



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/PRODUÇÃO VEGETAL**

SAMIA NATACIA PINTO

**ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO
ADUBADO COM RESÍDUO LÍQUIDO SUÍNO**

TERESINA – PI

2016

SAMIA NATACIA PINTO

Engenheira Agrônoma

**ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO ADUBADO COM
RESÍDUO LÍQUIDO SUÍNO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí – UFPI, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Agronomia.
Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador:

Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes

Coorientadores:

Prof^a. Dr^a. Artenisa Cerqueira Rodrigues

Prof. Dr. Carlos José Gonçalves de Souza Lima

TERESINA – PI

2016

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Serviço de Processamento Técnico

P659a Pinto, Samia Natacia

Alterações nos atributos químicos de um argissolo adubado com resíduo líquido suíno./ Samia Natacia Pinto - 2016. 55f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016
Orientação: Prof. Dr. Luis Alfredo Pinheiro Leal Nunes

1 . Biofertilizante 2. Fertilidade do solo 3. Nutrientes I. Título

CDD 631.86

ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO ADUBADO
COM RESÍDUO LÍQUIDO SUÍNO

SAMIA NATACIA PINTO

Engenheira Agrônoma

Aprovada em 31 10 2016

Comissão Julgadora:

Luís Alfredo Nunes

Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes – Presidente
CCA/UFPI

Artenisa Cerqueira Rodrigues

Profa. Dra. Artenisa Cerqueira Rodrigues – Titular
CCA/UFPI

Fernando Silva Araújo

Prof. Dr. Fernando Silva Araújo – Titular
UESPI

Henrique Antunes de Souza
Dr. Henrique Antunes de Souza – Titular
Embrapa Meio-Norte

“Os sonhos não determinam o lugar em que você vai estar, mas produzem a força necessária para tirá-lo do lugar em que está”.

Augusto Cury

“O que destrói o ser humano? Política sem princípio, prazer sem compromisso, riqueza sem trabalho, sabedoria sem caráter, ciência sem humanidade e oração sem caridade”.

Mohandas Karamchand Gandhi

*A meu único Pai, Deus, que por seu amor infinito,
morreu na cruz para nos salvar.*

A minha mãe, Maria de Lourdes que amo e admiro.

OFEREÇO

A minha mãe, Maria de Lourdes que me ensinou a seguir buscando sempre concretizar meus sonhos e nunca desistir nos momentos de dificuldades.

Ao meu marido, Dilson Maciel, pelo amor, companheirismo, dedicação, paciência.

A todos da minha Família e amigos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar sempre me protegendo dos males, guiando-me sempre no caminho do bem e com amor ao próximo.

Ao orientador Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes pelo acolhimento, amizade e por seu ensino neste desafio.

Ao Prof. Dr. Carlos Lima pela orientação quando mais precisei em momentos cruciais no desenvolvimento desta dissertação, pelo incentivo e pela dedicação durante caminhos difíceis para alcançar o título de mestre.

A minha coorientadora Prof^a. Dr^a. Artenisa pela orientação, preocupação e apoio.

À Universidade Federal do Piauí, pelo corpo docente e a oportunidade ao longo de toda essa caminhada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por ter concedido a bolsa de estudos o que me ajudou bastante durante essa jornada de estudos e pesquisas.

A minha mãe Maria de Lourdes por ser meu maior exemplo de vida, formação, amor e por estar sempre ao meu lado apoiando em todos os momentos.

Ao meu marido Dilson Maciel agradeço pelo amor, paciência, incentivo e companheirismo nas dificuldades, principalmente por sempre acreditar em mim, que poderia ir além de meus sonhos aconselhando a lutar e ter paciência para os sonhos e objetivos se tornarem reais.

A minha família em especial minha avó Socorro que amo e admiro.

Seu Antônio que tenho muito carinho, respeito e admiração.

A minha querida cunhada Francisca que sempre se fez presente quando precisei e seu esposo Isaac agradeço pelo apoio e minhas sobrinhas lindas Karollayne e Isabel pelo carinho.

A minha sogra dona Euzébia que admiro e tenho enorme carinho e gratidão pelo amor e preocupação que sente por mim.

Aos sobrinhos que amo e tenho orgulho Hayeska Sabrinny e Izac Cauã.

A minha amiga de todas as horas e confidente Maria de Deus que amo e admiro.

A Liliane Oliveira pela preocupação e apoio durante o mestrado.

A minha irmã Sandra Regina por ser espelho a seguir de força de vontade, determinação, agradeço pelo incentivo e força durante minha vida acadêmica.

Ao meu querido irmão Alexandro pela proteção, força e carinho.

A amiga Janaína Mendes que mesmo com pouco tempo de amizade sinto enorme carinho de irmã, agradeço pela preocupação nos momentos de dificuldades e conselhos no decorrer do mestrado.

A amiga Sandra Mara do laboratório de solos, pela sua experiência e assistência durante as análises deste trabalho, mesmo com pouco tempo de amizade para mim foi incondicional.

A todos os meus amigos do mestrado que ingressaram comigo, em especial, Enayra, Maristella, João Pedro, Nilza, Pedro Guimarães, Vicente, Carlos, Samara, Monteiro e a todos agradeço pelos conselhos e atenção neste percurso árduo de caminhada para elaboração desta pesquisa.

Ao meu novo amigo Laércio Pereira, que apesar do pouco tempo de convivência já considero bastante meu amigo. Sua colaboração no desenvolvimento deste trabalho foi enorme, Deus o colocou no momento certo em minha vida! Na vida nada acontece por acaso! Como você diz: "Louvado seja Deus".

Ao Theuldes Oldenrique pelas colaborações e auxílio durante os resultados da pesquisa.

Enfim, agradeço a todos que acreditaram e contribuíram para esta etapa se concretizar em minha vida.

A todos os familiares e amigos agradeço de todo o meu coração.

SUMÁRIO

Lista de tabelas.....	xi
Lista de figuras.....	xii
Resumo.....	xiii
Abstract.....	xiv
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1. Utilização de resíduo suíno como alternativa de adubação	17
2.3. Aplicação de resíduo líquido de suínos no solo: Alterações na fertilidade	19
2.3.1. Cálcio (Ca).....	19
2.3.2. Magnésio (Mg).....	20
2.3.3. Fósforo (P).....	21
2.3.4. Sódio (Na).....	22
2.3.5. Potássio (K)	24
2.3.6. Condutividade elétrica (CE)	25
2.3.7. Potencial Hidrogeniônico do solo (pH).....	26
2.3.8. Acidez potencial (H+Al)	27
2.3.9. Soma de Bases (SB)	28
2.3.10. Saturação por bases (V%)	29
2.3.11. Capacidade de troca de cátions (CTC).....	30
3. METODOLOGIA.....	32
3.1. Localização e caracterização da área experimental	32
3.2. Delineamento experimental	34
3.3. Composição química do resíduo líquido da suinocultura (RLS)	35
3.4. Cultura, semeadura e aplicação do resíduo.....	35
3.5. Coletas das amostras de solo.....	36
3.6. Atributos químicos avaliados	37
3.7. Análise estatística	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5. CONCLUSÃO.....	46
6. REFERÊNCIAS.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química e física da área experimental antes da instalação do experimento.....	34
Tabela 2. Caracterização do resíduo líquido suíno aplicado	35
Tabela 3. Síntese da análise de variância dos teores de cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), fósforo (P), potássio (K^+), sódio (Na^+) e condutividade elétrica (CE) do solo em função da aplicação de resíduo líquido de suínos e épocas de amostragem....	38
Tabela 4. Síntese da análise de variância do potencial hidrogeniônico (pH), soma de base (SB), saturação por base (V), acidez potencial (H+Al), CTC efetiva (t) do solo em função da aplicação de resíduo líquido de suínos e épocas de amostragem.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área experimental, CCA- UFPI	32
Figura 2. Temperatura do ar (A), Umidade relativa do ar (B) e Saldo de radiação (C), observados durante o período experimental, no município de Teresina, PI, 2015.....	33
Figura 3. Representação da parcela experimental.....	35
Figura 4. Aplicação do resíduo (A) experimento após a aplicação do resíduo (B)..	36
Figura 5. Trado holandês (A) e amostras de solo (B).....	37
Figura 6 - Teores de cálcio (A) e Magnésio (B) no solo em função de doses de resíduo líquido suíno e em função das épocas de amostragem (C e D).....	39
Figura 7- Teores de potássio (A), Sódios (B) e Condutividade elétrica (C) no solo em função da aplicação de doses de resíduo líquido suíno e épocas de amostragem de solo.	41
Figura 8- Potencial hidrogeniônico (A) e CTC efetiva (F) em função de épocas de amostragem, Soma de base (B) e CTC efetiva em função de doses de resíduo líquido suíno, Saturação por base (C) e Acidez potencial (D) em função doses de RLS e épocas de amostragens.....	43

ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO ADUBADO COM RESÍDUO LÍQUIDO SUÍNO

Autora: Samia Natacia Pinto

Orientador: Prof. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes

RESUMO

Os sistemas de produção agropecuários originam vários tipos de resíduos orgânicos, em especial os da suinocultura. Quando corretamente manejados podem ser utilizados como fornecedores de nutrientes para as plantas melhorando as condições físicas, químicas e biológicas do solo. Objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de doses de resíduo líquido suíno e épocas de amostragem sobre os atributos químicos de um argissolo cultivado com a cultura do milho. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em parcela subdividida no tempo, constituindo-se de cinco doses de resíduo líquido da suinocultura (0, 25, 50, 75 e 100 m³ ha⁻¹), três épocas de amostragem do solo (15, 30 e 60 dias). Foram aplicados 100% do resíduo líquido suíno em fundação. A partir de amostras de solo, avaliou-se, cálcio, magnésio, fósforo disponível, potássio, sódio, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico, soma de bases, saturação por base, acidez potencial e capacidade de troca de cátions. Somente os teores de fósforo e potencial hidrogeniônico não foram influenciados pelas doses de resíduo líquido suíno. Os teores de fósforo, condutividade elétrica e soma de bases também não foram influenciados pelas épocas de amostragem. Houve interação significativa de doses e épocas de amostragem para os teores de potássio, sódio, saturação por bases e acidez potencial. Nas épocas avaliadas os maiores valores de cálcio, magnésio e capacidade de troca de cátions, foram observados aos 60 dias após a semeadura. O aumento nas doses de resíduo líquido proporcionou aumento nos teores de sódio, potássio, acidez potencial, condutividade elétrica, capacidade de troca catiônica e diminuição dos teores de cálcio, magnésio e da saturação por bases do solo. A interação de doses e épocas para teores de acidez potencial, potássio e sódio apresentaram maiores valores aos 60 dias de coleta na dose de 100% do resíduo líquido suíno. A aplicação de resíduo líquido da suinocultura incrementa os teores de nutrientes no solo, melhorando as características químicas e físico-químicas.

Palavras-chave: Biofertilizante, fertilidade do solo, nutrientes.

CHANGES IN CHEMICAL ATTRIBUTES OF A ULTISOL FERTILIZED WITH LIQUID WASTE SWINE

Author: Samia Natacia Pinto

Advisor: Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes

ABSTRACT

Agricultural production systems originate various types of organic waste, especially pig farming. When properly handled they can be used as nutrients for plants suppliers improving the physical, chemical and biological soil. This study aimed to evaluate the effects of application of liquid swine waste doses and sampling times on the chemical properties of a ultisol cultivated with corn. The experimental design was a randomized complete block design with four replications in a split plot in time, constituting five liquid waste doses of swine (0, 25, 50, 75 and 100 m³ ha⁻¹), three sampling times ground (15, 30 and 60 days). 100% liquid swine waste in foundation were applied. From soil samples was evaluated, calcium, magnesium, phosphorus available potassium, sodium, electrical conductivity, hydrogenionic potential sum of bases, base saturation, acidity potential and capacity of cation exchange. Only phosphorus and hydrogenionic potential were not affected by doses of liquid pig waste. The phosphorus content, electrical conductivity and sum of bases also were not affected by sampling time. There was a significant interaction between doses and sampling times for levels of potassium, sodium, base saturation and potential acidity. In times evaluated the higher calcium values, magnesium and cation exchange capacity were observed at 60 days after sowing. The increase in liquid waste doses led to an increase in levels of sodium, potassium, potential acidity, electrical conductivity, cation exchange capacity and reduction of calcium, magnesium and saturation of soil bases. The interaction of doses and times for potential acidity levels, potassium and sodium showed higher values at 60 days of collection at a dose of 100% of the liquid pig waste. The application of liquid waste from pig farming increase the nutrient content in the soil, improving the chemical and physicochemical characteristics.

Keywords: Biofertilizer, soil fertility, nutrient.

1. INTRODUÇÃO

A busca por novas fontes de nutrientes para as culturas se reforça principalmente em função do aumento nos custos de produção dos fertilizantes químicos. O uso de resíduo líquido da suinocultura - RLS tem sido estudado como uma alternativa com potencial fertilizante, formado em sua composição por fezes, urina, sobras de ração, água e outros resíduo, constituindo-se fonte de nutrientes para as plantas (FIXEN, 2009).

O impacto ambiental causado pelo manejo inadequado dos resíduos suínos pode causar sérios danos ao meio ambiente, como a emissão de gases nocivos, constituindo-se fonte de contaminação e agressão ao meio ambiente, especialmente para mananciais de água superficiais e subterrâneas (CARDOSO et al. 2015).

Os resíduos suínos é fonte de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos nas dietas dos animais, no entanto, agronomicamente, os resíduos líquidos da suinocultura são considerados fertilizantes não balanceados, em razão da dificuldade de ajustar as diferenças entre as exigências das culturas e a oferta de nutrientes (BERWANGER et al., 2008; SERPA FILHO et al., 2013).

O efetivo de suínos no Piauí em 2015 consistiu em de 837 mil cabeças, correspondente a 14,7% do efetivo da Região Nordeste e 2,2% do País, ficando em décima segunda colocação no Brasil e quarto no Nordeste, atrás dos Estados do Ceará, Maranhão e Bahia. Os municípios de União, Miguel Alves e Barras concentram os maiores rebanhos do Estado (IBGE, 2015).

Estudos comprovam os efeitos benéficos da aplicação de resíduos suínos sobre os teores de nutrientes no solo, como cálcio, magnésio, potássio, fósforo, além do potencial hidrogeniônico, acidez potencial, soma de bases, saturação por bases e capacidade de troca de cátions (CERETTA et al. 2010; MAGGI et al., 2011; CONDÉ et al., 2013; HOMEM et al., 2014; CARMO, 2014; SILVA et al, 2015; PRIOR et al., 2015).

Em razão dos elevados preços dos adubos químicos, fontes alternativas de adubação, principalmente a orgânica, tem aumentado o interesse tanto dos produtores como dos pesquisadores. Se utilizado por vários ciclos consecutivos, o adubo orgânico apresenta efeito residual no solo, gerando estabilidade na

disponibilidade de nutrientes para as culturas, em relação à adubação mineral, reduzindo os custos da produção, além de oferecer uma alternativa para diminuir o impacto destes resíduos ao meio ambiente. Objetivou-se avaliar a ocorrência de alterações nos atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico submetido à adubação com diferentes doses de resíduo líquido de suíno.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Utilização de resíduo suíno como alternativa de adubação

O manejo inadequado dos resíduos da suinocultura podem aumentar os prejuízos ao meio ambiente (CARDOSO et al., 2015). Existem, contudo, técnicas de manejo para os resíduos produzidos por esta atividade que minimizam os impactos negativos ao meio ambiente, tornando o sistema autossustentável. A utilização de resíduos orgânicos como fertilizantes é uma alternativa racional e de grande interesse em termos ambientais, econômicos, sociais e agrônômicos. Aplicar resíduos orgânicos no sistema solo favorece a infiltração e a absorção da água, melhorando a capacidade de troca de cátions, resultando em maiores disponibilidade de nutrientes (HIGASHIKAWA et al., 2010).

Entre as formas de adubação orgânica para o fornecimento de nutrientes ao solo, a aplicação de resíduo líquido de suínos vem se destacando como alternativa, podendo ser utilizada na adubação de culturas produtoras de grãos, fruticultura, pastagens, reflorestamento e mesmo para recuperação de áreas degradadas (MENEZES et al., 2009). Richetti (2011) relata que com uso de resíduos orgânicos na agricultura, como os resíduos líquidos de suínos, é altamente vantajoso, apresenta altos teores de nutrientes, com baixo custo, tornando-se economicamente viável, incrementando a fertilidade do solo e uso de fertilizantes minerais, os quais são responsáveis pela maior parte do custo de produção na agricultura.

O Resíduo líquido suíno apresenta elevado teor de matéria orgânica, melhorando a estrutura do solo, penetração das raízes, redução de plasticidade e coesão; aumento da capacidade de retenção de água; minimização da variação da temperatura do solo; aumento da capacidade de troca catiônica, aumento do poder tampão e da porosidade do solo e diminuição da densidade aparente (TAMANINI, 2004).

É necessário conhecimento da dinâmica de elementos no solo onde se utilizam resíduos de suínos como fertilizante possibilita estabelecer estratégias para corrigir deformidades nos sistemas de produção, visando uma maior sustentabilidade ambiental. O aumento do custo dos fertilizantes comerciais e a crescente poluição ambiental provocam aumento na demanda por pesquisas, para

avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização de resíduos orgânicos (MELO et al., 2008).

Os atributos físicos e químicos do solo são influenciados pela aplicação de matéria orgânica, proporcionando melhor agregação das partículas primárias (areia, silte e argila), permiti a formação de agregados estáveis, melhorando a aeração e drenagem interna, mantendo as proporções ideais entre as fases sólidas, líquidas e gasosas do solo, aumentando de forma direta e indireta a capacidade do solo em reter água, e protege a superfície contra a formação de crostas impermeáveis. (MARÍN et al., 2005).

São diversas as vantagens para a disposição de água residuária no solo, destacando-se, o benefício agrícola gerado pela melhoria nas condições químicas, físicas e biológicas do solo; os baixos custos fixos e operacionais das unidades de tratamento; o baixo consumo de energia, além de se evitar o lançamento de efluentes em corpos d'água (MATOS, 2008).

A matéria orgânica do solo desempenha um papel importante, sendo considerada a principal indicadora da qualidade do solo, servindo de base para sustentabilidade agrícola (LAL, 2004). A quantidade de matéria orgânica do solo é dependente da entrada de material orgânico, da sua taxa de mineralização, da textura do solo e do clima, entre outros fatores. Esses fatores interagem de modo que o teor de matéria orgânica no solo tende em direção a um valor de equilíbrio (KHORRAMDEL et al., 2013).

Quando material orgânico é adicionado ao solo o mesmo é mineralizado, ocorre a transformação em substâncias orgânicas (ácidos orgânicos e húmus) e minerais: nitratos, fosfatos, sulfatos, formas amoniacais, gás carbônico, água, promovendo aumento das cargas negativas do solo e elevação do pH (HECKLER et al., 1998).

2.2. Impactos ambientais causados pelo uso inadequado dos resíduos líquidos de suínos

Os resíduos suínos são resultado da mistura de fezes, urina, resíduo da lavagem das baias, restos de rações, pó e pelos dos animais, e juntamente com a excessiva produção de resíduos, há também a excreção de altas doses de fósforo e nitrogênio. A produção agrícola está sendo voltada para a sustentabilidade dos agroecossistemas e, sendo assim, é fundamental a necessidade do tratamento e

manejo adequado dos resíduos de suínos, retornando os aos sistemas de produção (GONÇALVES JUNIOR, 2008).

No Brasil, em 2010 vigorou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela lei 12.305 que trata da gestão de resíduos sólidos. Mesmo após a regulamentação, o país ainda assim possui precariedade quanto à destinação adequada dos seus resíduos (JACOBI; BESEN, 2011), podendo oferecer riscos ambientais, devido ao grande volume de resíduo produzido pela atividade agrícola. Uma das consequências ambientais da aplicação dos resíduos suínos ao solo acima de sua capacidade de suporte é a transferência de nutrientes para os ambientes aquáticos, causando a eutrofização das águas; dentre os nutrientes adicionados via resíduos o P deve receber uma atenção especial, pois é um dos agentes que contribui para a eutrofização (GATIBONI et al., 2008).

Outro aspecto que contribui para a poluição ambiental da atividade suinícola é o fato das unidades produtoras disporem de pequenas áreas e notadamente os resíduos produzidos serem superiores à capacidade de retenção do solo, nessas condições, passam de adubos a poluentes ambientais (GATIBONI et al., 2008). O uso de resíduos em propriedades, situadas em locais com topografia desfavorável também potencializa o impacto negativo dessa atividade sobre o ambiente (GIACOMINI; AITA, 2008).

No Brasil há necessidade de mais estudos que abordem a influência da nutrição sobre o poder poluente dos resíduos suínos. De acordo com Moreira et al. (2009), uma das grandes preocupações dos pesquisadores é que todo o fósforo inserido via ração não absorvido é excretado nos resíduos e estes são utilizados como adubo orgânico, e o acúmulo do mineral no solo possibilita que parte se ligue às partículas do solo, e outra torna-se um contaminante em potencial para as águas superficiais.

2.3. Aplicação de resíduo líquido de suínos no solo: Alterações na fertilidade

2.3.1. Cálcio (Ca)

O cálcio é absorvido pelas raízes como Ca^{2+} , e a remoção pelas culturas, bem como a lixiviação geram a acidificação do solo, sendo necessário o seu suprimento contínuo. Solos argilosos possuem maiores teores de cálcio que os solos arenosos, podendo ser encontrado nas formas trocável e solúvel, onde a

forma predominante é a trocável, aparecendo como cátion dominante no complexo de troca (65%), seguido de magnésio (20%), potássio (5%) e hidrogênio (10%). Ocorrem em concentrações muito baixas na solução do solo principalmente em solos ácidos das regiões tropicais (VITTI et al. 2006).

Rodrigues et al. (2011) avaliando os efeitos da aplicação de resíduos orgânicos provenientes da CEASA-PE em Argissolo Vermelho-Escuro e Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram teores de cálcio no solo de aproximadamente 8,5 e 5,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente, com aplicação de 80g dm^{-3} de resíduo. Barilli (2005) também avaliando com aplicação de resíduo suíno, em Latossolo Vermelho distroférico com diferentes períodos de aplicação (0, 3, 7 e 26 anos) em quatro profundidades (0-5, 5-10, 20-40 e 60-80 cm) utilizando a cultura do café, verificaram aumento significativo nos teores de cálcio, observando maior teor de cálcio com aproximadamente 5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na profundidade de 5 cm do solo após 26 anos de aplicação.

Ceretta et al. (2003) avaliando as alterações das características químicas de um solo sob pastagem natural e suas implicações agronômicas e ambientais com a utilização de resíduo líquido da suinocultura, observaram que uso sistemático deste material representa a adição de grande quantidade de nutrientes ao solo, e eleva principalmente os teores de fósforo, cálcio e magnésio, além de favorecer a diminuição da saturação de alumínio, melhorando assim, o ambiente de crescimento das plantas.

2.3.2. Magnésio (Mg)

Nos solos o magnésio (Mg) aparece na forma iônica Mg^{2+} variando de 0,1% em solos arenosos, de regiões úmidas, e até 4% em solos argilosos, em regiões áridas ou semiáridas. O magnésio pode está presente no solo como carbonatos insolúveis, em solos calcários, ou em solos que receberam calagem recente, nesses casos, em partículas de granulometria grosseira, que não dissolve rapidamente (VITTI et al., 2006).

A distribuição do magnésio nos solos pode ser considerada semelhante a do potássio e do cálcio e pode ser dividida nas formas: não trocável ou fixa, trocável e solúvel. A forma predominante no solo é não trocável, onde inclui os minerais primários e a maior parte dos minerais secundários. Isso é explicável devido os

solos com grande conteúdo de argila têm maior capacidade adsorvente que os solos arenosos (VITTI et al., 2006).

Silva et al. (2015) trabalhando no município de Uberlândia - MG, utilizando pastagem de *Brachiaria decumbens*, em Latossolo Vermelho eutrófico com doses de resíduos suínos de 60; 120 e 180 m³ ha⁻¹ e profundidades do solo, verificaram que os maiores teores de 0,58 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺ foram encontrados com aplicação de 120 m³ ha⁻¹ na camada de 20 cm.

Em sistemas de cobertura em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argiloso no município de Domingos Martins-ES, Favarato et al. (2015) observaram que os valores do Mg²⁺ reduziram em todos os tratamentos após o cultivo do milho comparados aos valores iniciais, indicando que a aplicação de magnésio via composto orgânico no sistema orgânico sem palha obteve maior valor aproximado de 1 cmol_c dm⁻³.

2.3.3. Fósforo (P)

O fósforo é um nutriente aplicado em maiores quantidades no Brasil, devido sua carência pelas culturas e baixa disponibilidade em solos. Essa carência está relacionada ao fenômeno de fixação, envolvendo reações de precipitação e adsorção, principalmente nos solos muito intemperizados, ácidos e oxidados. O fósforo está presente na fase sólida e líquida, ou seja, adsorvido ou complexado com os oxihidróxidos de ferro e alumínio, com o cálcio e matéria orgânica, ou livre na solução do solo, o fósforo também se apresenta em formas orgânicas e inorgânicas, tanto na fase sólida como na solução do solo, existindo um equilíbrio entre o fósforo adsorvido e o fósforo em solução (ANGHINONI; BISSANI, 2004).

Nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente. De acordo com o maior ou menor grau de estabilidade destes compostos, são definidos como fosfatos lábeis e não-lábeis. A fração lábil é representada pelo conjunto de compostos fosfatados capazes de repor rapidamente a solução do solo, quando é absorvido por plantas ou por microrganismos (HOROWITZ; MEURER, 2004).

O fósforo orgânico é originário dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição e representa de 5 a 80% do fósforo total do solo e, nos solos tropicais, é fonte de fósforo às plantas e deve

ser considerados nos estudos envolvendo a sua dinâmica e biodisponibilidade (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2003; MARTINAZZO, 2007).

Por ser um resíduo que contém teores elevados de matéria orgânica e de outros nutrientes, principalmente o nitrogênio e o fósforo, o resíduo de suínos pode melhorar as propriedades físicas e as características químicas e biológicas do solo, o que possibilita seu aproveitamento na agricultura como fornecedor de nutrientes e elementos benéficos ao desenvolvimento e à produção das plantas (SCHERER et al., 2007).

A disposição intensiva de resíduos de suínos pode promover acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo, principalmente daqueles elementos com menor mobilidade, entre os quais o fósforo segundo Scherer et al. (2007), o que pode potencializar sua transferência via escoamento superficial (BERWANGER, 2006). Gatiboni et al. (2008) observaram que a adição de até $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de resíduos de suínos apresenta apenas um pequeno acúmulo na fração P residual.

Em trabalho realizado por Berwanger et al. (2008), em Argissolo Vermelho eutrófico arenico utilizando doses de 40 e $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de resíduos líquidos de suínos. Observaram que a quantidade de fosforo adicionado com as aplicações sucessivas de resíduo líquido de suíno proporcionou incrementos na fração disponível do solo até a profundidade de 15 cm. (CERETTA et al., 2003).

Silva et al. (2015) avaliando pastagem de *Brachiaria decumbens* com os tratamentos com controle sem adubação, adubação mineral, organomineral (60, 120 e $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de resíduo) nas profundidades de (0-20, 20-40 e 40-60 cm) verificaram que todos os tratamentos diferenciaram da testemunha, o valor máximo de fósforo de $1,64 \text{ g Kg}^{-1}$ foi obtido com a dose de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de resíduo suíno.

A dose equivalente para substituir a adubação mineral tem sido determinada por alguns autores, porém a aplicação de resíduos suínos pode causar desequilíbrios no solo pela aplicação de doses elevadas. Maggi et al. (2013) detectaram que os teores de K, P e N no solo aumentaram de acordo com o aumento das taxas de água residual de suinocultura.

2.3.4. Sódio (Na)

O excesso de sais de sódio, além de trazer prejuízos às propriedades físicas e químicas do solo, provoca a redução do crescimento das plantas cultivadas

provocando sérios prejuízos à atividade agrícola (CAVALCANTE et al., 2010). A salinidade pode ser definida como a situação de excesso de sais solúveis, sódio trocável ou ambos em horizontes ou camada superficiais, afetando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (SCHOSSLER et al., 2012). No entanto, a salinidade nos solos agricultáveis está relacionado às respostas das plantas quanto a fisiologia e metabolismo vegetal, afetando o desenvolvimento dos vegetais, provocando redução na produtividade e, em casos mais severos, podendo levar a morte (FARIAS, 2008).

O sódio, presente em concentrações relativamente altas no percolado, por ser um cátion de alta solubilidade, pode proporcionar aumento na condutividade elétrica e provocar diminuição no potencial osmótico do solo, tornando a água menos disponível. A presença de sódio na água de irrigação sob determinadas condições pode provocar decréscimo na permeabilidade do solo, por ser um cátion muito móvel, pode em regiões de altos índices pluviométricos, se movimenta em direção às águas subterrâneas, contaminando-as (SILVA et al., 2010).

Em relação às propriedades químicas, o aumento das concentrações de sais e sódio trocável, ocasiona redução de sua fertilidade e, em longo prazo, pode levar a desertificação (D'ALMEIDA et al., 2005). De acordo com Erthal et al. (2010), altas concentrações de sódio na solução do solo podem causar alterações na estrutura do solo, pela dispersão dos colóides e subseqüentes entupimentos dos macroporos, causando decréscimo na permeabilidade da água.

O sódio presente nos RLS pode dispersar os colóides do solo, resultando em uma estrutura fraca e muitas vezes compactam o solo (MORAL et al., 2008). Na prática, o principal interesse na aplicação de RLS em solos é o seu valor nutricional, que contribuem para aumento da fertilidade e melhoria das propriedades físicas do solo. No entanto, o alto teor de sódio é prejudicial para o crescimento das plantas e para a qualidade do solo após contínuas aplicações (LI-XIAN et al., 2007).

Silva et al. (2010) avaliando os efeitos da aplicação de percolado de resíduo sólido de abastecimento público urbano (0, 250, 500, 750, 1000 kg ha⁻¹) e profundidades do solo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 60-70 cm) em área cultivada com capim, observaram que à maior taxa de aplicação de percolado proporcionou maior concentração de sódio no solo de 0,73 cmol_c dm⁻³ na camada de 0-10 cm.

Medeiros et al. (2005) avaliando o efeito da aplicação de água residuária de origem doméstica e lâminas de irrigação em profundidades do solo (0–20, 20–40 e 40–60 cm) obtiveram maiores valores de sódio de $0,52 \text{ cmolc dm}^{-3}$ na profundidade de 40-60 cm.

2.3.5. Potássio (K)

O potássio (K^+) apresenta-se no solo apenas como íon monovalente, com dinâmica bastante simples. Sob condições de reduzida taxa de nitrificação, o predomínio da forma amoniacal na solução do solo pode reduzir em cerca de 50% a absorção de potássio. A quantidade de potássio presente na solução do solo é insuficiente, muitas vezes para atender as exigências da culturas. O potássio trocável representa a fração do potássio da fase sólida capaz de suprir a solução do solo, à medida que a planta absorve este nutriente, estando adsorvidos nas cargas negativas dos coloides do solo por atração eletrostática, facilmente deslocados ou trocados por outros cátions da solução do solo (FURTINI NETO et al., 2001).

O potássio está presente no solo em diversas formas: em solução, trocável, não-trocável e mineral, estando as duas primeiras em menor proporção. Quando em solução podem ser influenciado pela capacidade de troca de cátions e a força de adsorção pelo solo e sua adubação inadequada provoca perdas consideráveis por lixiviação. Werle et al. (2008) comentam que em razão do maior teor de argila do solo, boa parte do potássio pode ser fixado aos complexos do solo, reduzindo a lixiviação. Segundo Bertol et al. (2004) o potássio no solo e nos resíduos orgânicos podem ser perdidos por lixiviação mais facilmente quando comparado ao cálcio e magnésio.

Sousa Neto et al. (2014) estudando o efeito da aplicação de chorume em cambissolo e argissolo, observaram que os valores de potássio apresentaram resposta crescente em função do aumento das doses de chorume em cambissolo, explicado pela menor capacidade de retenção de potássio dos solos arenosos, ou ainda, pela quantidade inicial no argissolo ter sido menor que a encontrada no Cambissolo (WERLE et al., 2008).

Trabalhando com a aplicação de doses de resíduo suíno (0, 100, 200 e 300 $\text{m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$) e épocas de amostragem de solo (40, 72, 117 dias após a semeadura), Maggi et al. (2011), constataram que os tratamentos de 300 $\text{m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ e 117 dias

após a semeadura, apresentaram as maiores concentrações de potássio no percolado de 0,39 e 0,43 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente.

Condé et al. (2013) em estudo sobre o impacto da fertirrigação com água residuária da suinocultura nos atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, identificaram que as doses de 50 e 150 $\text{m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de água residuária da suinocultura proporcionaram aumento nos teores de K^+ trocável no solo.

Homem et al. (2014) avaliando o efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura nas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo, verificaram que o teores máximos de potássio de 0,08 e 0,04 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ foram obtidos aos 82 e 138 dias nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente.

2.3.6. Condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica é um indicador da concentração de íons na solução de solo (MIRADA et al. 2006). A alta condutividade elétrica verificada em solos salinos se devem as altas concentrações de sais, podendo restringir a absorção de nutrientes, interferir no desenvolvimento das plantas e reduzir a níveis não econômicos, em função da elevação do potencial osmótico (MENDES et al., 2008).

As elevações de pH e dos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e Na^+ podem ser considerados os principais fatores que provocam aumentos nos valores de CE, em razão do aumento da disponibilidade de nutrientes no solo (PERALTA; COSTA, 2013), podendo ser influenciada pelo tipo e o teor de argila, além da matéria orgânica, e da capacidade de troca de cátions (SILVA et al., 2010).

À medida que a concentração de sais aumenta na solução do solo o potencial osmótico da água no solo reduz, requerendo assim uma energia maior da planta para absorver a água do solo. Miranda et al. (2006) avaliando dois tipos de solo e coberturas vegetais em Argissolo sob mata e pastagem e em Latossolo Vermelho-Amarelo sem cobertura vegetal em cultivo de cafeeiro, verificaram que a maior CE ocorreu na camada de 0-20 cm em Argissolo de mata, apresentando valor aproximado de 1,300 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Oliveira et al. (2002), em trabalho realizado com a aplicação de lodo de esgoto urbano em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana de açúcar,

observaram que a condutividade elétrica do solo aumentou com a aplicação de doses crescentes do lodo de esgoto.

2.3.7. Potencial Hidrogeniônico do solo (pH)

O potencial hidrogênio do solo pode variar entre 3 a 10, mas a maior disponibilidade de nutrientes ocorrem na faixa de pH entre 6,0 a 7,0. Em condições de acidez ou alcalinidade, o solo disponibiliza poucos nutrientes para a produção das culturas. Em condições de acidez do solo há remoção dos cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), sendo substituídos por cátions ácidos (H^{+} , Al^{3+}), podendo o crescimento da maioria das plantas ser drasticamente reduzido. Mas é preciso considerar que as causas variam com próprio pH do solo, como a textura e mineralogia do solo, a força iônica da solução do solo e a espécie vegetal e o teor e o tipo de matéria orgânica utilizado (FURTINI NETO et al., 2001).

Os resíduos orgânicos em geral, possuem potencial para elevar o pH do solo, entretanto, a extensão do efeito é pequena, e insuficiente para provocar efeito significativo, principalmente em solos com alto poder tampão (CASSOL et al., 2001). Ceretta et al. (2003), mencionam que a possibilidade de alteração do pH do solo com a aplicação de resíduo líquido de suínos é mínima, principalmente tratando-se de solos altamente tamponados, ainda que os teores de alumínio possam ser diminuídos, especialmente pelo incremento de compostos orgânicos de baixo peso molecular.

Barilli (2005) avaliando aplicação de resíduo suíno, em Latossolo Vermelho distroférico em períodos de aplicação (0, 3, 7 e 26 anos) em quatro profundidades (0-5, 5-10, 20-40, 60-80 cm), observou para 3, 7 e 26 anos uma diminuição significativa do pH em profundidade. Resultados também observados por Scherer et al. (2007) utilizando doses de esterco suíno de 40 e 115 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ em Latossolo Vermelho distrófico típico nos municípios de Guatambu e Chapecó em Santa Catarina, após três e quatro anos de cultivo de milho, observaram redução de 5,4 para 4,8 até a profundidade de 10 cm para o município de Chapecó.

Resultados encontrados por Cassol et al. (2012) avaliando a disponibilidade de nutrientes e rendimento da cultura do milho em Latossolo fertilizado com doses de resíduo suíno (0,25, 50, 100, 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), observaram que o pH do solo não foi afetado pelos tratamentos. Os autores explicam que a falta de efeito deve-se á

provável ausência de compostos de reações alcalinizantes, como carbonatos ou ânions orgânicos, em quantidade suficiente para provocar impacto significativo na acidez do solo, principalmente quando o poder-tampão é alto, como o solo de estudo. Costa et al. (2011) e Silva et al. (2015) ambos avaliando o efeito de doses de resíduo suíno observaram que não houve interferência dos tratamentos sobre os valores de pH, em todas as profundidades avaliadas.

Condé et al. (2013) trabalhando com resíduo líquido da suinocultura em doses de 0, 50, 100, 150 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e duas profundidades 0-20 e 20-40 cm, não observaram diferenças na camada de 0-20 cm. Já para a profundidade de 20-40 cm obtiveram maiores valores de pH sem utilização do resíduo com valor aproximado de 5,8 sem aplicação do resíduo, atribuindo-se esses resultados às condições naturais do Latossolo que, normalmente, apresentam valores mais ácidos na medida em que se penetra no perfil do solo.

2.3.8. Acidez potencial (H+Al)

A acidez potencial é representada por H+Al, podendo interferir na disponibilidade de nutrientes e na atividade dos microrganismos. Em condição de acidez elevada há limitação de crescimento e desenvolvimento radicular das plantas (Sousa et al., 2007).

A melhoria da fertilidade do solo tem, como uma de suas origens, a diminuição da acidez do solo, que acarreta insolubilização do elemento alumínio, que é tóxico às plantas, através da sua reação de troca iônica com elementos cálcio e magnésio, também a diminuição da acidez aumenta a disponibilidade do fósforo na solução do solo. A diminuição da acidez do solo é feita, normalmente, pela adição de calcário em razão do poder de neutralização, devido ao seu valor de neutralização, a água residuária pode apresentar efeito similar para diminuição da acidez do solo (CAVALLET, 2006).

Scherer et al. (2007) aplicando doses de esterco suíno (40 e 115 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) em Latossolo Vermelho distrófico típico nos municípios de Guatambu e Chapecó em Santa Catarina, após três e quatro anos de cultivo de milho, observaram que a maior acidez potencial para Guatambu e Chapecó, de 17 e 15 cmol_c dm⁻³, respectivamente, apresentaram-se na profundidade de 40-50 cm.

Lourenzi et al. (2016) Trabalhando em Latossolo Vermelho distroférico com doses de 0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹ de composto orgânico derivado de dejetos líquidos de suínos e adubação mineral em seis anos de aplicação com sucessão de culturas anuais, e avaliando profundidades do solo (0–4, 4–8, 8–12, 12–16, 16–20, 20–40 e 40–60 cm), não observaram diferenças entre os tratamentos para H+Al até a profundidade de 8 cm, entretanto, abaixo desta camada, os tratamentos apresentaram menores valores do que a área que não recebeu as aplicações.

Simonete et al. (2003) avaliando doses de lodo de esgoto (0, 10, 20, 30, 40 e 50 Mg ha⁻¹) em Argissolo Vermelho-Amarelo na cultura do milho, obtiveram maior valor de acidez potencial na dose de 53,25 Mg ha⁻¹ de 4,1 cmol_c dm⁻³. Ricci et al. (2010) em seus estudos utilizando doses de 0, 20, 40, 80 Mg ha⁻¹ de composto orgânico de lodo de esgoto e resíduos de roçagem na recuperação de um solo decapitado, observaram que houve redução da acidez potencial de 3,0 para 2,6 cmol_c dm⁻³ na dose 80 Mg ha⁻¹, após 2 anos da aplicação.

2.3.9. Soma de Bases (SB)

A soma de bases trocáveis do solo representa a soma dos teores de cátions cálcio, potássio e magnésio e sódio exceto H⁺ e Al³⁺. Em estudo realizado por Simonete et al. (2003) que avaliando o efeito de doses de lodo de esgoto de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 Mg ha⁻¹ na cultura do milho em Argissolo Vermelho-Amarelo, obtiveram maior soma de base de 10,4 cmol_c dm⁻³ com a aplicação de 50 Mg ha⁻¹.

Também Homem et al. (2014) trabalhando com doses de resíduo líquido da suinocultura (0, 50, 100, 150 m³ ha⁻¹ ano) e tempos de coletas (0, 82 e 138 dias) e profundidades (0-20 e 20-40 cm) em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico cultivado com pastagem, verificaram as maiores soma de base de 4,24 e 3,28 cmol_c dm⁻³ aos 82 dias, nas camadas de 0-20 e 20-40, respectivamente. Justificando-se pela diminuição dos nutrientes no solo, que influenciam este parâmetro.

Bonini et al. (2015) em estudo com lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado, observaram que o solo cultivado com eucalipto e braquiária com dose de 60 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, apresentou maior soma de base de 2,77, 2,15, 1,82, 1,01 cmol_c dm⁻³ nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente.

Pesquisa sobre a influencia de doses resíduo líquido da suinocultura Prior et al. (2015) trabalhando com doses de (0, 112,5, 225,0, 337,5 e 450,0 m³ ha⁻¹) e épocas de coletas (0, 40, 70, 95 e 200 dias após a semeadura) em cultivo de milho num solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, encontraram maiores soma de 12,92 e 12,55 cmol_c dm⁻³ aos 200 dias e 112,5 m³ ha⁻¹ de resíduo, respectivamente.

2.3.10. Saturação por bases (V%)

A saturação por bases é um indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, os solos podem ser divididos de acordo com a saturação por bases em solos eutróficos saturação igual ou superior a 50% e solos distróficos com saturação por base menor que 50%. A necessidade da correção do solo pode ser avaliada pela saturação por bases (V%), em que se obtêm índices da relação de cálcio, magnésio e outros cátions.

Simonete et al. (2003) descrevem que a saturação no solo aumenta, em razão da aplicação de lodo de esgoto provavelmente, ao aporte de cálcio, magnésio e sódio presentes na constituição química da água residuária e concomitante insolubilização de alumínio trocável no solo.

Lourenzi et al. (2016) trabalhando em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico com a aplicação de doses de 0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹ de composto orgânico derivado de dejetos líquidos de suínos e adubação mineral em seis anos de aplicação com sucessão de culturas anuais, e avaliando as profundidades do solo (0-4, 4-8, 8-12, 12-16, 16-20, 20-40 e 40-60 cm) obtiveram maior saturação por base de 95% na profundidade de 0-4 cm.

Homem et al. (2014) trabalhando com a aplicação de resíduo líquido da suinocultura (0, 50, 100, 150 m³ ha⁻¹ ano), tempos de coletas de solo (0, 82 e 138 dias) e profundidades (0-20 e 20-40 cm) em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, cultivado com pastagem, verificaram as maiores saturações por bases de 64,39% e 54,43% aos 82 dias nas referidas profundidades, respectivamente. Simonete et al. (2003) avaliando doses de lodo de esgoto em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com milho, obtiveram maior valor de saturação por base na dose de 50 Mg ha⁻¹ com valor de 71,33%.

Bonini et al. (2015) estudando o efeito da aplicação de lodo de esgoto em conjunto com a adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado, observaram que as doses de lodo de esgoto e a adubação mineral promoveram aumento na saturação por base, em área cultivada com eucalipto e tratada com a dose de 30 Mg ha⁻¹ obteve melhores resultados para saturação por bases nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm de profundidade.

Prior et al. (2015) pesquisando a influência de doses de resíduo líquido da suinocultura (0, 112,5, 225,0, 337,5 e 450,0 m³ ha⁻¹) e épocas de coletas (0; 40; 70; 95 e 200 dias após a semeadura) em Latossolo Vermelho distroférico típico, cultivado com milho, observaram que a saturação por base foi maior aos 200 dias após a semeadura de 82,62%.

2.3.11. Capacidade de troca de cátions (CTC)

Para o manejo da fertilidade do solo a capacidade de troca de cátions é de grande importância, pois reflete a capacidade do solo em reter cátions em condições ótimas de pH, fornecendo uma ideia das possibilidades de perdas de cátions por lixiviação, do potencial de salinidade. Valores de CTC efetiva menores que 2,3 cmol_c dm⁻³ segundo a comissão de fertilidade de solo de Minas Gerais, indica baixa quantidade de matéria orgânica no solo.

Homem et al. (2014) estudando os efeitos da aplicação de doses de resíduo líquido da suinocultura (0, 50, 100, 150 m³ ha⁻¹) e profundidade (0-20 e 20-40 cm) em cultivo de pastagem em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, observaram as maiores capacidade de troca de cátions aos 82 dias nas camadas de 0-20 e 20-40 cm com valores de 4,30 e 3,78 cmol_c dm⁻³, respectivamente.

Queiroz et al. (2004) trabalhando em solo Podzólico Vermelho-Amarelo com quatro espécies forrageiras, duas qualidades de água aplicadas (residuária da suinocultura e da rede de abastecimento) e duas épocas (início do experimento e final do experimento) obtiveram maiores valores de CTC com aplicação de resíduo líquido suíno com valores de 5,94 e 6,46 cmol_c dm⁻³ no início e final do experimento, respectivamente.

Trabalhando em solo classificado como Latossolo em sistemas de cultivos com plantas de cobertura Favarato et al. (2015) observaram que a adição do composto orgânico, incrementou a CTC do solo após o cultivo do milho verde.

No entanto, Costa et al. (2011) trabalhando com dois sistemas de culturas (com e sem rotação com plantas de cobertura) e fontes de adubação (mineral, orgânica e mineral + orgânica), nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade em Latossolo Vermelho eutrófico, não constataram alterações na CTC do solo. Steiner et al. (2011) também relatam que a CTC não foi influenciada por sistemas de culturas e fontes de adubação nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm.

Erthal et al. (2010) trabalhando com taxas de aplicação da água residuária da bovinocultura (25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹) e épocas (53, 79, 105, 129, 153, 194 e 235 dias) em ambiente protegido, constataram aumento da CTC na camada superficial do solo de 2,5 cmol_c dm³ aos 53 dias, para 5,0 cmol_c dm³ aos 235 dias.

3. METODOLOGIA

3.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental no departamento de Engenharia Agrícola e Solos (DEAS) do Centro de Ciências Agrárias (CCA), pertencente à Universidade Federal do Piauí em Teresina, Piauí, durante o período de agosto a novembro de 2015. O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas, obtidas com o uso de GPS: latitude - $05^{\circ}2'35,78''$ S, longitude - $42^{\circ}46'56,01''$ O e altitude 74 m (Figura 1).



Figura 1. Localização da área experimental, CCA- UFPI

O clima da região segundo Thornthwaite e Mather (1955) é definido como subúmido seco e apresenta precipitação pluviométrica média de 1345,7 mm/ano, com médias de temperatura mínima e máxima de 23 e 36°C, respectivamente, embora sejam comuns temperaturas acima de 40 °C nos meses mais quentes, com mínima raramente inferior a 20°C. O quadrimestre mais chuvoso corresponde aos meses de janeiro a abril com totais mensais médios oscilando entre 194 a 327,9 mm (SILVA et al., 2015).

O experimento foi conduzido em condições de sequeiro e suplementado com irrigação por aspersão convencional, quando ocorrência de veranicos. Os parâmetros climáticos durante a condução do experimento foram de acordo com o INMET, (2015). Assim as principais informações consideradas no período de

condução da cultura do milho-verde, foram as condições médias de temperatura do ar e precipitação pluviométrica, responsável pelo fornecimento hídrico para cultura.

As médias de Temperatura e umidade do ar mínima, média e máxima foram 29,5; 22,0, 37,09 °C; 63,6; 59,7 e 67,5 %, respectivamente. A média de saldo de radiação foi de 14,2 MJ m⁻² dia⁻¹, com precipitação pluviométrica total observada durante o período experimental de 17,8 mm (Figura 2).

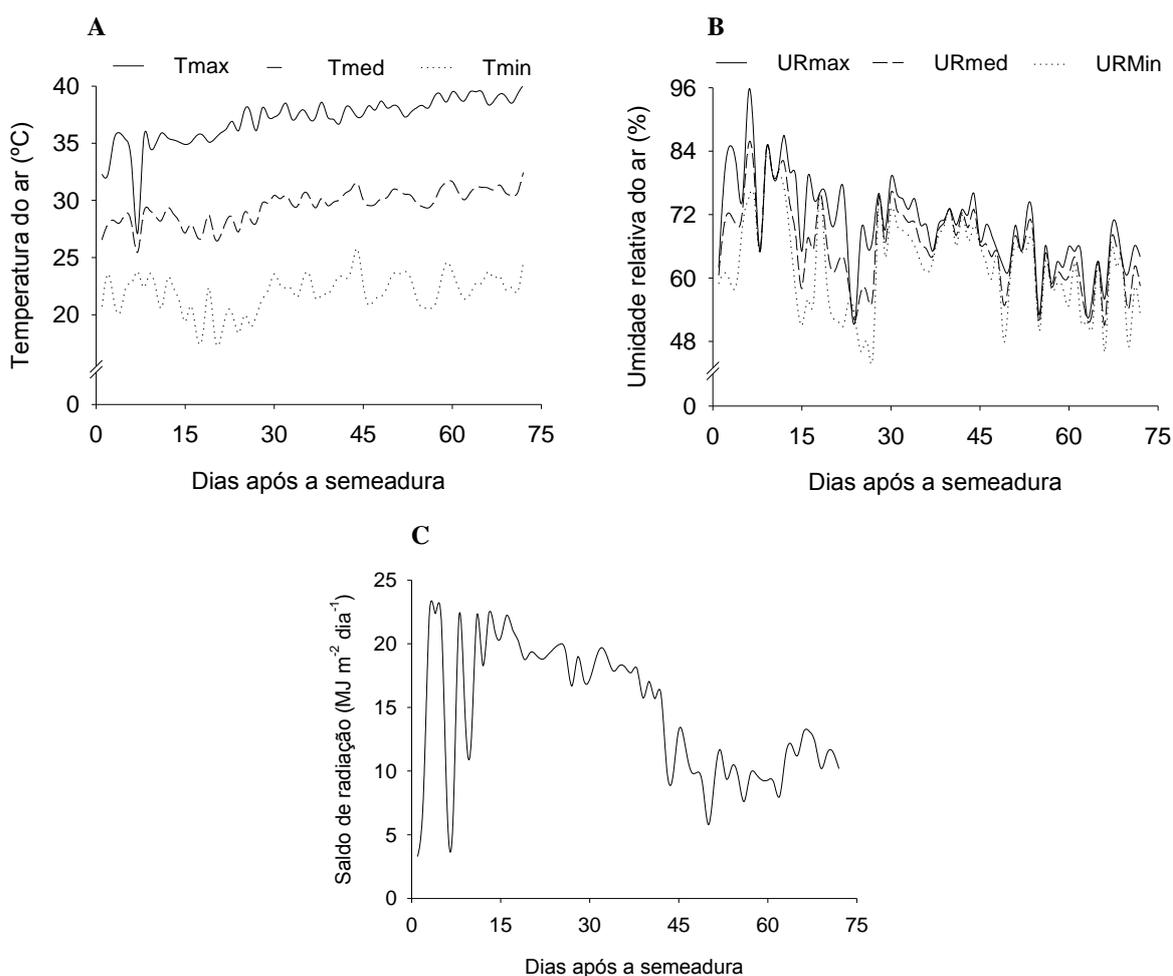


Figura 2. Temperatura do ar (A), Umidade relativa do ar (B) e Saldo de radiação (C), observados durante o período experimental, no município de Teresina, PI, 2015

A área experimental foi utilizada para cultivo de milho no ano de 2013, e após a colheita permaneceu dois anos sem cultivo. No primeiro semestre de 2015, instalou-se um experimento com milho-verde (*Zea mays*), cultivar comercial AG 1051, em resposta à aplicação de doses de resíduo líquido da suinocultura (0, 25, 50, 75 e 100 m³ ha⁻¹).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (SANTOS et al., 2013), cuja classe textural na camada de 0 à 40 cm é classificada como areia-franca. Para a caracterização dos atributos químicos coletou-se 10 amostras simples e deformadas de solo, para cada amostra composta, na profundidade de 0,0 - 20 m. Para os atributos físicos foram coletadas amostras indeformadas nas referidas profundidades com o uso de anéis volumétricos de 97,67 cm³ (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e física da área experimental antes da instalação do experimento

Atributos químicos									
pH H ₂ O	M.O g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K ⁺ -----	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ -----	H+ Al -----	CTC -----	V %	Na ⁺ cmol _c dm ⁻³
Profundidade de 0,0 - 0-20 m									
6,49	4,91	22,16	0,2	2,27	0,76	1,02	3,32	76,2	0,06
Profundidade de 0,20 - 0,40 m									
6,53	3,2	22,1	0,3	2,19	0,73	1,06	3,26	75,4	0,05
Atributos físicos									
Areia -----		Silte -----	Argila -----		Densidade do solo -----				
g kg ⁻¹		g kg ⁻¹	g kg ⁻¹		g cm ⁻³				
Profundidade de 0,0 - 0-20 m									
840		90	70		1,56				
Profundidade de 0,20 - 0,40 m									
790		130	80		1,52				

CTC – capacidade de troca de cátions; H+Al – Acidez potencial; pH – potencial hidrogenionico.

3.2. Delineamento experimental

Estudou-se em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições, o efeito da aplicação de cinco doses de resíduo líquido da suinocultura (0, 25, 50, 75 e 100 m³ ha⁻¹), três épocas de amostragem de solo (15, 30 e 60 dias após a semeadura) sobre os atributos químicos e físico-químicos do solo.

As parcelas experimentais foram constituídas por três fileiras de plantas, espaçadas por 0,30 m entre plantas e 0,80 m entre linhas, sendo considerada a fileira central como parcela útil, totalizando 1,2 m². Desconsideraram-se as três plantas das extremidades, efetuando as coletas de solo nas cinco plantas da área central da parcela (Figura 3).

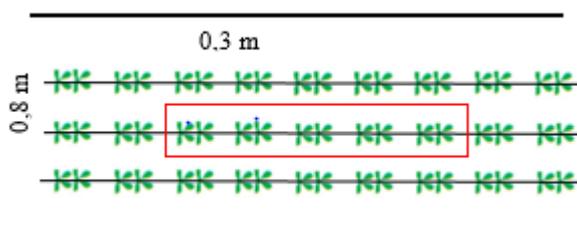


Figura 3. Representação da parcela experimental.

3.3. Composição química do resíduo líquido da suinocultura (RLS)

O resíduo da suinocultura aplicado foi coletado em uma unidade de produção comercial de suínos no município de Timon - MA, onde os animais encontravam-se em fase de engorda (70 e 120 dias de idade), sendo a dieta balanceada conforme a necessidade dos animais em cada fase de desenvolvimento. A ração fornecida era composta de 30,0 kg de farelo de soja, 66,0 kg de farelo de milho e 4,0 kg de Premix® para cada 100 kg da ração.

As amostras do dejetos foram coletadas e encaminhadas ao SOLOCRIA Laboratório Agropecuário LTDA, localizado em Goiânia/GO, para sua caracterização química. Os resultados foram convertidos para $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$. A caracterização do resíduo líquido suíno encontra-se na tabela 2.

Tabela 2. Caracterização do resíduo líquido suíno aplicado

Composição química do RLS									
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn
-----g dm ⁻³ -----									
2,04	1,14	1,20	0,56	0,21	0,16	0,01	0,01	0,05	0,01
pH	D (g mL ⁻¹)	U %	C.O %	C/N	M.O %	CE (mS cm ⁻¹)			
5,38	1,02	98,00	7,20	3,70	1,30	10,78			
Pb	Cd	Cr	Ni	Co	B	Mo			
-----ppm-----					-----g dm ⁻³ -----				
0,01	0,01	85,00	0,20	0,0001	0,0006	0,0001			

Nitrogênio (N), fósforo (P₂O₅), potássio (K₂O), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre(S), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), pH (H₂O) relação 1:2,5, densidade (D), umidade (U), carbono orgânico (C.O), relação C/N, matéria orgânica (M.O), condutividade elétrica (CE), chumbo (Pb), cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Co), boro (B), molibdênio (Mo).

3.4. Cultura, semeadura e aplicação do resíduo

O estudo foi realizado com a cultura do milho (*Zea mays* L.) com sementes do híbrido duplo comercial AG 1051, escolhido por apresentar características

adaptadas às condições edafoclimáticas da região, ciclo semiprecoce e desenvolvido para produção de grãos, silagem e milho-verde (CASTRO, 2007).

Aplicou-se as doses de RLS como única fonte de nutriente, uniformemente em sulcos, abertos à profundidade de 0,10 m e espaçados em 0,80 m, com auxílio de um regador, incorporando-o ao solo com enxada (Figura 4). A semeadura foi realizada manualmente no dia 17 de agosto de 2015 usando-se uma semente por cova, a 3 cm de profundidade, visando-se atingir densidade de plantio de 41.666 plantas ha⁻¹.

3.5. Coletas das amostras de solo



Figura 4. Aplicação do resíduo (A) experimento após a aplicação do resíduo (B)

Foram coletadas amostras de solo deformadas com o uso de trado holandês e armazenadas em saco plástico, numeradas e lacradas. Para cada amostra composta coletou-se 10 amostras simples a uma distância de 15 cm da planta, na profundidade de 0,0 - 0,20 m. Logo após as coletas, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de solos (LASO) da Universidade Federal do Piauí, para realização das análises.



Figura 5. Trado holandês (A) e amostras de solo (B)

3.6. Atributos químicos avaliados

Avaliou-se os teores trocáveis de cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), fósforo (P), sódio (Na^+), potássio (K^+), potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions (CTC), soma de base (SB), saturação por base (V%), utilizando-se a metodologia descrita por Silva et al. (2009) e a condutividade elétrica do solo (CE) determinada conforme, Claessen et al. (2011).

3.7. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) pelo teste “F” ao nível de 5% de probabilidade. Para as diferenças significativas entre os fatores qualitativos procedeu-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade, e para os fatores quantitativos, análise de regressão polinomial, testando-se os modelos de regressão linear e quadrático para verificar o efeito dos tratamentos utilizados.

As equações de regressão foram escolhidas, em função da significância dos coeficientes de regressão, à nível de 5% de probabilidade e no maior valor do coeficiente de determinação (R^2). As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados da ANAVA, com exceção de fósforo os demais parâmetros foram influenciados pelas doses de resíduo líquido suíno. As épocas de amostragens não influenciaram as variáveis, fósforo e condutividade elétrica. Houve interação significativa entre as doses e épocas de amostragem para potássio e sódio (Tabela 3).

Tabela 3. Síntese da análise de variância dos teores de cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), fósforo (P), potássio (K^+), sódio (Na^+) e condutividade elétrica (CE) do solo em função da aplicação de resíduo líquido de suínos e épocas de amostragem.

Fonte de variação	-----Valor do teste F-----					
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	P	K^+	Na^+	CE
Bloco	1,738 ^{ns}	1,759 ^{ns}	15,204 ^{**}	1,275 ^{ns}	1,380 ^{ns}	0,232 ^{ns}
Dose	4,990 [*]	4,938 [*]	0,696 ^{ns}	117,141 ^{**}	4,885 ^{**}	5,908 ^{**}
Época	27,713 ^{**}	59,937 ^{**}	4,333 ^{ns}	106,932 ^{**}	75,912 ^{**}	2,134 ^{ns}
Dose x época	1,785 ^{ns}	2,066 ^{ns}	1,756 ^{ns}	10,655 ^{**}	7,216 ^{**}	1,279 ^{ns}
Média geral	2,163	0,718	22,818	0,202	0,161	0,392
CV 1 (%)	14,57	14,14	34,07	11,29	13,12	8,82
CV 2 (%)	11,95	7,61	15,06	15,57	16,75	15,09
CV 3 (%)	12,73	13,71	26,36	12,3	16,6	9,36

CV- Coeficiente de variação; * Significativo a 5%; ** Significativo a 1% de probabilidade; ns- Não significativo.

As doses de resíduo líquido suíno utilizadas no presente estudo, contribuíram significativamente para o incremento da fertilidade do solo, podendo reduzir o uso de fertilizantes minerais, os quais são responsáveis pela maior parte do custo de produção na agricultura, além de possibilitar o uso de estratégias para melhorias na sustentabilidade ambiental (MELO et al., 2008; RICHETTI, 2011). O efeito positivo da aplicação de resíduos suíno para a fertilidade do solo, também foi observado por Ceretta et al. (2003), Barilli (2005), Berwanger et al. (2008), Maggi et al. (2013).

Para os teores de cálcio e magnésio no solo, verificou-se resposta de regressão linear com a aplicação de doses de RLS, o acréscimo das doses foram seguidas de reduções nos teores de Ca e Mg, que apresentaram valores máximos de 2,39 e 0,78 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na ausência de aplicação, resultando em reduções de 19,25 e 17,43% respectivamente, quando comparado à dose de 100 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de RLS (Figura 6A e B).

Provavelmente houve maior extração de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) pela cultura do milho nas maiores doses, demonstrando que a taxa de utilização destes nutrientes pela planta, é maior que a reposição pelo RLS (HOMEM et al., 2014). No entanto, Ricci et al. (2010) observaram que houve incremento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} com a aplicação de 80 Mg ha^{-1} lodo de esgoto.

Provavelmente houve maior extração de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) pela cultura do milho nas maiores doses, demonstrando que a taxa de utilização destes nutrientes pela planta, é maior que a reposição pelo RLS (HOMEM et al., 2014). No entanto, Ricci et al. (2010) observaram que houve incremento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} com a aplicação de 80 Mg ha^{-1} lodo de esgoto.

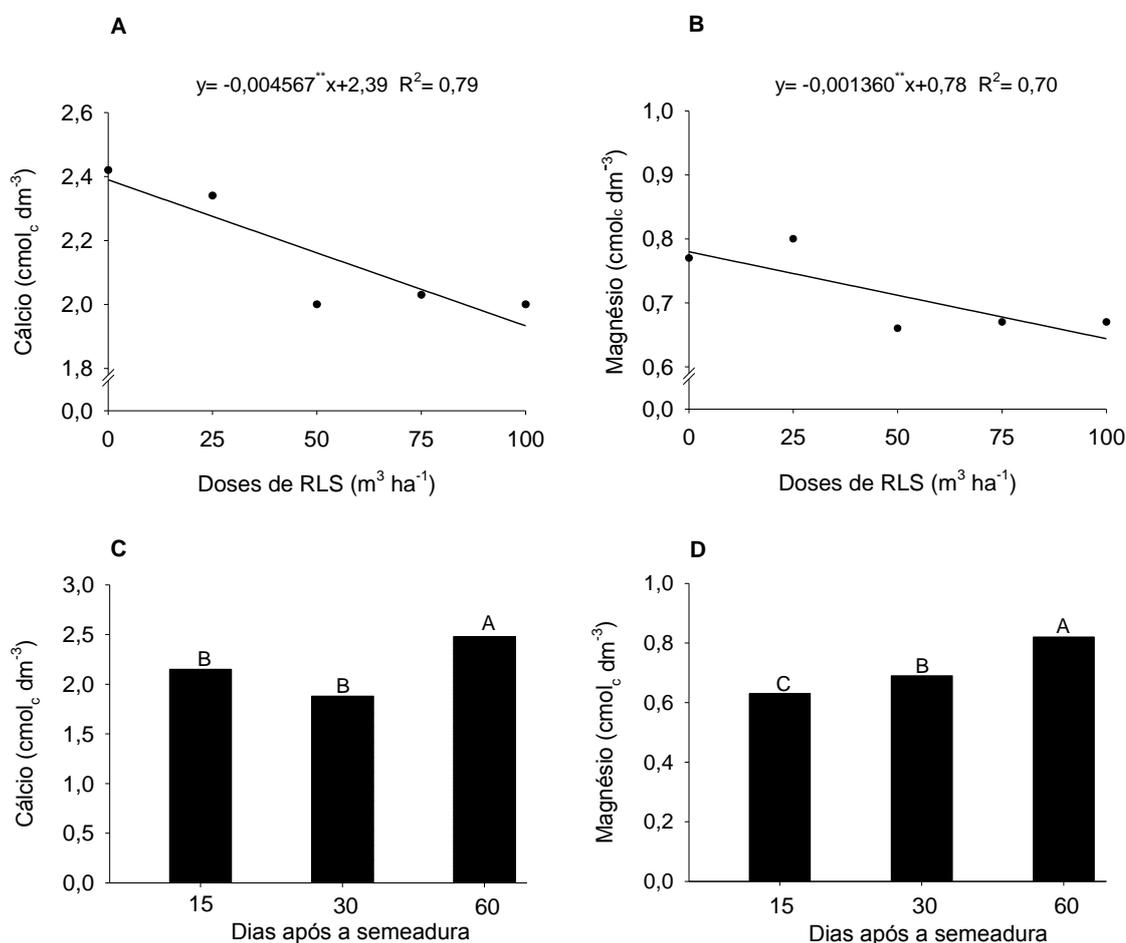


Figura 6 - Teores de cálcio (A) e Magnésio (B) no solo em função de doses de resíduo líquido suíno e em função das épocas de amostragem (C e D). Médias seguidas por letras distintas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os valores máximos de teores de cálcio e magnésio do presente estudo são inferiores aos reportados por Rodrigues et al. (2011) e Silva et al. (2015) de aproximadamente $8,5$ e $6,58 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} e Mg^{2+} respectivamente, obtidos

com aplicação de 80 g dm^{-3} de resíduo vegetal e $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de RLS. Pode-se inferir que essas diferenças estão em função do tipo e composição do resíduo, época de avaliação e condições edafoclimáticas locais.

Os teores de cálcio e magnésio no solo diferiram entre as épocas de amostragem, obtendo-se aos 60 dias após a semeadura, os maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} de 2,48 e 0,82 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, correspondendo a ganhos de 13,30 e 23,17% respectivamente, em relação aos 15 dias após semeadura (Figura 6C e D). Esta superioridade pode ser atribuída pelo incremento desses nutrientes ao solo através do processo de mineralização do resíduo orgânico (ERTHAL et al., 2010). Esses resultados são contrários aos observados por Homem et al. (2014), que avaliando o efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura aos 0, 82 e 138 dias após a aplicação em área cultivada com *Brachiaria decumbens*, observam diminuição dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} ao longo do experimento.

Os teores de potássio e sódio no solo foram influenciados pela interação entre as doses de RLS e as épocas de amostragem do solo. Para as coletas aos 60 dias após a semeadura, observou-se ajuste ao modelo de regressão linear crescente para K^+ e Na^+ , com valores máximos de 0,39 e 0,27 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente, obtido com aplicação de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Figura 7A e B). Esses resultados são justificados pela adição de K^+ e Na^+ presentes no RLS, os quais podem ter sido liberados pelo resíduo orgânico, lentamente ao solo, favorecendo a terceira época amostrada. Aumentos nos teores de K^+ no solo em função da aplicação de RLS também foram observados por Condé et al. (2013).

Esse resultado é superior aos reportados por Cabral et al. (2011) de 0,16 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K^+ verificados na ausência do RLS. Já Queiroz et al. (2004) trabalhando com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com gramíneas forrageiras, constataram teores de Na trocável de 0,10 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com a aplicação de 800 kg ha^{-1} de RLS. Pode-se inferir que a superioridade do presente estudo, está relacionada aos teores iniciais destes nutrientes no solo, da concentração do elemento no resíduo orgânico, época de amostragem e condições edafoclimáticas locais.

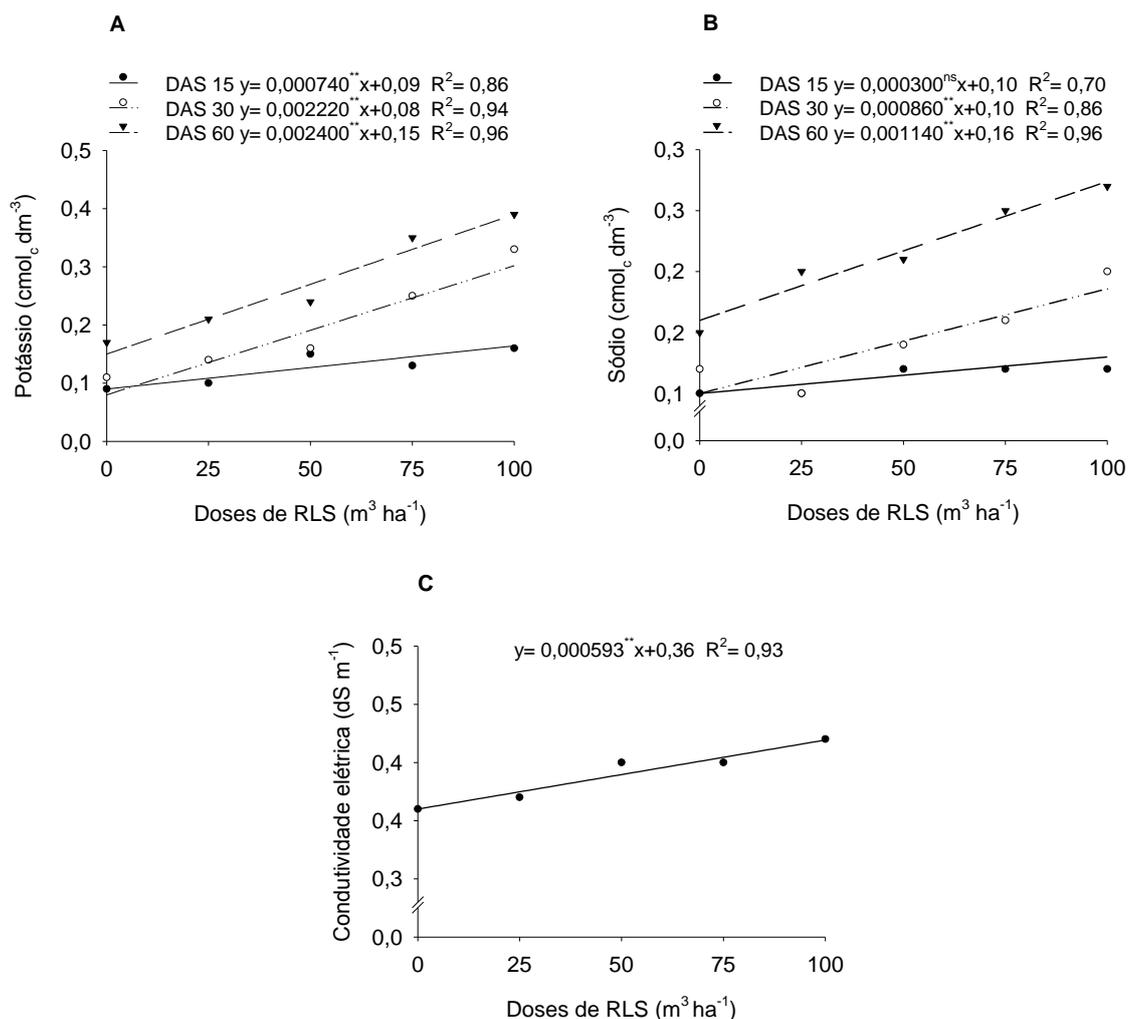


Figura 7- Teores de potássio (A), Sódios (B) e Condutividade elétrica (C) no solo em função da aplicação de doses de resíduo líquido suíno e épocas de amostragem de solo.

A condutividade elétrica aumentou ao se elevar os níveis de RLS, com valor máximo de $0,41 \text{ dS m}^{-1}$ obtido com a aplicação de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de RLS (Figura 7C). Esse resultado era esperado, uma vez que a maior parte dos sais contidos no RLS, como K^+ e Na^+ , foram incrementados com o aumento das doses aplicadas. Ressalta-se que a condutividade elétrica observada é considerada baixa, no entanto em condições de altas concentrações de Na^+ no solo, aumenta-se a condutividade elétrica, diminuindo o potencial osmótico do solo, causando distúrbios e comprometendo o desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2010).

De acordo com os resultados da ANAVA, com exceção do potencial hidrogenionico os demais parâmetros foram influenciados pelas doses de resíduo líquido suíno. As épocas de amostragens não influenciaram os valores de soma de base. Houve interação significativa entre as doses e épocas de amostragem para valores de saturação por base e acidez potencial (Tabela 4).

Tabela 4. Síntese da análise de variância do potencial hidrogeniônico (pH), soma de base (SB), saturação por base (V), acidez potencial (H+Al), CTC efetiva (t) do solo em função da aplicação de resíduo líquido de suínos e épocas de amostragem.

Fonte de variação	-----Valor do teste F-----				
	pH	SB	V	H+Al	CTC(t)
Bloco	0,603 ^{ns}	2,164 ^{ns}	1,663 ^{ns}	1,167 ^{ns}	2,464 ^{ns}
Dose	1,060 ^{ns}	6,694 ^{**}	83,438 ^{**}	142,700 ^{**}	5,394 ^{**}
Época	10,993 ^{**}	0,145 ^{ns}	605,345 ^{**}	2246,576 ^{**}	22,595 ^{**}
Dose x época	1,884 ^{ns}	0,530 ^{ns}	71,564 ^{**}	30,115 ^{**}	2,534 ^{ns}
Média geral	7,238	3,272	63,485	2,164	3,241
CV 1 (%)	4,10	8,55	3,86	8,08	12,49
CV 2 (%)	6,93	7,46	5,42	6,17	12,21
CV 3 (%)	4,49	9,47	3,92	11,14	11,76

CV- Coeficiente de variação; * Significativo a 5%; ** Significativo a 1% de probabilidade; ns- Não significativo.

O potencial hidrogeniônico (pH) do solo foi influenciado pelas épocas de coleta, o valor mínimo de 6,83 foi observado aos 60 DAS, com maiores pH nas épocas de 15 e 30 DAS (Figura 8A). A diminuição de pH ao longo do tempo pode estar associada às reações de nitrificação do nitrogênio, à oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos provenientes da degradação do resíduo orgânico, na camada de 0,0 – 0,20 m, uma vez que em maiores profundidades a atividade da microbiota do solo é reduzida em razão da menor disponibilidade de matéria orgânica (SIMONETE et al., 2003; COSTA et al., 2014; BONINI et al., 2015). Esses resultados assemelha-se aos observados por Queiroz et al. (2004) que notaram redução do pH nas parcelas de solo que receberam água residuária da suinocultura.

No entanto são contrários aos verificados por Cassol et al. (2012), Costa et al. (2011) e Silva et al. (2015) ambos avaliando o efeito de dose de RLS, épocas de amostragens do solo não observaram efeito dos tratamentos sobre o potencial hidrogeniônico do solo.

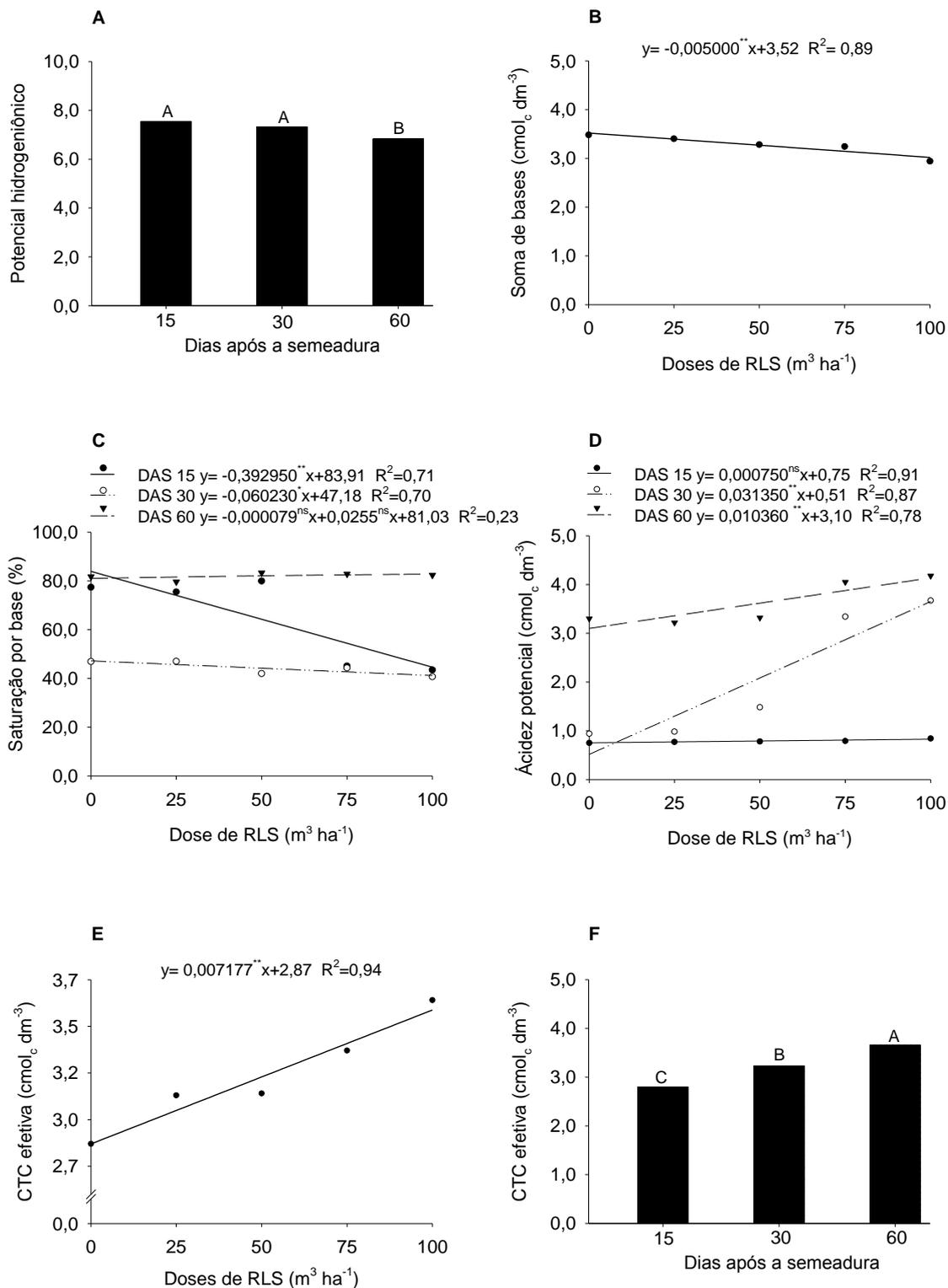


Figura 8- Potencial hidrogeniônico (A) e CTC efetiva (F) em função de épocas de amostragem, Soma de base (B) e CTC efetiva em função de doses de resíduo líquido suíno, Saturação por base (C) e Acidez potencial (D) em função doses de RLS e épocas de amostragens. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para a soma de base observou-se resposta de regressão linear decrescente com a aplicação de doses de RLS, com o máximo de $3,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ verificado no tratamento sem aplicação (Figura 8B). Já a saturação por bases e acidez potencial

(Figura 8C e D) observou-se efeito de interação entre as doses de RLS e épocas de amostragens de solo, com valores máximos de 83,91% e 4,13 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, obtidos nos tratamentos sem aplicação e com 100 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de RLS, aos 15 e 30 dias após a semeadura, respectivamente.

Esses resultados são atribuídos a: (i) pela maior extração dos nutrientes considerados bases do solo (Ca^{2+} e Mg^{2+}) pela cultura do milho que influenciam diretamente na soma e na saturação por bases (HOMEM et al., 2014); (ii) pela diminuição do pH ao longo do tempo, o que aumenta os teores de alumínio trocável no sítios de troca do solo (ERTHAL et al., 2010; BONINI et al., 2015).

Em estudos conduzidos por Queiroz et al. (2004) e Homem et al. (2014) ambos verificaram diminuição na soma e na saturação por bases com aumento dos dias após a aplicação da água residuária da suinocultura, corroborando com o presente estudo. No entanto, resultados contrários foram observados por Erthal et al. (2010) que constataram aumentos na saturação por base com a aplicação de água residuárias. Estes contrastes podem estar associadas às altas concentrações de íons e aos colóides presentes nos efluentes (HOMEM et al., 2014).

Verificou-se que a capacidade de troca de cátions melhor se ajustou ao modelo de regressão linear, em resposta à aplicação de doses de RLS, tendo o máximo de 3,58 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ obtido com 100 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ (Figura 8E). As épocas de amostragem diferiram significativamente, observando-se maior valor de 3,66 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ aos 60 dias após a semeadura (Figura 8F). Esses resultados estão em razão do incremento da matéria orgânica do solo, promovida pela aplicação de resíduos com altas concentrações de íons e colóides orgânicos, aumentando a CTC do solo e a disponibilidade de nutrientes ao longo do tempo, pela mineralização (ERTHAL et al., 2010; BONINI et al., 2015).

Salienta-se que a diminuição dos teores de matéria orgânica do solo, reduz a capacidade de troca de cátions, principalmente em solos de textura arenosa, como o do presente estudo (Tabela 4) em que a CTC é basicamente dependente da matéria orgânica (HOMEM et al., 2014).

A capacidade de troca de cátions obtida aos 60 dias após a semeadura são inferiores aos reportados por Queiroz et al. (2004) e Erthal et al. (2010) que observaram valores máximos de 6,46 e 5,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no final do experimento e aos 235 dias após a aplicação respectivamente. Favarato et al. (2015) constataram

que a adição de composto orgânico, incrementou a CTC do solo após o cultivo do milho verde.

5. CONCLUSÃO

O aumento nas doses de resíduo líquido suíno, promove redução nos teores de cálcio e magnésio e soma de bases do solo.

Os maiores teores de sódio, potássio e acidez potencial são observados com $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de resíduo líquido suíno aos 60 dias após a semeadura.

Os maiores teores de cálcio, magnésio e capacidade de troca de cátions são obtidos aos 60 dias após a semeadura.

6. REFERÊNCIAS

ANGHINONI, I. & BISSANI, C.A. **Fósforo e adubos fosfatados**. In: BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fertilidade do solo e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre, Genesis, v.1, p.117-138, 2004.

BARILLI, J. **Atributos de um latossolo vermelho sob aplicação de resíduos de suínos**. Tese (Doutorado). 83 p., 2005.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F.T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 485-494, 2004.

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; SANTOS, D. R. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de resíduos líquidos de suínos. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2525-2532, 2008.

BERWANGER, A.L. **Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com aplicação de resíduo líquido de suínos**. Dissertação (Mestrado). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 102 p. 2006.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. A.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, V.19, N. 4, P. 388-393, 2015.

CABRAL, J.R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.823–831, 2011.

CARDOSO, B. F.; OYAMADA, G. C.; SILVA, C. M. **Produção, Tratamento e uso dos resíduos suínos no brasil desenvolvimento em questão**, v. 13, n. 32, p. 127-145, 2015.

CARMO, D. L. **Condutividade elétrica e sua relação com a fertilidade de solos tratados com corretivos e resíduos orgânicos**. Tese (doutorado), Universidade Federal de Lavras, 168 p., 2014.

CASSOL, P. C.; COSTA, A. C. C.; CIPRANDI, O.; PANDOLFO, C.M.; ERNANI, P. R. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em latossolo fertilizado com dejetos suíno. **Revista brasileira de Ciências do Solo**, 36: 1911-1923, 2012.

CASSOL, P.C.; GIANELLO, C.; COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.635-644, 2001.

CASTRO, R. S de. **Rendimentos de espigas verdes e de grãos de cultivares de milho após a colheita da primeira espiga como mini milho**. 90p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2007.

CAVALCANTE, L. F.; CORDEIRO, J. C.; NASCIMENTO, J. A. M.; CAVALCANTE, I. H. L.; DIAS, T. J. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. **Ciências Agrárias**, v. 31, p. 1281-1290, 2010.

CAVALLET, L. E.; LUCCHESI, L. A. C.; MORAES, A.; SCHIMIDT, E.; PERONDI, M. A.; FONSECA, R. A. Melhoria da fertilidade do solo decorrentes da adição de água residuária da indústria de enzimas. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 724-729, 2006.

CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C. R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R. C. B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems and Environment** . v. 139, n. 4, p. 689-699, 2010.

CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; BASSO, C.J. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 729-735, 2003.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. O.; PAULA, J. L.; DUARTE, M. N. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa - CNPS, p. 212, 2011.

CONDÉ, M. S.; NETO, O. B. A. N.; BRUNO GROSSI COSTA HOMEM, B. G. C. H.; FERREIRA, I. M.; SILVA, M. D. Impacto da fertirrigação com resíduo líquido da suinocultura em um latossolo vermelho-amarelo, **Vértices**, v.15, n. 2, p. 161-178, 2013.

COSTA, M. S.S.M.; PIVETTA, L. A.; STEINER, F.; COSTA, L. A. M.; CASTOLDI, G. Atributos químicos do solo sob plantio direto afetado por sistemas de culturas e fontes de adubação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 6, n. 4, p. 579-587, 2011.

COSTA, V. L.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELO, L. C. A. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.3, p. 287-293, 2014.

D'ALMEIDA, D. M. B. A. D.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p.615-621, 2005.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010.

FARIAS, S. G. G. **Estresse osmótico na germinação, crescimento e nutrição mineral de glicirídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.)).** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Campina Grande. Brasil, 2008.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, C. M.; GUARÇONI, R. C. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, n. 2, p.19-28, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>>.

FIXEN, P. E. Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes. In: PROCHNOW, L. I. (Ed.). **Informações agronômicas**, Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, p. 8-14, 2009.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Textos acadêmicos, Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. dos S.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de resíduo líquido de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1753- 1761, 2008.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Cama sobreposta e resíduos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 195-205, 2008.

GONÇALVES JUNIOR, A. C.; LINDINO, C. A.; ROSA, M. F.; BARICCATTI, R.; GOMES, G. D. Remoção de metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e crom. o em biofertilizante suíno utilizando macrófita aquática como bioindicador. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 1, p. 9-14, 2008.

HECKLER, J. C.; HERNANI, L. C.; PITOL, C. P. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema de plantio direto**. Brasília, DF: Embrapa Agropecuária Oeste, p. 38-49, 1998.

HIGASHIKAWA, F. S.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W. Chemical and physical properties of organic residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1743-1752, 2010.

HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B.; CONDÉ, M. S.; SILVA, M. D.; FERREIRA, I. M. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Científica**, v.42, n.3, p.299–309, 2014.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. **Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais**. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Fósforo na agricultura brasileira. p.665-687, 2004.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: **desafios em sustentabilidade**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 25, n. 71, 2011.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABRAGH, G. **Subsurface drip dispersal of residential effluent**: I. Soil Chemical Characteristics. Transactions of the ASAE, v.44, n.5, p.1152-1158, 2001.

KHORRAMDEL, S.; KOOCHKEI, A.; MAHALLATI, M.N.; KHORASANI, R.; GHORBANI, R.; KING, L. D.; WESTERMAN, P. W.; CUMMINGS, G. A.; OVERCASH, M. R.; BURNS, J. C. **Swine lagoon effluent applied to 'Coastal' Bermudagrass**: II Effects on soil. Journal of Environmental Quality, v.14, p.14-21, 1985.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global. **Science**, v.304, p. 1623, 2004.

LI-XIAN, Y.; GUO-LIANG, L.; SHI-HUA, T.; ZHAO-HUAN, H. Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 383, n. 1-3, p. 106-114, 2007.

LOURENZI, C. R.; SCHERER, E. E.; CERETTA, C. A. TIECHER, T. L.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquidos de suínos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.51, n.3, p.233-242, mar. 2016.

MAGGI, C. F.; FREITAS, P. S. L.; SAMPAIO, S. C.; DIETER, J. Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p.170–177, 2011.

MAGGI, C.; FREITAS, P. S. L.; SAMPAIO, S. C.; DIETER, J. Impacts of the application of swine wastewater in percolate and in soil cultivated with soybean. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, 2013.

MARTINAZZO, R.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto afetado pela adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.3, p. 563- 568, 2007.

MATOS, A.T. **Tratamento de resíduos na pós-colheita do café**. In: Flávio Meira Borém (Org.). Pós-colheita do café. 1ª ed. Lavras-MG: Editora UFLA, p.159-201, 2008.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 603-612, 2005.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, n. 1, p. 101-110, 2008.

MENDES, J. S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B. Variabilidade temporal da fertilidade, salinidade e sodicidade de solos irrigados no município de Congo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n.1, p.13-19, 2008.

MENEZES, J. F. S.; ANDRADE, C. L. T.; ALVARENGA, R. C.; KONZEN, E. A. PIMENTA, F. F. **Utilização de resíduos orgânicos na agricultura**: 2016. Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com.br/trabJune.htm>>. Acesso em: 26 jun.

MIRANDA, J.; COSTA, L. M.; RUIZ, H. A.; EINLOFT, R. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 633-647, 2006.

MORAL, R.; PEREZ-MURCIA, M. D.; MORENO-CASELLES, J.; PAREDES, C. RUFETE, B. Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from South-eastern Spain. **Waste Management**, New York, v. 28, n. 2, p. 367–371, 2008.

MOREIRA, J. A.; VITTI, D. M. S. S.; TEIXEIRA, A. de O.; LOPES, J. B. Fisiologia digestiva de suínos alimentados com rações contendo diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 4, p. 676-684, 2009.

PERALTA, N. R.; COSTA, J. L. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 99, p. 218-226, 2013.

PRIOR, M. SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P. DIETER, J. COSTA, M. S. S. M. Estudo da associação de água residuária de suinocultura e adubação mineral na cultura do milho e no solo. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 35, n. 4, p. 744-755, 2015.

QUEIROZ, F. M.; MATTOS, A. F.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1487-1492, 2004.

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**, v. 34, n. 15/16, p. 2339-2354, 2003.

RICCI, A. B.; PADOVANI, V. C. R.; PAULA JÚNIOR, D. R. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado: II - Atributos químicos e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.543-551, 2010.

RICHETTI, A. **Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2011/2012**, em Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, (Comunicado técnico, 168). p. 9, 2011.

RODRIGUES, P. N. F.; ROLIM, M. M.; BEZERRA NETO, E.; COSTA, R. N. T.; PEDROSA, E. M. R.; OLIVEIRA, V. S. Efeito do composto orgânico e compactação

do solo no milho e nutrientes do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 8, p. 788-793, 2011.

SANTOS, G.A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. Ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 597-624, 2008.

SANTOS, M. S.; SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C.; SALGADO, L. T.; VIDIGAL, S. M. Produção de milho-verde em resposta ao efeito residual da adubação orgânica do quiabeiro em cultivo subsequente. **Revista Ceres**, v. 58, n. 1. p. 77-83, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T.J. F.; OLIVEIRA, J. B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.– Brasília, DF : Embrapa, 3 ed, 353 p. 2013.

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PIAUILIN, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 1 5 6 4 2012.

SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T.; NESI, C.N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 123-131, 2007.

SERPA FILHO, R.; SEHNEM, S.; CERICATO, A.; SANTOS JUNIOR, S.; FISCHER, A. Compostagem de dejetos de suínos. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 47-78, 2013.

SILVA JÚNIOR, G. B.; CAVALCANTE, I. H. L.; ALBANO, F. G.; OSAJIMA, J. A. Estado nutricional e clorofila foliar do maracujazeiro-amarelo em função de biofertilizantes, calagem e adubação com N e K. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 163-173, 2013.

SILVA, A. A.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; COSTA, A. M. Fertilização com resíduos suínos: influência nas características bromatológicas da brachiaria decumbens e alterações no solo. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 2, p. 254-265, 2015.

SILVA, D. F.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; MOREIRA, D. A. Disponibilidade de sódio em solo com capim tifton e aplicação de percolado de resíduo sólido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 10, p.1094–1100, 2010.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**: 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p., 2009.

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

SOUSA, D. M. G. S.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. **Acidez do solo e sua correção**, in: Fertilidade do solo. Viçosa, MG. Sociedade brasileira de ciências do solo, p. 205-267, 2007.

SOUSA NETO, O. N.; A. L. L. FERREIRA, A. L. L.; J. J. R. DE FREITAS, J. J. R.; N. S. DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; COSTA, M. S. alterações químicas em solos cultivados com mamona após aplicação de chorume na forma sólida. **II. Inovagri**. 397, 2014.

STEINER, F.; COSTA, M. S. S.; COSTA, L. A. M.; PIVETTA L. A.; CASTOLDI, G.; Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Global Science and Technology**, v. 04, n. 01, p.16 – 28, 2011.

TAMANINI, C. R. **Recuperação de áreas degradadas com a utilização de biossólido e gramínea forrageira**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, p.196. 2004.

THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J.R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 104 p. **Publications in Climatology**, v. VIII, n.1. 1955.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de ciências do solo, Viçosa, MG, p. 299- 311, 2006.

WERLE, R.; GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2297-2305, 2008.

ANEXOS

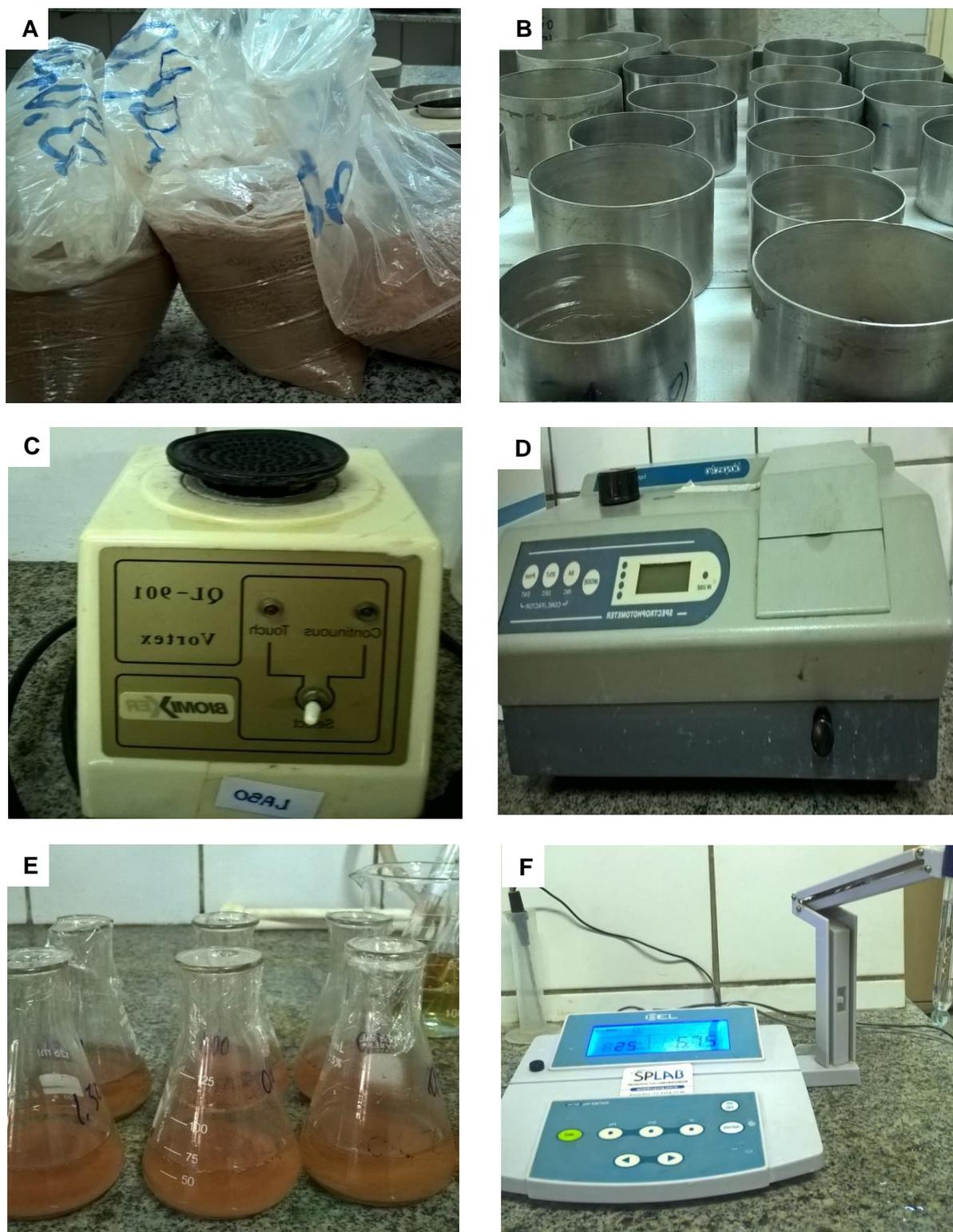


Figura 1. Amostras em saco plástico (A), recipiente para secagem das amostras (B), agitador de tubos de ensaio (C), espectrofotômetro (D), amostras em balão volumétrico (E) e pHmetro (F).