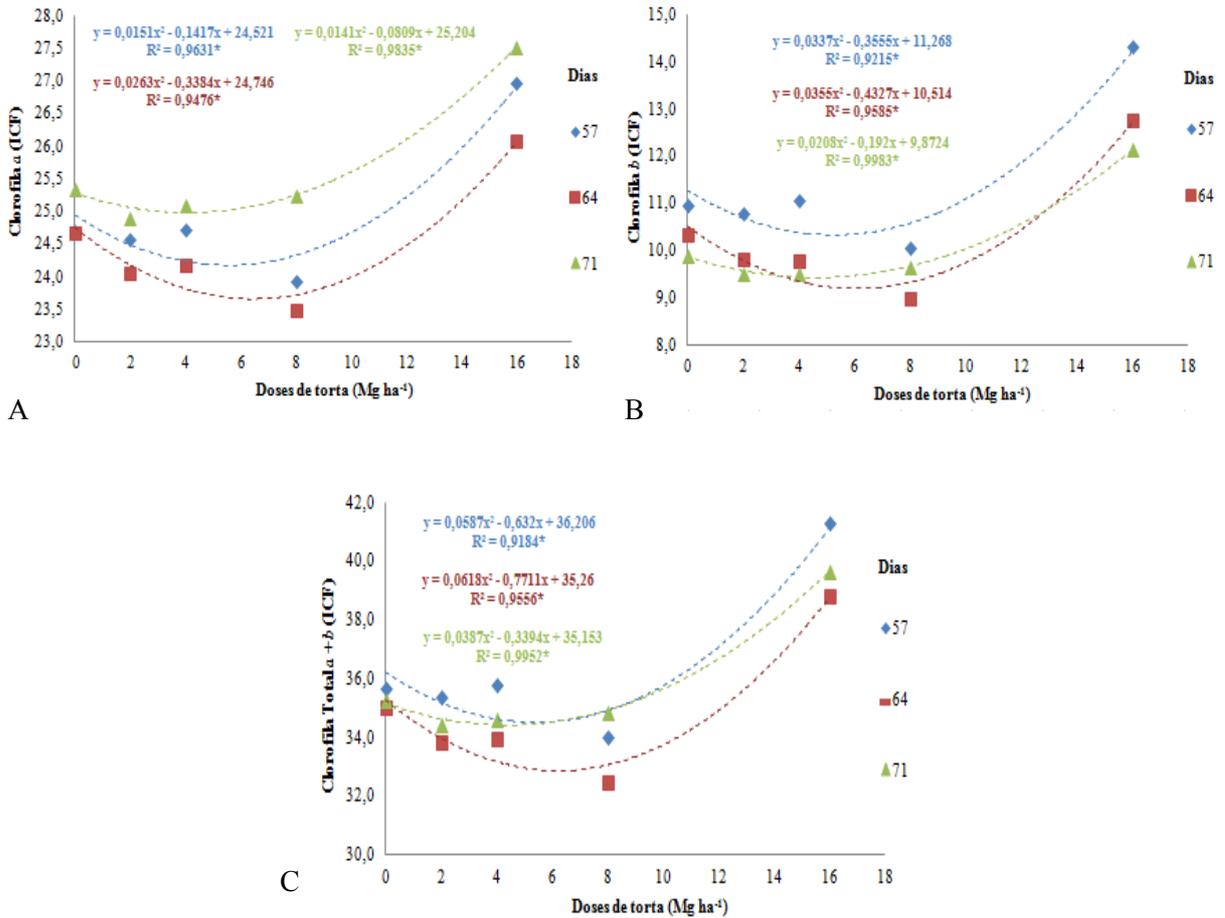


Figura 25 - Clorofila nas folhas das plantas de girassol durante o experimento (ICF - Índice de Clorofila Falker® - adimensional) em função das doses de torta: **A** - clorofila *a*; **B** - clorofila *b*; **C** - clorofila total (*a*+*b*). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Avaliando a composição química da torta (Tabela 1), nota-se uma grande quantidade de nitrogênio presente no resíduo, o qual foi potencializado com a adição das doses 8 Mg ha⁻¹ e 16 Mg ha⁻¹ de torta utilizadas, podendo ser observado na superfície de resposta o teor de nitrogênio total fornecido ao solo (Figura 28). A maior disponibilidade de magnésio trocável no solo também foi fortemente influenciada pela adição das doses crescentes de torta (Figura 34 A). Segundo Taiz & Zeiger (2004), a quantidade de clorofila presente nas plantas está diretamente relacionada com a quantidade de nitrogênio e magnésio disponibilizados para que se tenha uma taxa fotossintética satisfatória. Silva et al. (2010) cultivando girassol em solução nutritiva verificaram que proporções equilibradas de amônio e nitrato ocasionaram aumento na concentração de clorofila das plantas. Júnior (2009) cultivando capim tifton 85 verificou aumento significativo de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total (*a*+*b*) com o aumento de doses de nitrogênio. Resultados semelhantes foram observados por Argenta et al. (2001) em

cultivo de milho sob doses crescentes de nitrogênio, que verificou a elevação da clorofila das plantas a medida que as doses de nitrogênio aumentaram.

Devido à ausência de interação significativa entre os resíduos testados para os índices de clorofila (Tabela 5) aos 57, 64 e 71 dias após a germinação, nota-se que a adição ao solo de doses crescentes de cascalho até a dose 30 Mg ha⁻¹ proporcionou aumento do índice de clorofila *a* (Figura 26 A), seguida de uma redução quando as maiores doses de cascalho (45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹) foram utilizadas. Com relação ao índice de clorofila *b* nas plantas de girassol (Figura 26 B), a análise de variância mostrou comportamento semelhante ao da clorofila *a*, não ocorrendo interação significativa entre os resíduos testados aos 57, 64 e 71 dias após a germinação. Assim como a clorofila *a*, o índice de clorofila *b* aumentou à medida que as doses crescentes de cascalho foram adicionadas ao solo até a dose 30 Mg ha⁻¹, seguido de uma redução nas maiores doses de cascalho (45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹) utilizadas. O índice de clorofila total (*a+b*) nas plantas de girassol não se diferiu do ocorrido com o índice de clorofila *a* e clorofila *b*, não apresentando interação significativa entre os resíduos testados aos 57, 64 e 71 dias após a germinação (Figura 26 C). Assim como a clorofila *a* e clorofila *b*, o índice de clorofila total (*a+b*) apresentou aumento quando as doses crescentes de cascalho até a dose 30 Mg ha⁻¹ foram adicionadas ao solo, seguido de uma redução quando as maiores doses de cascalho (45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹) foram utilizadas. Santos (2004) constatou redução da clorofila em plantas de girassol irrigadas com água salina. Resultado semelhante foi verificado por Cavalcante et al. (2011) no cultivo de maracujá sob doses crescentes de salinidade, que observaram a redução da clorofila quando as plantas foram submetidas as maiores doses de salinidade.

Portanto, quando as plantas de girassol foram submetidas às maiores doses de cascalho (45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹) as mesmas, apresentaram maior teor de sódio (Figura 13 A), o que comprometeu a intensidade fotossintética, causando uma redução do índice de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total (*a+b*). Segundo Taiz & Zeiger (2004), o estresse salino pode acarretar em acúmulo excessivo de sais nos tecidos vegetais, onde as plantas para reduzir a perda de água pela transpiração fecham os estômatos diminuindo o processo fotossintético e conseqüentemente o índice de clorofila.

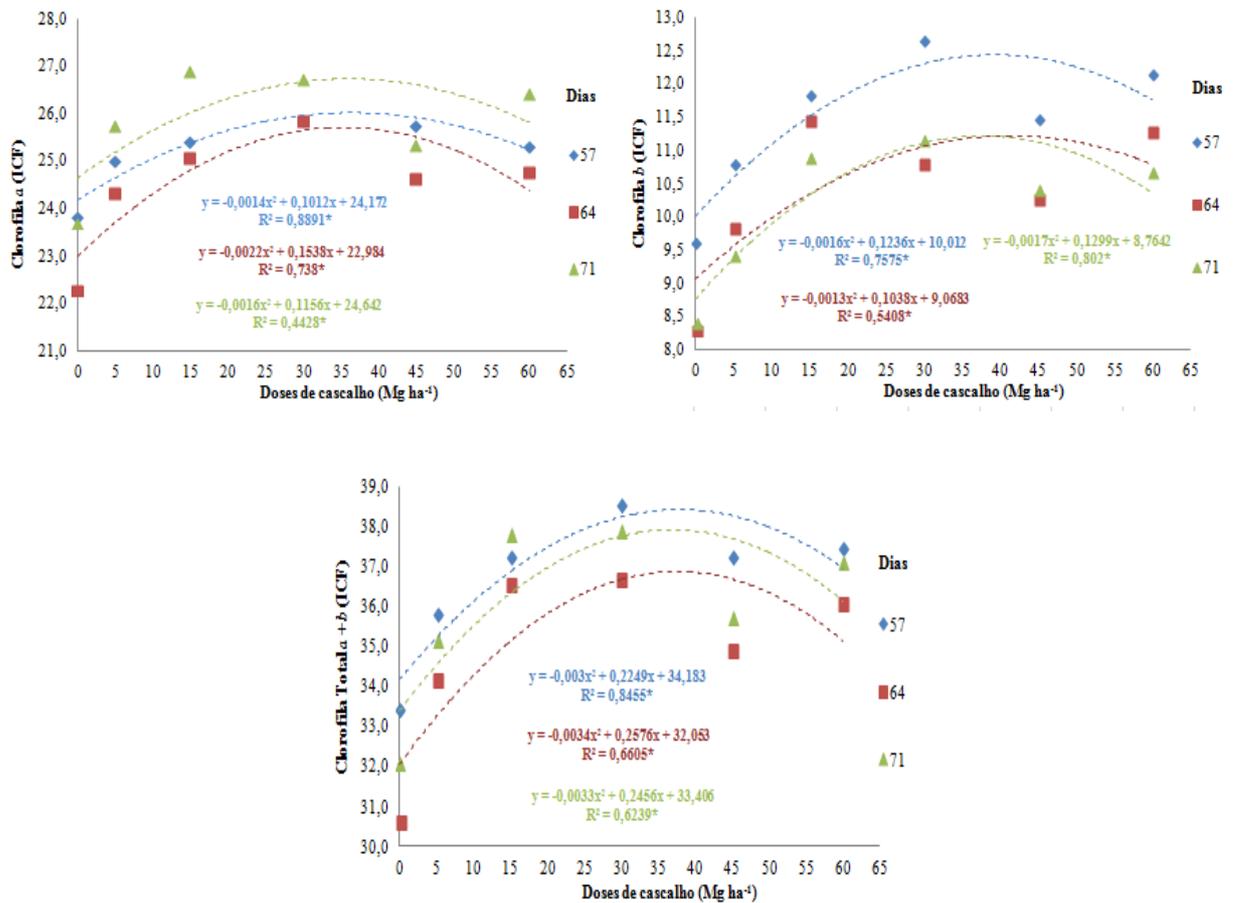


Figura 26 - Clorofila nas folhas das plantas de girardin durante o experimento (ICF - Índice de Clorofila Falker® - adimensional) em função das doses de cascalho: A - clorofila a; B - clorofila b; C - clorofila total (a+b). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Observa-se ainda que os índices de clorofila oscilaram entre os dias analisados. Nota-se que o índice de clorofila a, clorofila b e clorofila total (a+b) nas plantas tanto para a torta quanto para o cascalho apresentaram-se menores aos 64 dias se comparado aos 57 e 71 dias após a germinação. Estas oscilações possivelmente estão relacionadas às temperaturas verificadas durante os dias que foram tomadas as leituras. Sendo que aos 64 dias a temperatura verificada foi inferior aos 57 e 71 dias após a germinação (Figura 5).

Segundo Taiz & Zeiger (2004), a temperatura influencia diretamente as reações bioquímicas da fotossíntese, onde a temperatura mais baixa induz a menor taxa respiratória e consequentemente a uma eficiência fotossintética reduzida, ao contrário de temperaturas mais elevadas, que promovem maiores taxas respiratória e fotossintética nas plantas. Apenas quando as temperaturas ultrapassam a denominada temperatura ótima de desenvolvimento é que são observados efeitos negativos ao sistema fotossintético. De modo geral, a elevação de 10 °C na temperatura pode duplicar a velocidade das reações químicas durante o processo de

fotossíntese. Entretanto, a partir de temperaturas próximas a 40 °C pode começar a ocorrer desnaturação enzimática, e a velocidade das reações tende a diminuir.

Em síntese, a maior dose de torta (16 Mg ha⁻¹) proporcionou maior índice de clorofila nas plantas de girassol aos 57, 64 e 71 dias após a germinação. No entanto no cascalho a dose intermediária (30 Mg ha⁻¹) favoreceu maior índice de clorofila nas plantas de girassol aos 57, 64 e 71 dias após a germinação.

5.5. Efeitos dos resíduos no solo após o cultivo de girassol

Verifica-se por meio da superfície de resposta (Figura 27), que o aumento de matéria orgânica no solo após o cultivo de girassol foi grandemente proporcionado pela adição de torta de girassol.

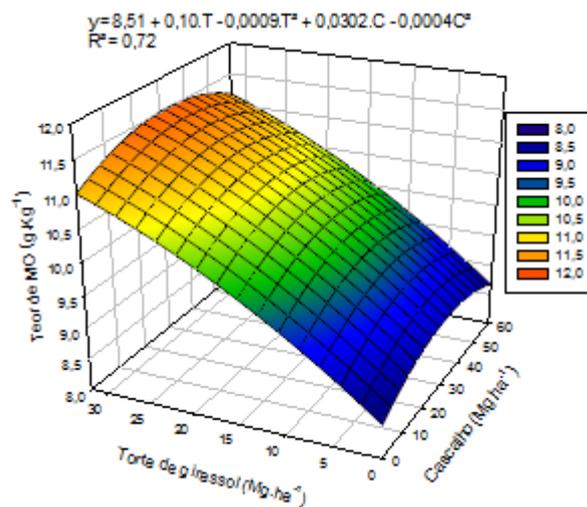


Figura 27 - Teor de MO no solo (g kg⁻¹) após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade de erro.

Nota-se que quando as doses de cascalho foram associadas a doses crescentes de torta ocorreu um aumento no teor de matéria orgânica no solo. Resultados semelhantes foram verificados em cultivo de girassol por Gabos et al. (2011), que observaram aumento no teor de matéria orgânica no solo a medida que foram adicionadas doses crescentes de torta de filtro, apresentando o maior teor de matéria orgânica quando adicionado a maior dose testa (80 Mg ha⁻¹). Júnior et al. (2011), verificaram o aumento do teor de matéria orgânica no solo quando foram adicionadas doses crescentes de torta de filtro no cultivo de cana-de-açúcar. Silva et al. (2012), cultivando mamona com torta de mamona PDS “in natura”, observaram elevação do teor de matéria orgânica no solo a medida que doses crescentes do resíduo foram adicionadas.

Observou-se com o passar dos dias a formação de uma camada superficial de cor escura nos vasos de todos os tratamentos que continham a dose 32 Mg ha⁻¹ de torta. Essa camada superficial de cor escura formada na superfície dos vasos possivelmente ocorreu devido à acidez presente na torta (Tabela 1) ter sido potencializada quando foi adicionado ao solo a dose 32 Mg ha⁻¹, o que promoveu uma menor elevação do pH, inibindo a germinação das plantas, visto que o maior acúmulo de matéria orgânica no solo pode resultar em sua acidificação (MEURER, 2000).

Provavelmente a camada de cor escura formada na superfície dos vasos dos tratamentos que continham a dose 32 Mg ha⁻¹ de torta proporcionou um maior aquecimento do substrato devido às altas temperaturas observadas durante o experimento (Figura 5), contribuindo para a ausência de germinação das plantas.

Com o incremento de matéria orgânica (torta) no solo em doses crescentes, esperava-se um aumento correspondente do teor de nitrogênio, porém ocorreu um aumento proporcional de nitrogênio até a dose 16 Mg ha⁻¹ de torta, seguido de uma redução do teor de nitrogênio quando adicionado ao solo a dose 32 Mg ha⁻¹ de torta, ou seja, a maior dose de torta testada (Figura 28).

Esta redução do teor de nitrogênio na maior dose de torta (32 Mg ha⁻¹) possivelmente ocorreu devido a grande quantidade de matéria orgânica (torta) fornecida ao solo, que por sua vez possui grande capacidade de retenção de água, associada a irrigação e as altas temperaturas registradas durante o período experimental, proporcionou a ocorrência de volatilização de parte do nitrogênio, visto que em condições de decomposição anaeróbica o nitrogênio pode ser reduzido a óxido nitroso, o qual é um gás volátil (MEURER, 2000; RAIJ, 2011).

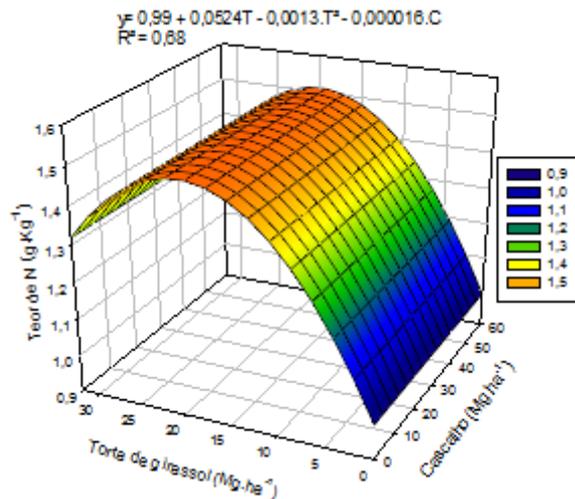


Figura 28 - Teor de N no solo (g kg^{-1}) após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Os teores de alumínio trocável, acidez potencial e valor de pH no solo após o cultivo de girassol são apresentados na Figura 29. Observa-se o efeito positivo da associação das doses crescentes de cascalho às doses crescentes de torta, na redução do teor de alumínio trocável (Figura 29 A). Apesar dos baixos teores apresentados, nota-se que apenas as menores doses de cascalho (0 Mg ha^{-1} , 5 Mg ha^{-1} e 15 Mg ha^{-1}) associadas as doses de torta apresentaram alumínio trocável. À medida que as menores doses de cascalho (0 Mg ha^{-1} , 5 Mg ha^{-1} e 15 Mg ha^{-1}) foram associadas as doses crescentes de torta o teor de alumínio trocável no solo reduziu, visto que o alumínio do solo pode ser complexado pelas substâncias húmicas da matéria orgânica (MEURER, 2000; NOVAIS et al., 2007). Somente o tratamento controle (0 Mg ha^{-1} de torta x 0 Mg ha^{-1} de cascalho) apresentou maior teor de alumínio trocável. Resultados semelhantes foram verificados por Júnior et al. (2011) no cultivo de cana-de-açúcar, que observaram redução gradual do teor de alumínio trocável no solo com a adição de doses crescentes de torta de filtro.

O benefício da associação entre torta e cascalho também pode ser observado na consequente redução da acidez potencial do solo, que diminuiu quando as doses de torta foram associadas às doses crescentes de cascalho (Figura 29 B).

A redução do teor de alumínio trocável e da acidez potencial do solo à medida que as doses de torta foram associadas às doses crescentes de cascalho é compreensível pelo fato de que o cálcio e magnésio presente nos resíduos (torta e cascalho) favoreceram a neutralização do alumínio e dos íons de hidrogênio presentes no solo, o que promoveu o aumento do pH no solo (Figura 29 C).

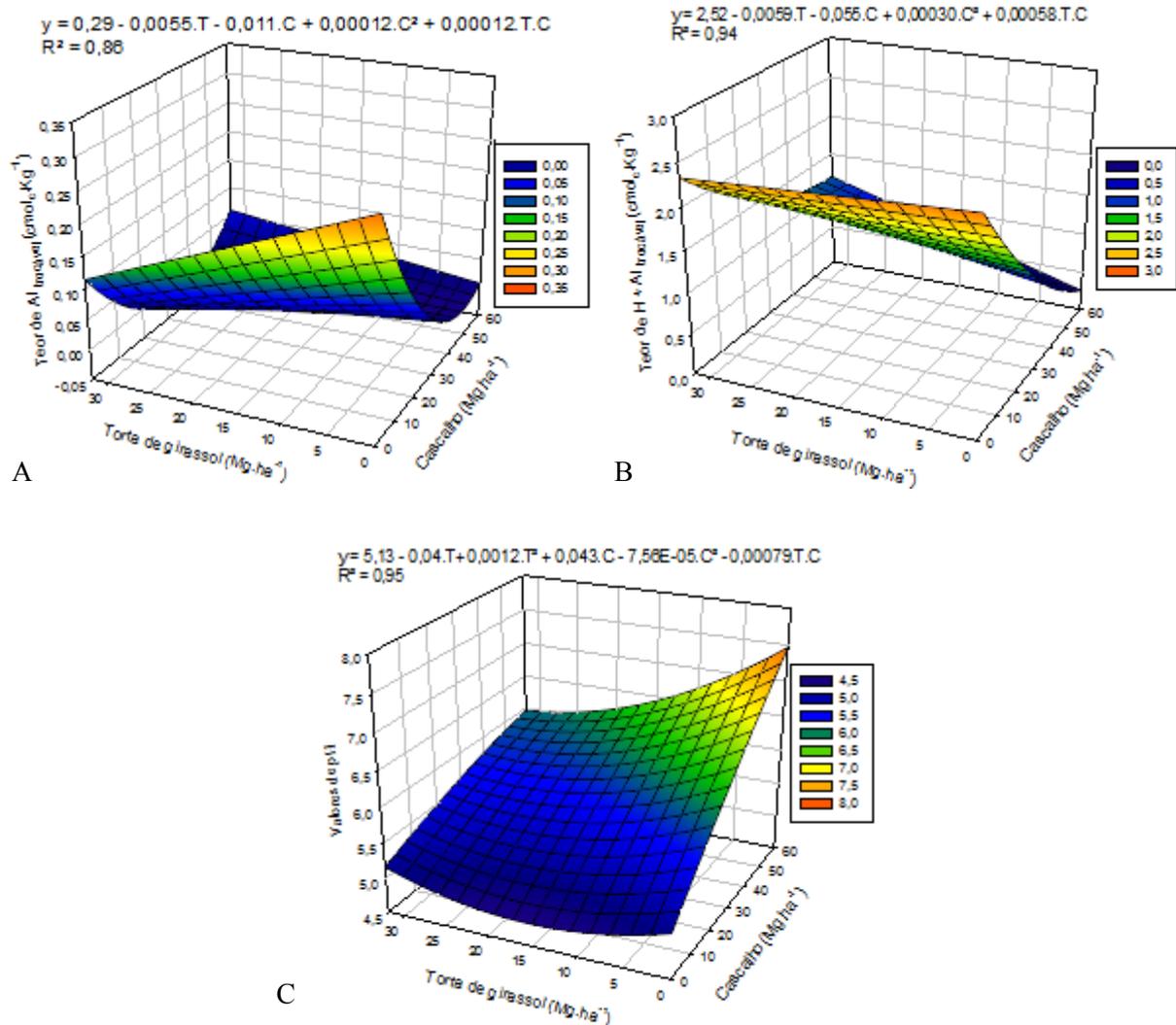


Figura 29 - Valor de $pH_{\text{água}}$ e teores trocáveis de Al e H+Al no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: **A** - alumínio trocável ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); **B** - acidez potencial ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); **C** - potencial hidrogeniônico. Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Nota-se que o pH no solo se elevou em maior proporção quando as menores doses de torta (0 Mg ha^{-1} , 2 Mg ha^{-1} , 4 Mg ha^{-1} e 8 Mg ha^{-1}) foram associadas as maiores doses de cascalho (30 Mg ha^{-1} , 45 Mg ha^{-1} e 60 Mg ha^{-1}). Esta maior elevação do pH no solo foi proporcionada possivelmente devido a maior adição de cálcio, magnésio e sódio presente nas maiores doses de cascalho (30 Mg ha^{-1} , 45 Mg ha^{-1} e 60 Mg ha^{-1}), visto que teores apreciáveis de carbonato de sódio no solo contribuem para o pH alcançar valores elevados (MEURER, 2000). Observa-se ainda, que o pH pouco se elevou quando as doses de torta foram associadas as menores doses de cascalho (0 Mg ha^{-1} , 5 Mg ha^{-1} e 15 Mg ha^{-1}), isto possivelmente devido a presença de alumínio e acidez potencial nestas associações que não foram neutralizados pela quantidade de cálcio e magnésio fornecidas nas menores doses de cascalho (0 Mg ha^{-1} , 5 Mg ha^{-1} e 15 Mg ha^{-1}). Quando as maiores doses de torta (8 Mg ha^{-1} , 16 Mg ha^{-1} e 32 Mg ha^{-1})

foram associadas as doses crescentes de cascalho o pH se elevou levemente, pela adição de cálcio e magnésio presentes no cascalho. Essas menores elevações do pH no solo em virtude das maiores doses de torta, possivelmente ocorreu devido a matéria orgânica apresentar maior resistência a mudança de pH, denominado de poder tampão (MEURER, 2000). A associação entre as menores doses de torta (2 Mg ha⁻¹, 4 Mg ha⁻¹ e 6 Mg ha⁻¹) e as maiores doses de cascalho (30 Mg ha⁻¹, 45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹) apresentaram valores de pH que podem ser interpretados como neutro a moderadamente alcalino, de acordo com os valores indicados por Freire et al. (2013) para interpretação de pH no solo. Cultivando girassol em condições de campo, Morais et al. (2011) observaram que o aumento da concentração de sais no solo provocado pela água de irrigação promoveu pequeno aumento no valor de pH do solo. Em estudo com girassol cultivado com resíduos orgânicos, Gabos et al. (2011) constataram pequeno aumento do pH do solo a medida que doses crescentes de resíduos foram adicionadas. Resultados distintos foram observados por Ribeirinho et al. (2012), que não verificaram aumento no valor de pH no solo após o cultivo de girassol com doses crescentes de lodo de esgoto, uma vez que o resíduo utilizado apresentava baixo teor de cálcio.

Para o teor de fósforo trocável do solo (Figura 30 A), observa-se um aumento exponencial quando as doses crescentes de cascalho foram associadas às doses crescentes de torta, o que proporcionou um grande acúmulo de fósforo, principalmente na dose 32 Mg ha⁻¹ de torta associada a todas as doses de cascalho. É importante ressaltar que os tratamentos com a dose 32 Mg ha⁻¹ de torta associada a todas as doses de cascalho não apresentaram germinação das plantas, portanto não havendo a retirada do nutriente, o que elevou grandemente o teor de fósforo na associação da dose 60 Mg ha⁻¹ de cascalho com a dose 32 Mg ha⁻¹ de torta. Dentre os tratamentos que ocorreu germinação das plantas, observa-se que todas as doses de cascalho associadas com as doses 8 Mg ha⁻¹ e 16 Mg ha⁻¹ de torta apresentaram teores de fósforo trocável interpretados como muito alto, de acordo com os valores estabelecidos por Freire et al. (2013) para interpretação de fósforo no solo. Apenas o tratamento controle (0 Mg ha⁻¹ de torta x 0 Mg ha⁻¹ de cascalho) apresentou teor de fósforo considerado baixo, visto que sem a adição dos resíduos a planta utilizou-se do nutriente presente no solo para seu desenvolvimento. As demais associações apresentaram valores considerados entre médios a altos. Dentre os tratamentos que ocorreu a germinação de plantas, a associação entre a dose 16 Mg ha⁻¹ de torta e 60 Mg ha⁻¹ de cascalho apresentou maior teor de fósforo trocável no solo. Os teores elevados de fósforo trocável no solo após o cultivo de girassol decorreram do teor de fósforo presente no cascalho (Tabela 2) e principalmente na torta de girassol (Tabela 1), que foi potencializado quando se associou

doses crescentes de torta a doses crescentes de cascalho. Segundo Martinazzo et al. (2007), grande parte do fósforo disponível as plantas é originário dos resíduos orgânicos adicionados ao solo e da decomposição da biomassa microbiana. Estes resultados corroboram com Gabos et al. (2011), que cultivando girassol sob doses crescentes de torta de filtro observaram um aumento exponencial do teor de fósforo no solo após o cultivo. Resultados semelhantes foram verificados por Ribeirinho et al. (2012) ao final do cultivo de girassol sob diferentes doses de lodo de esgoto. Silva et al. (2011 b) estudando o efeito residual da aplicação de fósforo na produtividade do girassol em sucessão ao algodoeiro, verificaram aumento no teor de fósforo trocável no solo após o cultivo.

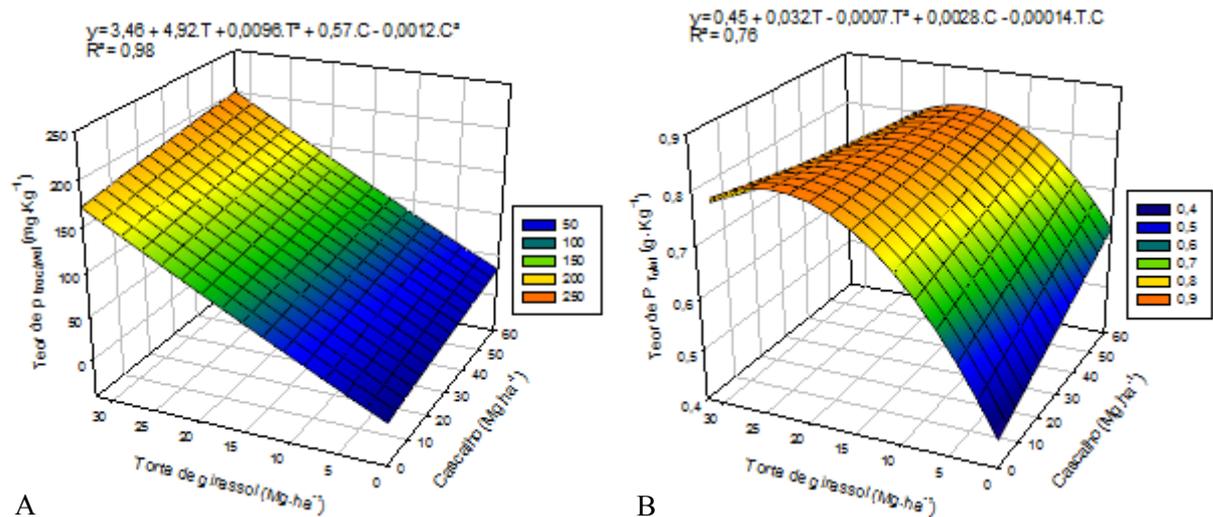


Figura 30 - Teor trocável e total de P no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: **A** - fósforo trocável (mg kg⁻¹); **B** - fósforo total (g kg⁻¹). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Observa-se que ocorreu um aumento no teor de fósforo total (Figura 30 B) no solo com a associação das doses de cascalho com as doses crescentes de torta. Nota-se que o teor de fósforo total no solo obteve um maior incremento quando as doses de cascalho foram associadas às maiores doses de torta (16 Mg ha⁻¹ e 32 Mg ha⁻¹). Este maior incremento do teor de fósforo total no solo com as maiores doses de torta (16 Mg ha⁻¹ e 32 Mg ha⁻¹), ocorreu possivelmente devido ao maior fornecimento de matéria orgânica (torta), a qual possui uma lenta liberação de fósforo disponível as plantas (NOVAIS et al., 2007; RAIJ, 2011), além da maior acidez encontrada nesses tratamentos, visto que solos mais ácidos apresentam teores médios a altos de fósforo total, devido à adsorção específica do fósforo nas superfícies dos óxidos de alumínio e ferro (MEURER, 2000), podendo grande parte do fósforo presente no

solo não estar prontamente disponível as plantas (RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2003).

Quanto ao potássio trocável (Figura 31 A) encontrado no solo após o cultivo de girassol, nota-se um aumento do teor quando as doses de cascalho foram associadas às doses crescentes de torta. Observa-se ainda que o maior teor de potássio trocável encontrado ocorreu na associação das doses cascalho com a maior dose de torta testada (32 Mg ha^{-1}). Porém, destaca-se que os tratamentos com a dose 32 Mg ha^{-1} de torta associada a todas as doses de cascalho não apresentaram germinação das plantas, portando não havendo a absorção do nutriente. Dentre os tratamentos que apresentaram germinação das plantas, as doses de cascalho associadas com a dose 16 Mg ha^{-1} de torta apresentaram os maiores teores de potássio trocável, apresentando valores que podem ser interpretados como altos de acordo com os valores estabelecidos por Freire et al. (2013) para interpretação de potássio no solo. É importante ressaltar, que durante o cultivo foi realizada uma adubação com cloreto de potássio na proporção equivalente a 80 kg ha^{-1} de K_2O , de acordo com o indicado para a cultura de girassol por Freire et al. (2013).

Travassos et al. (2011) verificaram resultados semelhantes para o teor de potássio no solo após o cultivo de girassol da variedade Embrapa 122/V-2000. Cultivando cana-de-açúcar em doses crescentes de torta de filtro, Júnior et al. (2011) verificaram o aumento do teor de potássio no solo a medida que as doses crescentes do resíduo foram adicionadas. Ribeirinho et al. (2012) observaram após o cultivo de girassol com lodo de esgoto, que o teor de potássio no solo aumentou com a adição de doses crescentes do resíduo.

O teor de potássio total (Figura 30 B) encontrado no solo após o cultivo de girassol apresentou aumento quando as doses crescentes de cascalho foram associadas às doses crescentes de torta. Nota-se que a associação entre a maior dose de torta (32 Mg ha^{-1}) com as maiores doses de cascalho (45 Mg ha^{-1} e 60 Mg ha^{-1}) apresentaram maior teor de potássio total.

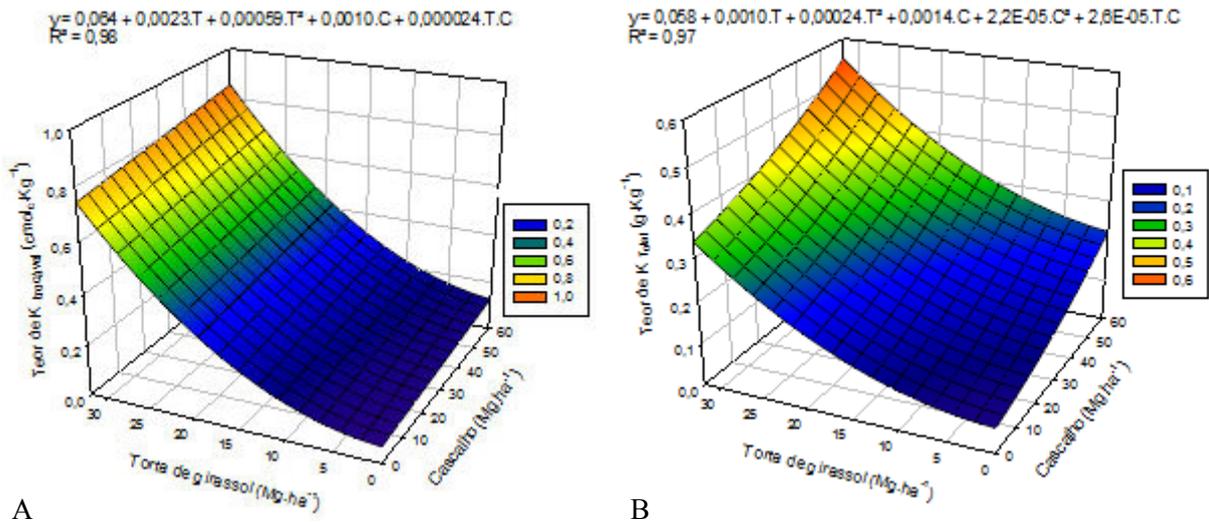


Figura 31 - Teor trocável e total de K no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: **A** - potássio trocável ($\text{Cmol}_c \text{kg}^{-1}$); **B** - potássio total (g kg^{-1}). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

O teor de sódio trocável no solo (Figura 32 A) após o cultivo de girassol apresentou uma pequena redução quando as doses de cascalho foram associadas à dose 16 Mg.ha^{-1} de torta, ou seja, até a dose de torta onde ocorreu germinação de plantas, mostrando ter havido maior absorção deste elemento pelas plantas, tanto na parte aérea (Figura 13 A) quanto nas raízes (Figura 13 B). Nota-se que quando as doses de torta foram associadas às maiores doses de cascalho (45 Mg.ha^{-1} e 60 Mg.ha^{-1}), o teor de sódio trocável no solo apresentou-se mais elevado. Isto poderia explicar o baixo desenvolvimento de altura das plantas (Figura 9) e diâmetro do caule (Figura 10), além da redução de massa seca da parte aérea (Figura 11) das plantas nas maiores doses de cascalho testadas (45 Mg.ha^{-1} e 60 Mg.ha^{-1}). Resultados semelhantes foram constatados por Freitas (2013), que cultivando girassol em planossolo com cascalho de perfuração, observou aumento no teor de sódio trocável no solo na maior dose testada (32 Mg ha^{-1}) e conseqüentemente maior teor do elemento na planta o que promoveu um menor crescimento. Travassos et al. (2011) observaram aumento no teor de sódio após o cultivo de girassol em resíduo orgânico irrigado com água salobra.

Com relação ao teor de sódio total (Figura 32 B) encontrado no solo, observa-se que o aumento das doses crescentes de cascalho favoreceu o maior acúmulo do elemento no solo após o cultivo. Estes resultados mostram a importância da quantificação das doses a serem aplicadas ao solo, visto que o elevado teor de sódio no solo limita o crescimento das plantas (MEURER, 2000). Conforme Novais et al. (2007) relata, resíduos com maiores concentrações de sódio pode inibir o crescimento vegetal por meio de estresse osmótico, devido a água se

mover da planta para a solução do solo. Apesar dos efeitos indesejáveis causados pelo sódio, ele pode substituir o potássio em funções osmóticas e metabólicas nas quais não seja exigência absoluta de potássio (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

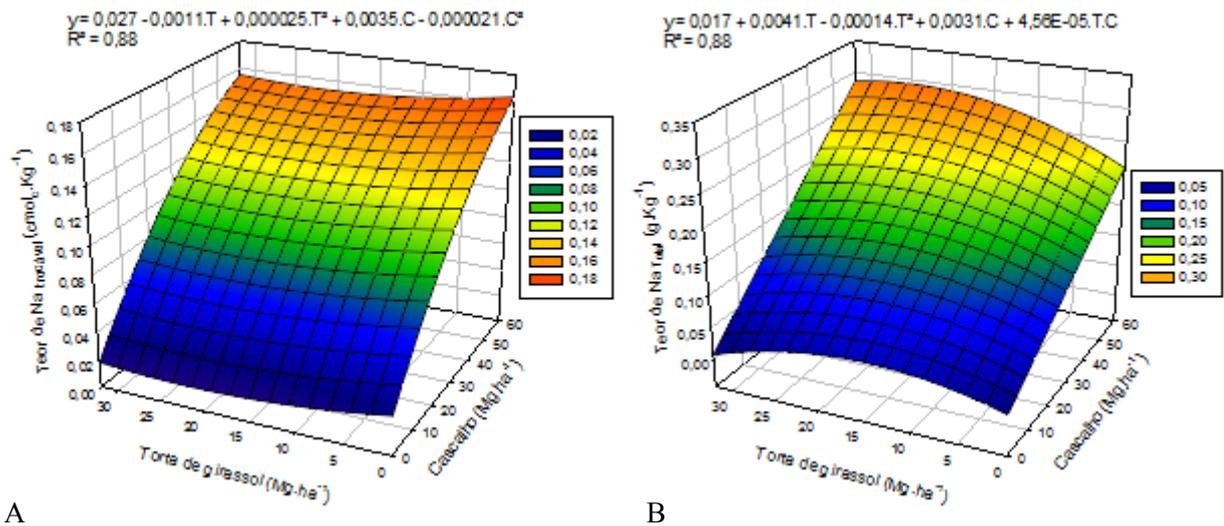


Figura 32 - Teor trocável e total de Na no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: **A** - sódio trocável (Cmol_c kg⁻¹); **B** - sódio total (g kg⁻¹). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

O teor de cálcio trocável (Figura 33 A) no solo apresentou aumento em função da associação de doses crescentes de cascalho as doses crescentes de torta. Percebe-se que o maior teor de cálcio trocável no solo foi encontrado nas associações das maiores doses de cascalho (45 Mg.ha⁻¹ e 60 Mg.ha⁻¹) com as maiores doses de torta (16 Mg.ha⁻¹ e 32Mg.ha⁻¹). É importante ressaltar que os tratamentos com a dose 32 Mg.ha⁻¹ de torta associada a todas as doses de cascalho não apresentaram germinação das plantas, não ocorrendo a extração do cálcio trocável. Dentre os tratamentos que apresentaram a germinação das plantas, a dose 16 Mg.ha⁻¹ de torta associada a dose 45 Mg.ha⁻¹ de cascalho apresentou o teor mais elevado de cálcio trocável. O aumento do teor de cálcio trocável em função da adição de cascalho e torta ao solo possibilitou a redução dos teores de alumínio (Figura 29 A) e acidez potencial (Figura 29 B), permitindo assim consequentemente o aumento do pH (Figura 29 C), o que favorece o desenvolvimento do sistema radicular e a absorção dos nutrientes pelas plantas (VITTI, 2006; RAIJ, 2011). Silva et al. (2011b) avaliando o desenvolvimento de girassol em sucessão ao algodoeiro, verificaram aumento no teor de cálcio trocável no solo após o cultivo. Júnior et al. (2011) verificaram que o teor de cálcio no solo aumentou a medida em que foram adicionadas doses crescentes de torta de filtro ao solo no cultivo de cana-de-açúcar. Resultados distintos

foram observados por Ribeirinho et al. (2012), que não verificaram aumento no teor de cálcio no solo após o cultivo de girassol com lodo de esgoto, uma vez que o resíduo utilizado apresentava baixo teor do nutriente.

Observa-se que o teor de cálcio total (Figura 33 B) no solo foi favorecido principalmente em função do aumento das doses de cascalho, apresentando os maiores valores quando as doses de torta foram associadas com as doses 45 Mg.ha⁻¹ e 60 Mg.ha⁻¹ de cascalho.

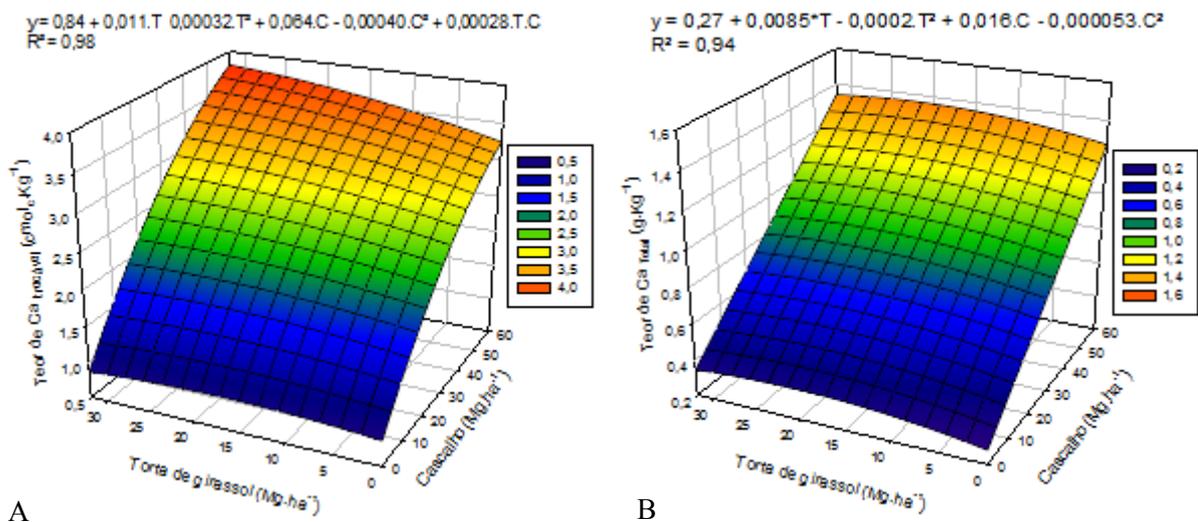


Figura 33 - Teor trocável e total de Ca no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: **A** - cálcio trocável (Cmol_c kg⁻¹); **B** - cálcio total (g kg⁻¹). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

A superfície de resposta (Figura 34 A) mostra o efeito benéfico da associação dos resíduos torta e cascalho sobre o aumento de magnésio trocável presente no solo após o cultivo de girassol. Quando as doses de torta foram associadas a doses crescentes de cascalho até a dose 45 Mg.ha⁻¹, ocorreu um aumento do teor de magnésio trocável no solo, seguido de uma redução de magnésio quando as doses de torta foram associadas a maior dose de cascalho (60 Mg.ha⁻¹). É importante ressaltar que os tratamentos com a dose 32 Mg.ha⁻¹ de torta não apresentaram germinação das plantas, não havendo portanto a extração do nutriente do solo. Dentre os tratamentos que apresentaram germinação de plantas, a dose 16 Mg.ha⁻¹ de torta associada a dose 45 Mg.ha⁻¹ de cascalho proporcionaram um maior teor de magnésio trocável no solo após o cultivo de girassol. Resultados semelhantes foram verificados por Júnior et al. (2011), que observaram aumento no teor de magnésio trocável no solo cultivado com cana-de-açúcar conforme doses crescentes de torta de filtro foram adicionadas ao solo. Silva et al. (2011b) estudando a produtividade de girassol em sucessão ao algodoeiro, verificaram

aumento no teor de magnésio no solo após o cultivo. Resultados distintos foram verificados no cultivo de girassol com lodo de esgoto por Ribeirinho et al. (2012), que não verificaram aumento no teor de magnésio no solo após o cultivo, uma vez que o resíduo utilizado apresentava baixo teor do nutriente.

Para o magnésio total (Figura 43 B) presente no solo após o cultivo de girassol, nota-se que foi fortemente influenciado pela adição de cascalho. O maior teor de magnésio total apresentou-se quando as maiores doses de cascalho (45 Mg.ha⁻¹ e 60 Mg.ha⁻¹) foram associadas com as maiores doses de torta (16 Mg.ha⁻¹ e 32 Mg.ha⁻¹).

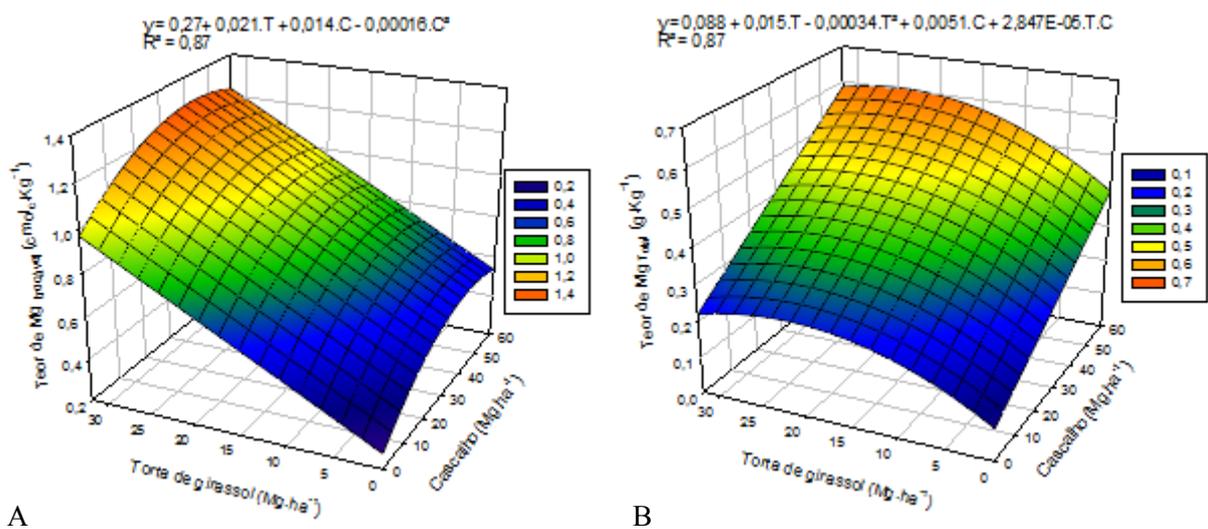


Figura 34 - Teor trocável e total de Mg no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: **A** - magnésio trocável (Cmol_c kg⁻¹); **B** - magnésio total (g kg⁻¹). Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Com relação à soma de bases trocáveis (Figura 35) no solo após o cultivo de girassol, nota-se que apresentou aumento quando doses crescentes de torta foram associadas a doses crescentes de cascalho. Este aumento se deu principalmente em função das doses crescentes de cascalho, influenciando positivamente o maior acúmulo de bases trocáveis no solo como cálcio e sódio; e a torta contribuindo, não menos importante com maior teor de magnésio e potássio. É importante ressaltar que apesar do cascalho apresentar um considerável teor de sódio, apenas uma pequena quantidade trocável foi observada após o cultivo das plantas, visto que o teor total de sódio no solo (Figura 32 B) apresentou-se maior que os trocáveis (Figura 32 A). Portanto, dentre os cátions que compõe a soma de bases ($S = Ca + Mg + Na + K$), o sódio trocável foi o elemento que menos contribuiu para a somatória. Com isso, reforça-se que a soma de bases foi composta em maior parte por cátions em que as plantas mais

demandam. Ainda observando superfície de resposta (Figura 35), nota-se que o maior valor de soma de bases ocorreu quando a maior dose de torta (32 Mg ha⁻¹) foi associada as maiores doses de cascalho (45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹). Ressaltando que os tratamentos com a dose 32 Mg ha⁻¹ de torta associadas a todas as doses de cascalho não apresentaram germinação de plantas, não havendo por tanto a extração de nutrientes do solo, o que proporcionou uma maior soma de bases. Dentre os tratamentos que apresentaram germinação de plantas, a associação da dose 16 Mg ha⁻¹ de torta e 60 Mg ha⁻¹ de cascalho apresentou maior soma de bases trocáveis. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2012) no cultivo de mamona com torta de mamona PDS “in natura”, que verificaram aumento linear na soma de bases do solo com a adição de doses crescentes do resíduo. Freitas (2013) cultivando girassol em planossolo com cascalho de perfuração verificou aumento da soma de bases trocáveis quando adicionou a maior dose testada ao solo (32 Mg ha⁻¹). Cultivando milho em doses crescentes de material orgânico (lodo de esgoto), Simonete et al. (2003) observaram aumento linear da soma de bases, obtendo maior valor na dose equivalente a 50 Mg ha⁻¹ do resíduo.

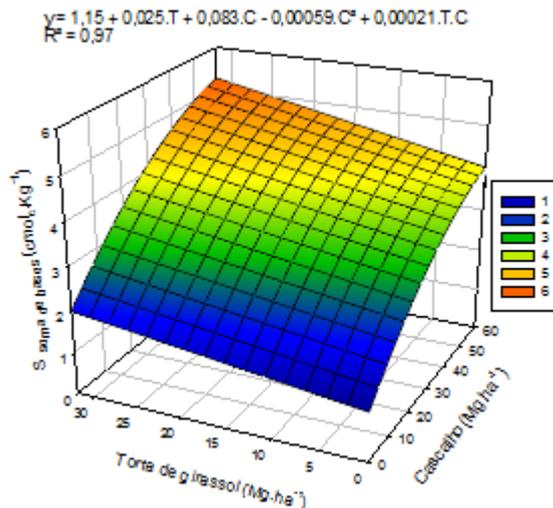


Figura 35 - Valor de soma de bases trocáveis (Cmolc kg⁻¹) no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Quanto à capacidade de troca de cátions (Figura 36) no solo após o cultivo de girassol, observa-se que ocorreu um aumento à medida que as doses crescentes de torta foram associadas às doses crescentes de cascalho. Quando as maiores doses de cascalho (30 Mg ha⁻¹, 45 Mg ha⁻¹, 60 Mg ha⁻¹) foram associadas as menores doses de torta (0 Mg ha⁻¹, 2 Mg ha⁻¹, 4 Mg ha⁻¹, 8 Mg ha⁻¹) a capacidade de troca de cátions pouco se elevou, possivelmente devido a menor acidez potencial apresentada nessas associações, visto que a capacidade de troca de

cátions é expressa pela soma de bases trocáveis mais a acidez potencial ($CTC = S + (H + Al)$).

Nota-se ainda que a dose 32 Mg ha^{-1} de torta associada a dose 60 Mg ha^{-1} de cascalho apresentou o maior valor de capacidade de troca de cátions. É importante ressaltar que os tratamentos com a dose 32 Mg ha^{-1} de torta associadas a todas as doses de cascalho não apresentaram germinação de plantas, não ocorrendo portanto a absorção de nutrientes, o que proporcionou o maior valor verificado. Dentre os tratamentos que apresentaram germinação de plantas, a dose 16 Mg ha^{-1} de torta associada a dose 60 Mg ha^{-1} de cascalho proporcionou o maior valor de capacidade de troca de cátions. Apenas o tratamento controle (0 Mg ha^{-1} de torta x 0 Mg ha^{-1} de cascalho) apresentou o menor valor de capacidade de troca de cátions. Estes resultados são corroborados por Simonete et al. (2003), que cultivando milho em doses crescentes de material orgânico (lodo de esgoto), constataram elevação da capacidade de troca de cátions no solo a medida que doses crescentes do resíduo foram adicionadas. Silva et al. (2012) cultivando mamona, verificaram aumento da capacidade de troca de cátions no solo a medida que doses crescentes de torta de mamona PDS “in natura” foram adicionadas ao solo.

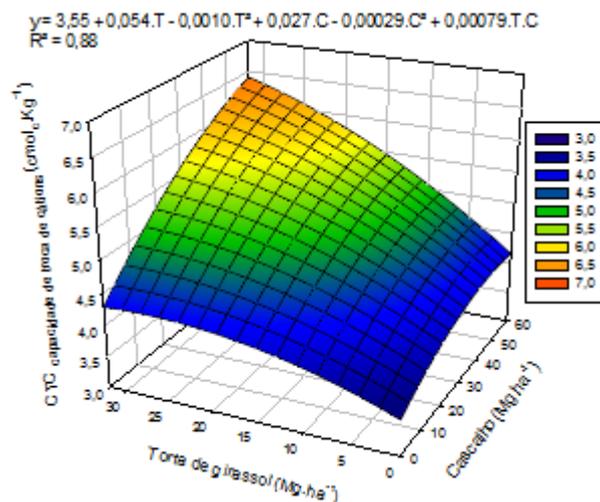


Figura 36 - Valor da capacidade de troca de cátions ($\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Com relação à saturação por bases trocáveis (Figura 37) no solo após o cultivo de girassol, observa-se que houve uma pequena redução quando as doses crescentes de cascalho foram associadas às doses crescentes de torta, fato que se analisado isoladamente pode induzir a conclusões precipitadas a respeito do efeito causado pela associação entre os resíduos (torta e cascalho). Isto devido a saturação por bases trocáveis do solo ser expressa pela relação entre soma de bases trocáveis e a capacidade de troca de cátions ($V\% = (S \times 100)/CTC$). Assim

quando ocorre aumento na capacidade de troca de cátions a saturação por bases trocáveis tende a diminuir. É importante ressaltar que essa pequena redução da saturação por bases trocáveis à medida que as doses crescentes de cascalho foram associadas às doses crescentes de torta não influenciou o desenvolvimento das plantas de girassol, visto que as plantas apresentaram maior crescimento em altura e diâmetro nessas associações. Ressaltando que os tratamentos com a dose 32 Mg ha⁻¹ de torta associadas a todas as doses de cascalho não apresentaram germinação de plantas. Com isso nota-se que até a dose 16 Mg ha⁻¹ de torta, ou seja, até a dose que houve a presença de plantas, os valores de saturação por bases trocáveis apresentaram-se altos de acordo com os valores sugeridos por Raij et al. (1997). Resultados semelhantes foram verificados por Silva et al. (2012) no cultivo de mamona, que observaram a redução da saturação por bases no solo a medida que a capacidade de troca de cátions aumentou por meio da adição de doses crescentes de torta de mamona PDS “in natura”. Avaliando o comportamento de cultivares de girassol em condições de campo sob níveis crescentes de saturação por bases trocáveis do solo, Amabile et al. (2003) constataram que o aumento gradual da saturação por bases trocáveis promoveu melhor desempenho na maioria das cultivares estudadas.

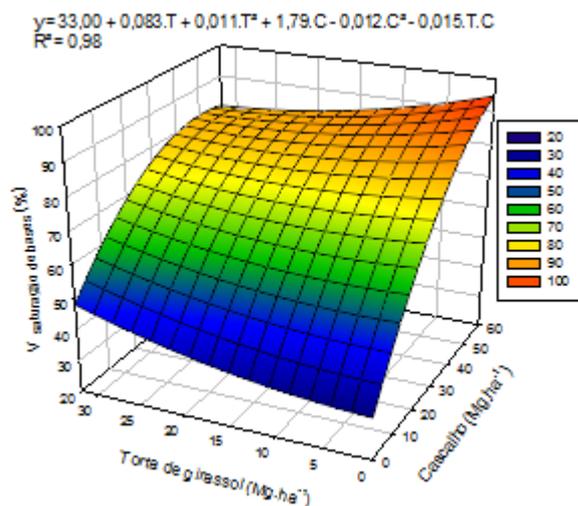


Figura 37 - Valor da saturação de bases (%) no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

A respeito da saturação por alumínio (Figura 38) apresentada no solo após o cultivo de girassol, observa-se que apenas os tratamentos com as menores doses de cascalho (0 Mg ha⁻¹, 5 Mg ha⁻¹ e 15 Mg ha⁻¹) associados as doses de torta apresentaram saturação por alumínio. À medida que as menores doses de cascalho (0 Mg ha⁻¹, 5 Mg ha⁻¹ e 15 Mg ha⁻¹) foram associadas as doses crescentes de torta a saturação por alumínio no solo reduziu. Somente o

tratamento controle (0 Mg ha⁻¹ de torta x 0 Mg ha⁻¹ de cascalho) apresentou maior saturação por alumínio, visto que não recebeu nenhum dos resíduos, ou seja, não foi introduzido cálcio e magnésio para que ocorresse a neutralização do alumínio presente no solo.

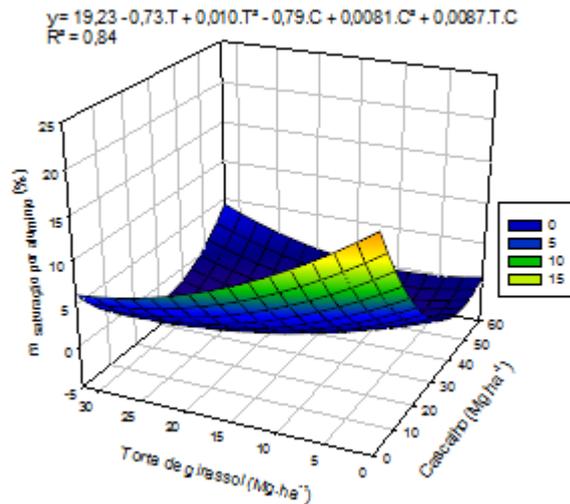


Figura 38 - Valor da saturação por alumínio (%) no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

A superfície de resposta (Figura 39) aponta que o teor de cloreto no solo foi fortemente influenciado pela adição do cascalho de perfuração. Travassos et al. (2011) cultivando girassol com resíduo orgânico irrigado com doses crescentes de água salobra constataram aumento no teor de cloreto no solo após o cultivo. Comportamento semelhante foi observado por Freitas (2013) no cultivo de girassol em planossolo com cascalho de perfuração, onde verificou que o teor de cloreto no solo se elevou quando foi adicionada ao solo a maior dose testada (32 Mg ha⁻¹). Ainda observando a figura 39, verifica-se uma redução do teor de cloreto no solo após o cultivo de girassol quando as doses de cascalho foram associadas a doses crescentes de torta. Observa-se que o maior teor de cloreto ocorreu quando as menores doses de torta (0 Mg ha⁻¹, 2 Mg ha⁻¹, 4 Mg ha⁻¹ e 8 Mg ha⁻¹) foram associadas às maiores doses de cascalho (45 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹).

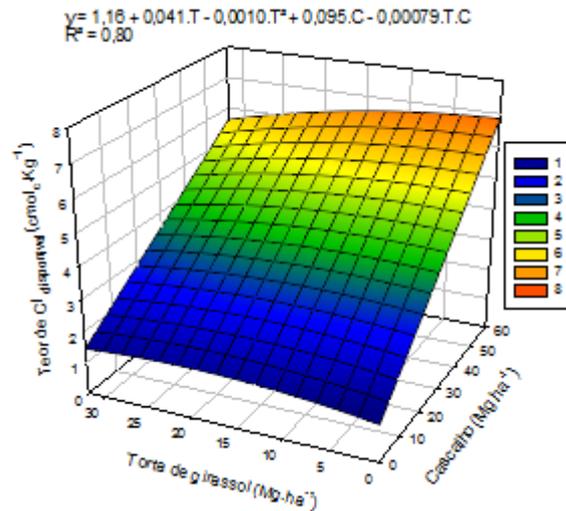


Figura 39 - Teor de cloreto no solo ($\text{Cmol}_c \text{kg}^{-1}$) após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Quanto à condutividade elétrica (Figura 40) no solo após o cultivo de girassol, verifica-se que apresentou aumento quando as doses crescentes de torta foram associadas às doses crescentes de cascalho. Nota-se que a maior condutividade elétrica ocorreu quando as maiores doses de torta (16 Mg ha^{-1} e 32 Mg ha^{-1}) foram associadas as maiores doses de cascalho (45 Mg ha^{-1} e 60 Mg ha^{-1}). Esta elevação da condutividade elétrica do solo possivelmente ocorreu devido ao aumento da quantidade de sais que foram introduzidos por meio da associação dos resíduos (torta e cascalho), além da adubação potássica realizada no solo durante o experimento. Conforme Meurer (2000) relata, grandes quantidades de íons em solução conduzem corrente elétrica, sendo que quanto maior a concentração de íons, mais intensa é a corrente conduzida pela solução. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2001), que cultivando pimentão sob diferentes doses de adubação potássica, verificaram aumento da salinidade e condutividade elétrica no solo. Moraes et al. (2011) cultivando girassol em condições de campo, observaram que o aumento da concentração de sais no solo provocado pela água de irrigação promoveu valores mais elevados de condutividade elétrica, sendo que as plantas mostraram-se tolerantes a salinidade com até a maior condutividade elétrica observada ($3,53 \text{ dS m}^{-1}$).

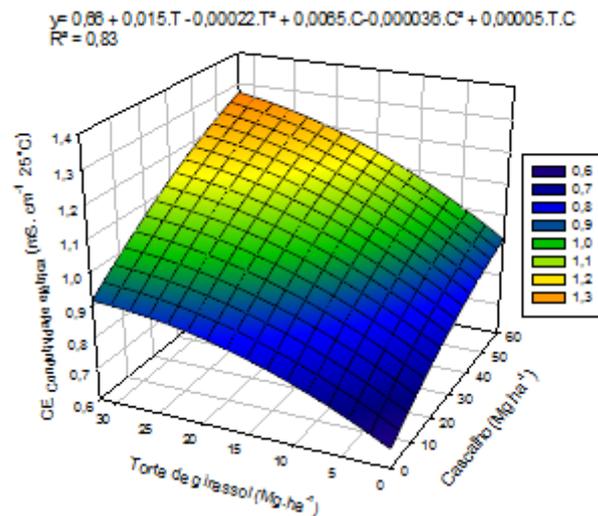


Figura 40 - Valor da condutividade elétrica no solo (mS cm^{-1} a 25°C) em após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Com relação à percentagem de sódio trocável (Figura 41) no solo após o cultivo de girassol, nota-se que foi fortemente influenciada pela adição de doses crescentes de cascalho. Quando as doses de cascalho foram associadas a doses crescentes de torta ocorreu uma redução da percentagem de sódio trocável. Observa-se que a maior percentagem de sódio trocável ocorreu quando as menores doses de torta (0 Mg ha^{-1} , 2 Mg ha^{-1} , 4 Mg ha^{-1} e 8 Mg ha^{-1}) foram associadas as maiores doses de cascalho (45 Mg ha^{-1} e 60 Mg ha^{-1}). Estes resultados são corroborados por Gomes et al. (2000), que avaliando resíduos orgânicos na recuperação de solos com elevados teores de sódio, verificaram uma redução na percentagem de sódio trocável do solo com o aumento dos resíduos. Resultados distintos foram observados por Silva et al. (2012), que ao adicionar doses crescentes de mamona PDS “in natura” ao solo verificaram aumento na percentagem de sódio trocável, visto que o resíduo utilizado continha sódio. Cultivando girassol em planossolo com cascalho de perfuração, Freitas (2013) verificou aumento da percentagem de sódio trocável no solo na maior dose do resíduo testada (32 Mg ha^{-1}).

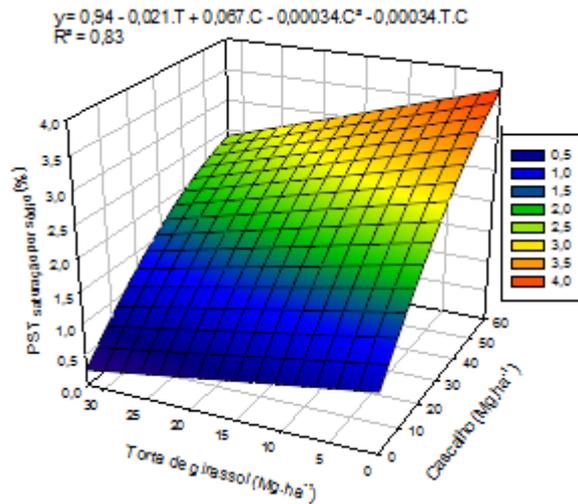


Figura 41 - Valor da percentagem de sódio trocável (%) no solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Quanto à relação de adsorção de sódio (Figura 42) no solo após o cultivo de girassol, observa-se que foi grandemente influenciada pelas doses crescentes de cascalho. Quando as doses de cascalho foram adicionadas a doses crescentes de torta ocorreu uma pequena redução da concentração de sódio em relação à concentração de cálcio e magnésio. Isso possivelmente devido ao maior teor de magnésio trocável fornecido principalmente pela torta. Nota-se ainda que o maior teor de sódio em relação a cálcio e magnésio ocorreu quando as menores doses de torta (0 Mg ha^{-1} , 2 Mg ha^{-1} , 4 Mg ha^{-1} e 8 Mg ha^{-1}) foram associadas as maiores doses de cascalho (45 Mg ha^{-1} e 60 Mg ha^{-1}). Morais et al. (2011) verificaram aumento da concentração de sódio em relação aos teores de cálcio e magnésio no solo em cultivo de girassol sob condições de campo com o aumento da salinidade da água de irrigação. Em cultivo de mamona com doses crescentes de torta de mamona PDS “in natura”, Silva et al. (2012) observaram aumento na relação de adsorção de sódio.

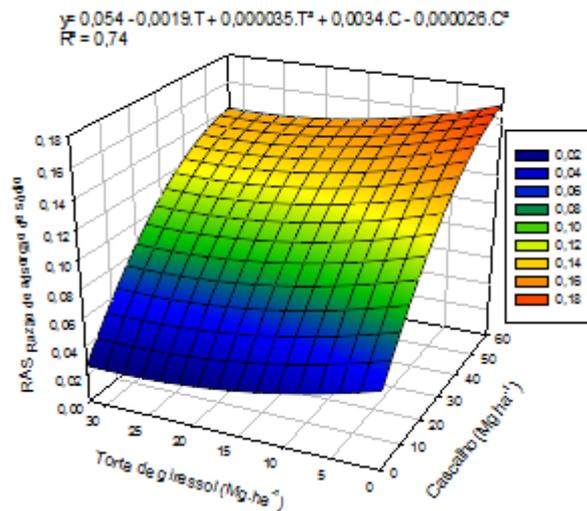


Figura 42 - Valor da relação de adsorção de sódio do solo após o cultivo de girassol em função das doses de cascalho e torta de girassol: Modelos de equações de regressão significativos a 5% de probabilidade.

Em síntese, analisando as características químicas do solo após o cultivo de girassol sob as diferentes associações de torta e cascalho, verifica-se que os critérios que são utilizados para classificação de solos afetados por sais, como condutividade elétrica, percentagem de sódio trocável, relação de adsorção de sódio e pH encontram-se abaixo dos valores que caracterizam o solo como salino (EMBRAPA, 2006). É importante ressaltar que apesar dos valores se apresentarem abaixo dos estabelecidos para caracterização do solo como salino eles merecem atenção, devido à possibilidade de um uso contínuo das associações dos resíduos virem a afetar o solo e conseqüentemente as águas subterrâneas.

Com relação aos demais índices de fertilidade do solo, verifica-se que quando as doses de cascalho foram associadas a doses crescentes de torta ocorreu uma redução dos teores de saturação por alumínio e cloreto no solo; e um aumento nos valores da soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação por bases, indicando que a associação entre os resíduos torta de girassol e cascalho de perfuração proporcionaram características benéficas ao solo. No entanto faz-se necessário estudos em condições de campo a longo prazo sobre os efeitos residuais possivelmente provocados pela associação de torta e cascalho.

6. CONCLUSÕES

A dose 32 Mg ha⁻¹ de torta de girassol limitou a germinação das plantas de girassol.

As plantas de girassol apresentaram maior teor de nutrientes na parte aérea, a exceção do sódio que apresentou maior teor nas raízes.

As plantas de girassol apresentaram maior crescimento em altura e diâmetro; e maior quantidade de massa seca na parte aérea e raízes quando as doses de torta de girassol foram associadas à dose 45 Mg ha⁻¹ de cascalho de perfuração.

A dose 16 Mg ha⁻¹ de torta de girassol associada à dose 45 Mg ha⁻¹ de cascalho de perfuração possibilitou melhor desenvolvimento das plantas.

As doses de cascalho associadas às doses crescentes de torta promoveram aumento da soma de bases trocáveis do solo, redução do teor de cloreto e percentagem de sódio trocável após o cultivo de girassol.

Considerando os tratamentos que apresentaram germinação de plantas de girassol, a dose 16 Mg ha⁻¹ de torta de girassol associada à dose 45 Mg ha⁻¹ de cascalho de perfuração promoveu considerável mudança da classe de fertilidade do solo após o cultivo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ÁLVARES, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBCS. p 299-352. 2000.
- ALMEIDA, C. M. V. B; GIANNETTI, A. B.F. Ecologia industrial: Conceitos, ferramentas e aplicações. ed. Edgard Blucher. 2006.
- AMABILE, R, F; GUIMARÃES, D. P; NETO, A, L, F. Análise de crescimento de girassol em latossolo com diferentes níveis de saturação de bases no cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. V. 38, p. 219-224. 2003.
- ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. 2014. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>>. Acesso: 12 jan. 2015.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Biodiesel. 2013. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso: 02 mai. 2013.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R. F.; BORTOLINI, C.G., FORSTHOFER, E. L; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal. v. 13, n. 2 . p. 158 -167. 2001.
- AQUARONE, E.; BORZANI, W.; LIMA, U. A. Biotecnologia: tópicos de microbiologia industrial. v.2. São Paulo. ed. Edgard Blucher. 1990.
- ASSIS, A. M.; FARIA, R. T.; UNEMOTO, L. K.; COLOMBO, L. A. Cultivo de *Oncidium baueri* Lindley (Orchidaceae) em substratos a base de coco. Ciência e Agrotecnologia, v.32, p.981-985. 2008.
- BALBINOT, N. S.; SCHNEIDER, R. C. S.; RODRIGUEZ, A. A. L.; KAPPEL, F. I.; PREDIGER, M.H.; LARA, L.R.S. Aproveitamento dos resíduos da produção de oleaginosas e da extração de óleo. p. 457-473. 2013.
- BALL, A. S.; STEWART, R. J; SCHLIEPHAKE, K. A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings. 2012.
- BARROS, I. T.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA JÚNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S. Avaliação agrônômica de bio-sólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.630-638. 2011.
- BISCARO, G. A.; MACHADO, J. R.; TOSTA, M. S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R. P.; CARVALHO, L. A. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS. Ciênc. agrotec., 32(5):1366-1373. 2008.
- BORGES, F. A. Biodegradação de fluídos base e de cascalhos oriundos da perfuração de poços de petróleo e gás. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2006.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, LOTUFO, J. G.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo, 305 p. 2002.

BRASIL. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 10004:2004. Resíduos Sólidos – Classificação. 71 p. 2004.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - Resolução nº 420. Publicado no DOU nº 249, de 30/12/2009, p 81-84. 2009.

BRASIL. Lei Federal nº. 6.939 de 31 de agosto de 1981. Define a política nacional do meio ambiente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm> Acesso: 20 mai. 2013.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos. Diário Oficial da união, 14 de jan. 2005. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm#art6xxiv> Acesso: 16 mai. 2013.

CARVALHO, D, B & PISSAIA, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha: Teores de nutrientes nas folhas. Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 65-72. 2004.

CASTRO, C. & FARIAS, J. R. B. Efeitos do girassol. In: Leite, R, M, V, B, C.; Brighenti, A.M; Castro, C, Girassol no Brasil. Londrina. EMBRAPA. p. 163-218. 2005.

CAVALCANTE, L. F.; DIAS, T. J; NASCIMENTO, R.; FREIRE, J. L.; O. Clorofila e carotenóides em maracujá-amarelo irrigado com águas salinas no solo com biofertilizante bovino. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal - SP, v. especial. P. 699-705. 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Mercado internacional e mercado interno de girassol. Setembro 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_02_14_11_39_girassolsetembro2014.pdf> Acesso: 12 Jan. 2015.

DALL'AGNOL, A.; VIEIRA, O. V.; LEITE, M. R. V. B. C. Origem e histórico do girassol. In: Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, v 1, p 1-12. 2005.

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. 2004. Disponível em:<http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0316_05.pdf>. Acesso: 20 mai. 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A cultura do girassol. Circular Técnica, 13. Londrina, 38 p. 1996.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. 40p. 1998.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Extração de óleo de girassol utilizando miniprensa. Embrapa Soja. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Londrina, PR, documento 237. 2004.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Brasília, Embrapa Produção de informações, 306p. 2006.

EPA. Profile of the Oil and Gas Extraction Industry. In: Sector Notebook Project, EPA/310-R-99-006, October. 2000.

EPSTEIN, E. & BLOOM, A. Nutrição mineral de plantas. Princípios e perspectivas. Londrina: Ed. Planta. 2 ed. 2006.

FERREIRA, D. F. Sistema de análises de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, (SISVAR 4. 1. pacote computacional).2000.

FILHO, D. H. G; SANTOS, J. B. GHEYI, H. R.; CAVALCANTE; FARIAS. H. L. Biometria do girassol em função da salinidade da água de irrigação e da adubação nitrogenada. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. v. 7, n. 5, p. 277 -289. 2013.

FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, Â. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. Ciência e Agrotecnologia. v 34, n.3, p. 618-624. 2010.

FREITAS, F. C. Caracterização química de cascalho de perfuração de poços de petróleo e seus efeitos em plantas e nas bases trocáveis do solo. 2013. 154 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do solo) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo. Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

FREITAS, F. C. Uso de resíduo orgânico da produção direta de biodiesel na atenuação dos efeitos de hidrocarbonetos de petróleo no solo. 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do solo) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo. Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

FREIRE, L. R. et al. Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ: Ed Universidade rural. 2013.

GABOS, M.B.; CASAGRANDE, G., ABREU, C. A.; FERREIRO, J. P. Uso da matéria orgânica como mitigadora de solo multicontaminado e do girassol como fitoextratora. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB. V. 15, n. 12, p 1298-1306. 2011.

GOMES, E. M.; GHEYI, H. R.; SILVA, Ê. F. F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, p. 355 - 361. 2000.

ISO 11466 International Standard:, Soil quality– Extraction of trace elements soluble in aqua régia, 03–01. 1995.

JÚNIOR, A. B. A; NASCIMENTO, C. W. A.; SOBRAL, M. F; SILVA, F. B. V.; GOMES, W. A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 15, n. 10, p. 1004-1013. 2011.

JUNIOR, E.B. Características estruturais, teores de clorofila e suas relações com o nitrogênio foliar e a biomassa em capim-tifton 85. 2009. 49 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia, Produção animal) - Curso de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

JÚNIOR, E. R. D; BÔAS, R. L. V; LEONEL, S. FERNANDES, D. M. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*. Jaboticabal - SP, v. 28, n. 3, p. 546-549. 2006.

JÚNIOR, J. S. Efeitos da avaliação de resíduos de perfuração de poços de petróleo no desenvolvimento de plantas e no risco de lixiviação de metais. 2012. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do solo) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo. Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

KORNDORFER, G., H. Elementos benéficos - silício, sódio e cobalto. In: FERNANDES, M., S (Ed). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, cap.14, p. 355 - 374. 2006.

LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. Girassol no Brasil - Londrina: EMBRAPA Soja, 614 p. 2005.

LEITE, R. M. V. B. C.; CASTRO, C. de; BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, F. A.; CARVALHO, C. G. P.; OLIVEIRA, A. C. B. Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima. Londrina, Embrapa Soja, Comunicado técnico n. 78. 4 p. 2007.

LIMA, P. C. R. O. Biodiesel e a inclusão social. Brasília: Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 33 p. 2004.

LINS, F. A. F. & LUZ, A. B. Fluídos de perfuração. CETEM. Comunicação técnica, 26p. 2003.

LIMA, R. L. S; SEVERINO, L. A; ALBUQUERQUE, R. C; BELTRÃO, N. E. M.; SAMPAIO, L. R. Casca e torta de mamona avaliados em vasos como fertilizantes orgânicos. *Revista Caatinga*. V. 21, n. 5, p. 102-106. 2008.

LOBO, T. F; FILHO, H. G.; BULL, L. T; KUMMER, A. C. B. Efeito do lodo de esgoto e do nitrogênio nos fatores produtivos do girassol. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.17, n.5, p. 504-509. 2013.

- LUCENA, A. E. F. L.; RODRIGUES, J. K. G.; FERREIRA, H.C.; LUCENA, L. C. F. L.; LUCENA, L. F. L. Caracterização Térmica de Resíduos de Perfuração “Onshore”. 4º PDPETRO, Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás-Campinas, SP. 2007.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 201p. 1997.
- MANDARINO, G. M. J. Características Bioquímicas e Nutricionais do Óleo e do Farelo de Girassol. Londrina, PR. EMBRAPA Soja - CNPSO. 1992.
- MARIANO, J. B. Impactos Ambientais do Refino de Petróleo. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético) Dissertação Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <<http://ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/jbmariano.pdf>> Acesso: 20 mai. 2013.
- MARÍN, J. A.; MORENO, J. L.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. Bioremediation by composting of heavy oil refinery sludge in semiarid conditions. *Biodegradation*, 251-261. 2006.
- MARTINAZZO, R. SANTOS, D. R. dos; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto afetado pela adição de fosfato solúvel. *R. Bras. Ci. Solo*, 31(3):563-568. 2007.
- MATOS, A. T.; CARVALHO, A.; AZEVEDO, I. C. D. d'A. Viabilidade do aproveitamento agrícola de percolados de resíduos sólidos urbanos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.435 – 440. 2008.
- MELLO, R.; NÖRNBERG, J. L.; RESTLE, J.; NEUMANN, M.; QUEIROZ, A.C.; COSTA, P. B.; MAGALHÃES, A. L. R.; DAVID, D. B. de. Características fenológicas, produtivas e qualitativas de girassol em diferentes épocas de semeadura para produção de silagem. *Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa*, v.35, n.3, p.672 – 682. 2006.
- MEURER, E, J. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre. Ed. Genesis. 2000.
- MORAIS, F. A; GURGEL, M. T; OLIVEIRA, F. H. T; MOTA, A. F. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n. 2, p. 327-336. 2011.
- NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O. Crescimento e floração do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.358-367. 2010.
- NOVAIS, R. F; ALVAREZ, V. H; BARROS, N. F; FONTES, R. L, F; CANTARUTTI, R. B; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa-MG, Sociedade Brasileira de Ciência do solo. 1017p. 2007.
- OLIVEIRA, D. D.; PINHEIRO, J. W; FONSECA, N. A. N; OBA, A. Desempenho de frangos de corte alimentados com torta de girassol. *Ciências Agrárias, Londrina*, v.33, n.5, p. 1979-1990. 2012.

- PARENTE, E. J. S. BIODIESEL: Uma aventura tecnológica num País engraçado. Fortaleza. 2003. Disponível em: < <http://www.xitizap.com/Livro-Biodiesel.pdf>> Acesso: 02 jul. 2013.
- PIRES, A. M. M. & MATTIAZZO, M. E. Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura. Circular Técnica 19. EMBRAPA. Jaguariúna. 9 p. Rio de Janeiro, v. 14, n.4. 2008.
- PORTAS, A. A. O girassol na alimentação animal. Campinas: CATI/D SM, 2001. ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. Introdução à Química Ambiental. Porto Alegre. 154 p. 2004.
- PRADO, R. M & LEAL, R. M. Desordens nutricionais por deficiência em girassol variedade catissol-01. Pesquisa Agropecuária Tropical. p. 187-193. 2006.
- PRADO, R.M. & NATALE, W. Development and nutritional status of passion fruit cuttings in response to application of textile sludge. Pesq. Agropecuária brasileira, v. 40, n. 6, p. 621-626. 2005.
- RAIJ, B, V; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J. A; FURLANI, A. M, C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 3 ed. Boletim Técnico, 100. Campinas, Instituto Agrônomo. 1997.
- RAIJ, B, V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 420 p. 2011.
- RIBEIRINHO, V. S; MELO, W. J; SILVA, D. H; FIGUEIREDO, L. A; MELO, G. M. P. Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v 42, p. 166-173. 2012.
- RODRIGUES, S. & DUARTE, A. C. Poluição do solo: revisão generalista dos principais problemas. In: CASTRO, A., DUARTE, A., SANTOS, T. Ed. O Ambiente e a Saúde. Instituto Piaget, p. 136-176. 2003.
- RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 34(15):2339-2354. 2003.
- SANTOS, A. C. P; BALDOTTO, P. V; MARQUES, P. A. A; DOMINGUES, W. L; PEREIRA, H. L. Utilização de torta de filtro como substrato para a produção de mudas de hortaliças. Colloquium Agrarie, v. 1, n. 2, p. 1-5. 2005.
- SANTOS, C. V. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. Scientia Horticulturae, Amsterdam, v.103, p.93-99. 2004.
- SANTOS, P. M; SANTOS, S. C; SILVA, J. E, C. Resíduo de laticínio em pastagem de capim mombaça: atributos químicos da forragem e do solo. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 1, p. 377-390. 2013.

SCHAFFEL, S. B. A questão ambiental na etapa de perfuração de poços marítimos de óleo e gás no Brasil. Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ. 2002.

SILVA, E. A; TOSTA, M. SILVA; MENDONÇA, V; OLIVEIRA, A. C; MENEGAZZO, M. L. Efeito da utilização de biossólido na desenvolvimento inicial de plantas de girassol. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. Grupo Verde de Agricultura Alternativa (GVAA). V.6, n. 2, p. 112-119. 2011a.

SILVA, H. R. F; AQUINO, L. A; BATISTA, C. H. Efeito residual do adubo fosfatado na produtividade do girassol em sucessão ao algodoeiro. Biosci. J. Uberlândia. V. 5, p. 786-793. 2011b.

SILVA, M. A. G; BOARETTO, A. E; FERNANDES, H. G; SCIVITTARO, W. B. Efeito do cloreto de potássio na salinidade de um solo cultivado com pimentão, *Capsicum ammuum* L., em ambiente protegido. Acta Scientiarum. Maringá, v. 23, n. 5, p. 1085-1089. 2001.

SILVA, P. C. C; COUTO, J. L; SANTOS, A. R. Efeito dos íons de amônio e nitrato no desenvolvimento do girassol em solução nutritiva. Revista Urugaiana, v. 17, n. 1, p. 104-114. 2010.

SILVA, S. D. Efeito do uso de torta de mamona do processo de produção de biodiesel direto da semente em solo da chapada do Apodi - RN. 2010. 126 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do solo) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo. Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

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

SILVA, T. G. F. DA; ZOLNIER, S.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G., MOURA C. R. W.; MUNIZ, M. A. Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. Revista Ceres, v.56, p.602-610. 2009.

SIMONETE, M. A; KIEHL, J. C; ANDRADE, C. A; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um argilossolo e no crescimento e nutrição de milho. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1187-1195. 2003.

SOUZA, C. A. de & MENDES, F. S. Coprocessamento em fornos de clínquer: uma alternativa sustentável para destinação do resíduo Cascalho de perfuração de petróleo em Mossoró-RN. Revista eletrônica de petróleo e gás – Universidade Potiguar. 2013. Disponível em: <<http://repositorio.unp.br/index.php/runpetro/article/view/338>> Acesso: 20 mai. 2013.

SOUZA, P. J. B. & LIMA, V. L. Avaliação das técnicas de Disposição de Rejeitos da Perfuração Terrestre de Poços de Petróleo. Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais - Universidade Federal da Bahia. 2002.

TAIZ, L., ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3ª edição. Editota Artmed, 719p. 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Boletim Técnico nº 5 - Departamento de Solos - UFRGS, 174 p. 1995.

THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro: Interciência / PETROBRÁS. 2001.

TRAVASSOS, K. D.; SOARES, F. A.L.; GHEYI, H.R.; SILVA, D. R.; NASCIMENTO, A.K.S.; DIAS, N. S. Produção de Aquênios de girassol irrigado com água salobra. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V. 15, n 4, p. 371-376. 2011.

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

UNGARO, M. R. G. Mercados potenciais para o girassol e os seus subprodutos. In: Câmara, G. M. S.; CHIAVEGATO, E. J. O agronegócio das Plantas oleaginosas: Algodão, amendoim, girassol e mamona. Piracicaba: ESALQ. p.12-140. 2001.

VITTI, C. G.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M., S (Ed). Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, cap.12, p. 299-326. 2006.

ZONTA E. Avaliação de sítios de disposição, no solo, de resíduos da exploração e produção de petróleo. Relatório Parcial. PETROBRAS-PDP/TEP (nº 005). 2005.

8. APÊNDICES

Apêndice 1 - Altura (cm) das plantas de girassol em função da associação função das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha ⁻¹)											
		0		5		15		30		45		60	
Doses de torta (Mg ha ⁻¹)	0	63,83	ABab	73,83	Aab	81,42	ABa	71,25	Bab	63,08	Cb	65,00	BCab
	2	60,33	Bab	70,17	Aab	67,25	Bab	67,33	Bab	73,75	BCa	57,00	Cb
	4	62,42	ABa	66,50	Aa	72,25	ABa	76,83	ABa	77,08	ABCa	77,17	ABa
	8	62,83	ABc	69,92	Abc	77,83	ABabc	82,92	ABab	82,00	ABab	91,33	Aa
	16	76,92	Aa	81,50	Aa	84,67	Aa	89,50	Aa	90,25	Aa	81,58	Aa

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 2 - Diâmetro (mm) do caule das plantas de girassol em função da associação função das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha ⁻¹)											
		0		5		15		30		45		60	
Doses de torta (Mg ha ⁻¹)	0	5,31	Ba	4,74	Ba	5,13	Ba	5,18	Ba	4,85	Ba	5,18	ABa
	2	5,30	Ba	5,24	Ba	5,26	Ba	5,11	Ba	5,83	ABa	4,80	Ba
	4	5,45	Ba	5,36	Ba	5,90	Ba	5,82	Ba	5,06	Ba	5,66	ABa
	8	4,46	Bb	5,22	Bab	5,08	Bab	5,16	Bab	5,06	Bab	5,87	ABa
	16	7,23	Aab	7,31	Aab	7,78	Aa	7,22	Aab	6,27	Ab	6,31	Ab

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 3 - Massa seca (g) da parte aérea das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha ⁻¹)											
		0		5		15		30		45		60	
Doses de torta (Mg ha ⁻¹)	0	10,83	Ba	13,43	Ba	15,32	Ba	15,43	Ca	9,78	Ca	12,81	BCa
	2	14,86	Bab	19,37	Ba	18,18	Ba	16,15	Cab	20,17	Ba	7,52	Cb
	4	18,87	Ba	19,98	Ba	23,26	Ba	25,57	Ba	19,38	Ba	21,05	ABa
	8	11,18	Bab	17,09	Bab	19,01	Bab	22,10	BCab	19,68	Bab	23,15	ABa
	16	31,24	Aab	39,20	Aa	35,95	Aab	36,54	Aab	32,31	Aab	28,66	Ab

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 4 - Massa seca (g) das raízes das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha ⁻¹)					
		0	5	15	30	45	60
Doses de torta (Mg ha ⁻¹)	0	0,70 Ba	0,63 Ba	1,12 Ba	0,77 Ca	0,67 Ba	0,76 Ca
	2	0,89 Ba	0,91 Ba	1,14 Ba	1,15 BCa	1,43 Ba	0,76 Ca
	4	0,78 Bb	1,11 Bab	1,64 Bab	2,28 Ba	1,31 Bab	1,91 BCab
	8	0,61 Bb	1,00 Bab	1,21 Bab	1,66 BCab	1,38 Bab	2,15 Ba
	16	3,33 Aab	4,66 Aa	4,48 Aa	3,97 Aab	2,77 Ab	4,00 Aab

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 5 - Teor de nitrogênio (g kg⁻¹) na parte aérea das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha ⁻¹)					
		0	5	15	30	45	60
Doses de torta (Mg ha ⁻¹)	0	15,955 Bb	14,975 Cb	11,388 Bb	16,457 Cb	22,151 ABa	21,739 ABa
	2	28,574 Aa	21,495 Bb	21,610 Ab	23,196 ABb	25,229 Aab	24,942 Aab
	4	29,704 Aa	29,511 Aa	21,803 Ab	17,683 Cb	21,036 Abb	21,025 Abb
	8	33,008 Aa	29,601 Aab	25,932 Abc	25,188 Abc	23,473 ABc	21,529 ABc
	16	33,272 Aa	30,545 Aab	26,083 Ab	19,515 BCc	18,908 Bc	18,906 Bc

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 6 - Teor de fósforo (g kg⁻¹) na parte aérea das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha ⁻¹)					
		0	5	15	30	45	60
Doses de torta (Mg ha ⁻¹)	0	0,475 Db	0,549 Cb	0,505 Cb	0,645 Cb	1,011 Ba	1,050 ABa
	2	0,831 Bb	0,849 Bb	0,814 Bb	0,906 Bb	1,120 ABa	0,922 Bb
	4	1,129 Aa	1,074 Aa	0,858 ABb	0,729 Cb	1,144 ABa	1,113 Aa
	8	1,040 Ab	1,023 Ab	1,010 Ab	1,160 Aab	1,256 Aa	1,102 Aab
	16	0,652 Ca	0,644 Ca	0,598 Ca	0,624 Ca	0,609 Ca	0,705 Ca

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 7 - Teor de potássio (g kg⁻¹) na parte aérea das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha ⁻¹)					
		0	5	15	30	45	60
Doses de torta (Mg ha ⁻¹)	0	19,938 BCb	20,096 ABb	19,484 Ab	21,773 ABb	28,544 Aa	28,166 ABa
	2	22,257 ABbc	19,174 BCc	20,621 Ac	22,436 Abc	24,855 Bb	30,330 Aa
	4	22,044 ABab	21,341 ABab	20,749 Ab	19,009 BCb	24,112 Ba	24,229 Ca
	8	24,201 Aa	22,938 Aa	22,565 Aa	22,288 Aa	23,002 Ba	25,234 BCa
	16	18,522 Cab	16,070 Cb	15,671 Bb	15,953 Cb	17,961 Cab	20,234 Da

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 8 - Teor de cálcio (g kg^{-1}) na parte aérea das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha^{-1})									
		0	5	15	30	45	60				
Doses de torta (Mg ha^{-1})	0	9,870 Cc	10,934 CDb	12,094 Bab	13,160 Ba	13,251 Ba	12,977 Da				
	2	11,591 Bbc	10,388 Dc	11,752 Bb	12,424 Bb	17,454 Aa	17,353 Aa				
	4	13,951 Ac	15,132 Abc	14,720 Abc	15,443 Ab	16,683 Aa	15,941 Bab				
	8	12,890 Ae	13,673 Bde	14,778 Acd	15,499 Abc	16,650 Aab	17,489 Aa				
	16	10,969 BCd	11,874 Ccd	12,385 Bbc	13,119 Bb	14,377 Ba	14,722 Ca				

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 9 - Teor de magnésio (g kg^{-1}) na parte aérea das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha^{-1})									
		0	5	15	30	45	60				
Doses de torta (Mg ha^{-1})	0	3,314 Ac	3,726 Aab	3,931 Aa	3,556 Abc	3,556 Abc	3,385 Ac				
	2	3,509 Ab	3,629 ABb	3,965 Aa	3,655 Aab	3,380 ABbc	3,101 ABc				
	4	3,245 Aab	3,356 Bab	3,486 Ba	3,453 Aa	3,187 Bab	3,087 ABb				
	8	2,569 Ba	2,606 Ca	2,583 Ca	2,751 Ba	2,701 Ca	2,841 Ba				
	16	2,242 Ca	2,374 Ca	2,316 Ca	2,251 Ca	2,195 Da	2,248 Ca				

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 10 - Teor de sódio (g kg^{-1}) na parte aérea das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha^{-1})									
		0	5	15	30	45	60				
Doses de torta (Mg ha^{-1})	0	0,167 BCc	0,194 Bc	0,265 Cbc	0,273 CDbc	0,391 Cab	0,488 Ba				
	2	0,134 Cd	0,195 Bcd	0,287 Cbc	0,402 Cb	0,415 Cb	0,824 Aa				
	4	0,187 BCb	0,221 Bab	0,296 Cab	0,259 Dab	0,309 Cab	0,343 Ca				
	8	0,392 Ad	0,454 Acd	0,536 Bbc	0,549 Bbc	0,603 Bb	0,821 Aa				
	16	0,287 ABc	0,491 Ab	0,808 Aa	0,796 Aa	0,800 Aa	0,803 Aa				

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 11 - Teor de nitrogênio (g kg^{-1}) nas raízes das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha^{-1})									
		0	5	15	30	45	60				
Doses de torta (Mg ha^{-1})	0	3,360 Dd	5,040 Dc	5,040 Ec	5,040 Dc	6,720 Ca	6,160 Eb				
	2	6,720 Cd	8,400 Cc	10,080 Db	8,400 Cc	8,400 Bc	11,760 Ba				
	4	13,440 Ba	13,440 Ba	11,760 Cb	10,080 Bc	8,400 Bd	8,400 Cd				
	8	15,120 Aa	15,120 Aa	15,120 Aa	10,080 Bb	8,400 Bc	6,720 Dd				
	16	13,440 Bb	13,440 Bb	13,440 Bb	14,280 Aa	14,280 Aa	13,440 Ab				

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 12 - Teor de fósforo (g kg^{-1}) nas raízes das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha^{-1})					
		0	5	15	30	45	60
Doses de torta (Mg ha^{-1})	0	0,227 Dc	0,131 Ee	0,148 Dd	0,131 Ee	0,371 Ba	0,303 Db
	2	0,527 Ca	0,281 Cd	0,287 Cd	0,250 Ce	0,315 Cc	0,470 Cb
	4	0,703 Bb	0,758 Ba	0,527 Bd	0,387 Be	0,279 Df	0,539 Bc
	8	0,811 Aa	0,823 Aa	0,674 Ac	0,675 Ac	0,677 Ac	0,710 Ab
	16	0,163 Eb	0,184 Da	0,157 Db	0,159 Db	0,163 Eb	0,169 Eb

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 13 - Teor de potássio (g kg^{-1}) nas raízes das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha^{-1})					
		0	5	15	30	45	60
Doses de torta (Mg ha^{-1})	0	16,744 Ab	19,611 Aa	19,611 Aa	19,611 Aa	16,744 Bb	16,744 Bb
	2	8,146 Ce	11,012 Bd	13,878 Bc	13,878 Cc	16,744 Bb	19,611 Aa
	4	8,146 Cd	8,146 Cd	11,012 Cc	16,744 Bb	19,611 Aa	16,744 Bb
	8	11,012 Bc	11,012 Bc	13,878 Bb	13,878 Cb	16,744 Ba	16,744 Ba
	16	8,146 Ce	11,012 Bd	13,878 Bc	16,744 Bb	19,611 Aa	13,878 Cc

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 14 - Teor de cálcio (g kg^{-1}) nas raízes das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha^{-1})					
		0	5	15	30	45	60
Doses de torta (Mg ha^{-1})	0	4,245 Ac	4,446 CDc	5,101 Cb	5,081 Cb	5,679 Ba	4,199 Cc
	2	4,172 Ad	4,728 BCc	5,544 Bb	5,803 Bab	5,817 Bab	5,923 Ba
	4	4,445 Ae	5,338 Ad	6,106 Ac	6,551 Ab	6,807 Aab	6,898 Aa
	8	4,367 Ad	5,036 Abc	5,578 Bb	6,609 Aa	6,715 Aa	6,866 Aa
	16	2,771 Bc	4,233 Db	4,494 Db	5,642 Ba	5,909 Ba	2,847 Dc

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 15 - Teor de magnésio (g kg^{-1}) nas raízes das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha^{-1})					
		0	5	15	30	45	60
Doses de torta (Mg ha^{-1})	0	1,188 Ad	1,199 Cd	1,526 Da	1,308 Ec	1,391 Eb	1,308 Dc
	2	1,098 Cf	1,201 Ce	1,619 Bc	1,569 Dd	1,921 Ba	1,761 Cb
	4	1,129 Bf	1,520 Ae	2,144 Ac	2,489 Aa	1,556 Dd	2,275 Ab
	8	1,088 Ce	1,229 Bd	1,571 Cc	1,905 Cb	1,889 Cb	2,063 Ba
	16	0,890 De	1,140 Dd	1,556 Cc	1,988 Bb	2,044 Aa	2,063 Ba

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Apêndice 16 - Teor de sódio (g kg^{-1}) nas raízes das plantas de girassol em função da associação das doses de torta de girassol e cascalho de perfuração.

		Doses de cascalho (Mg ha^{-1})											
		0		5		15		30		45		60	
Doses de torta (Mg ha^{-1})	0	2,723	Df	6,736	Ce	7,237	Cd	8,742	Cc	10,247	Bb	11,752	Ba
	2	5,733	Be	8,742	Ad	10,247	Ac	11,752	Ab	11,752	Ab	13,257	Aa
	4	5,733	Bd	7,237	Bc	8,742	Bb	10,247	Ba	8,742	Cb	10,247	Ca
	8	7,237	Ac	8,742	Ac	10,247	Ab	10,247	Bb	10,247	Bb	11,752	Ba
	16	4,228	Cd	8,742	Ac	10,247	Ab	11,752	Aa	11,752	Aa	10,247	Cb

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.