



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CAMPUS II - AREIA/PB
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA DO SOLO



**O EFEITO DA APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA NOS TEORES DE
CARBONO E NITROGÊNIO EM PLANOSSOLO NÁTRICO NO SEMIÁRIDO
PARAIBANO**

Flávio Rangel dos Santos Almeida

**Areia-PB
2016**

FLÁVIO RANGEL DOS SANTOS ALMEIDA

**O EFEITO DA APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA NOS TEORES DE
CARBONO E NITROGÊNIO EM PLANOSSOLO NÁTRICO NO SEMIÁRIDO
PARAIBANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de “Mestre em Ciência do Solo”.
Área de Concentração: Ciclos Biogeoquímicos em Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias

Areia - PB
Agosto – 2016


FLÁVIO RANGEL DOS SANTOS ALMEIDA


**O EFEITO DA APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA NOS TEORES DE
CARBONO E NITROGÊNIO EM PLANOSSOLO NÁTRICO NO SEMIÁRIDO
PARAIBANO**

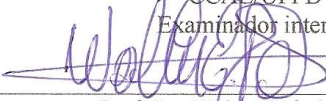
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de "Mestre em Ciência do Solo", Área de Concentração: Ciclos Biogeoquímicos em Agroecossistemas.


Aprovada em 31 de agosto de 2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias
CCA/UFPB
Orientador


Prof. Dr. Évio Eduardo Chaves de Melo
CCA/UFPB
Examinador interno


Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira
CCA/UFPB
Examinador interno


Dr. Salomão Medeiros de Sousa
INSA/MCTIC
Examinador externo

“A ciência trabalha na fronteira entre conhecimento e ignorância. Não temos medo de admitir o que não sabemos. Não há vergonha nisso. A única vergonha é fingir que temos todas as respostas”.

(Neil de Grasse Tyson)

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais que sempre me apoiaram nos meus estudos. Pelo tempo dado, amor, dedicação e ensinamentos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por cada milagre que Ele realizou e vem realizando na minha vida e das pessoas a minha volta.

À minha família, em especial aos pais José Justino de Almeida e Severina dos Santos Almeida e a todos os meus irmãos em especial, Luciana, Laize, Graça e Roberto que são presentes de Deus na minha vida.

A Minha namorada Eliene Araújo que sempre me deu apoio nos momentos mais difíceis da minha vida, pois sem a sua força não teria conseguindo concluir este trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias, pela orientação, pela sua postura ética, competência e acima de tudo paciência durante este período difícil em enfrentei na reta final da conclusão de meu trabalho.

Aos amigos e profissionais, Jhony, Ewerton, Vanessa, Adilson, Emanuel, Tarcísio, Aparecida, Evaldo, Kalline, Begna, Rodolpho, Elton, Antônio de Pádua, João, João Macedo, Jardeli, Kelly, Fabiana, Victor, Renato Mandaca e Cristiano.

Ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA) por todo o suporte dado, desde a área experimental por Salomão de Sousa Medeiros até e apoio durante a pesquisa por Professor Salcedo, Sayonara, Júlia, Emanuel, Ariane, Maria, Dionísio, Jandilson e Raimundo.

À professora Dra. Vânia Fraga e todos os estagiários do Laboratório de Matéria Orgânica e Química do Solo da Universidade Federal da Paraíba pelo suporte, cedendo os reagentes para análises.

Ao professor Dr. Valderi Duarte Leite, à Wanderley e Paula Mikácia da Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgoto (EXTRABES) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) pela disponibilidade tanto por ceder os reagentes quanto nas análises físico-químicas da água residuária.

Aos meus amigos Wallace Jordane, Amadeus, Ronaldo Benevides, Anderson Carlos, Jadson, Faed pela amizade, companheirismo e por tudo que aprendi com vocês.

Aos professores da banca examinadora Dr. Walter Esfrain Pereira, Dr. Évio Eduardo Chaves de Melo e Dr. Salomão Medeiros de Sousa, pela gentileza da participação e pelas correções necessárias.

Aos funcionários do Centro de Ciências Agrárias, em especial aos do Departamento de Solos e Engenharia Rural e à Secretaria do PPGCS, pelos auxílios na

condução desse trabalho e pela amizade cultivada durante nosso convívio. Aos proprietários das áreas rurais por permitirem a abertura dos perfis e coleta das amostras de solo e aos trabalhadores de campo pela valiosa contribuição com sua força de trabalho e sabedoria.

A todos, que de alguma forma participaram deste trabalho, mas que, por uma imperdoável falha de minha parte, não se viu nesta lista, a quem peço perdão e atribuo igualmente meu carinho e afeto.

SUMÁRIO

.....	X
SUMÁRIO	vii
RESUMO.....	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1. Fertilidade e teores de matéria orgânica nos solos do Semiárido paraibano	13
2.2 Tratamento e reúso de águas residuárias	15
2.3 Utilização de água residuária tratada na agricultura.....	17
2.4 Água residuária em regiões áridas e semiáridas	18
2.5 Influência do uso de água residuária nas formas de nitrogênio total e mineral no solo	19
2.6 Efeitos da aplicação de água residuária na composição das substâncias húmicas	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Localização e caracterização da área experimental	22
3.1.1 Histórico da área	22
3.2 Descrição do experimento	23
3.3 Condução do experimento	23
3.4 Caracterização das águas residuárias.....	23
3.5 Coleta e análise das amostras de solo	24
3.6 Variáveis analisadas no experimento.....	25
3.7 Análises estatísticas	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5 CONCLUSÕES	36
6. REFERÊNCIAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação média mensal e acumulada em Campina Grande, PB.	22
Figura 2. Estação de tratamento primário de esgoto doméstico da sede do Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, PB.	24
Figura 3. Dispersão dos atributos químicos de um Planossolo Nátrico no semiárido paraibano, no início e após a aplicação da água residuária, nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm. Teores médios de carbono total (COT), carbono solúvel em água (CSA), carbono ligado a humina (CHU), de nitrogênio total (NT), nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), e relações do C com N e frações húmicas.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização da água residuária utilizada na irrigação da área experimental. .	24
Tabela 2. Caracterização química inicial do solo na área experimental.	25
Tabela 3. Fração granulométrica e classe textural do solo na área experimental.	25
Tabela 4. Resumo da análise de variância para os atributos, COT: Carbono total; NT: Nitrogênio total; NO_3^- : Nitrato; NH_4^+ : Amônio; C-AF: carbono ligado ao ácido fúlvico; C-AH: carbono ligado ao ácido húmico; C-HU: carbono ligado a humina, em Planossolo Nátrico submetido à aplicação de água residuária no semiárido paraibano.	27
Tabela 5. Resumo da análise de variância para as relações do C com N e frações húmicas, C-AH: carbono ligado ao ácido húmico; C-AF: carbono ligado ao ácido fúlvico; EA: extrato alcalino; C-HU: carbono ligado a húmina; COT: Carbono total; C-SA: carbono solúvel em água, em Planossolo Nátrico submetido à aplicação de água residuária no semiárido paraibano.	27
Tabela 6. Teores médios de carbono total (COT), carbono solúvel em água (CSA), carbono ligado ao ácido fúlvico (C-AF), carbono ligado ao ácido húmico (C-AH) e carbono ligado a húmina (C-HU), de nitrogênio total (NT), nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), em Planossolo Nátrico no semiárido paraibano, no início (I) e no final (F) da irrigação com água residuária.	28
Tabela 7. Relações do C com N e frações húmicas, em Planossolo Nátrico no semiárido paraibano, no início e no final da irrigação com água residuária.	32

Tabela 8. Teores médios de carbono total (COT), carbono solúvel em água (CSA), carbono ligado ao ácido fúlvico (C-AF), carbono ligado ao ácido húmico (CAH) e carbono ligado a húmina (C-HU), de nitrogênio total (NT), nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), em Planossolo no semiárido paraibano, nas camadas de 0-15 e 15-30 cm de profundidade.	33
Tabela 9. Relações do C com N e frações húmicas, em Planossolo Nátrico no semiárido paraibano, nas camadas de 0-15 e 15-30 cm de profundidade	33
Tabela 10. Autovalores e porcentagem da variância explicativa por cada componente principal (CP) para os atributos analisadas de em Planossolo Nátrico, antes e após aplicação de água residuária no semiárido paraibano.	34

ALMEIDA, F. R. dos S. **O efeito da aplicação da água residuária nos teores de carbono e nitrogênio em Planossolo Nátrico no semiárido paraibano.** Areia-PB, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, agosto de 2016. 22 p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias.

RESUMO

A aplicação de água residuária apresenta grande potencial na agricultura por ser uma fonte alternativa de água e por fornecer nutrientes. Entretanto, as pesquisas relacionadas aos seus efeitos nas formas de C e N no solo ainda são incipientes. Assim, a pesquisa teve como objetivo avaliar as formas de C e N de um Planossolo Nátrico, com a aplicação da água residuária tratada, cultivado com plantas arbóreas nativas no Semiárido paraibano. O experimento foi conduzido no esquema de parcelas subdivididas com medidas repetidas no tempo e espaço, sendo duas épocas de amostragem (antes e após aplicação de água residuária) e duas camadas de amostragem (0-15 e 15-30 cm), totalizando-se quatro tratamentos, com quatro blocos. A água residuária foi aplicada por gotejamento uma vez por semana, na vazão de 14 L planta⁻¹. Para análise de componentes principais (ACP), foram formados dois grupos distinguindo as épocas de aplicação de água residuária e as camadas de 0-15 cm 15-30 cm. Foram analisados os seguintes atributos químicos do solo: carbono orgânico total (COT), carbono solúvel em água (CSA), carbono associado ao ácido fúlvico (C-AF), carbono associado ao ácido húmico (C-AH), carbono associado a humina (C-HU) nitrogênio total (NT), nitrato (NO₃⁻), amônio (NH₄⁺) e extrato alcalino (EA), e estimado as relações C/N, C-AF/C-AH, EA/C-HU, C-AF/COT, C-AH/COT, C-HU/CT e EA/COT. O uso de água residuária elevou o teor da matéria orgânica humificada do solo, bem como os teores de N-Nítrico no solo, porém os teores de todas as variáveis analisadas não diferiram em relação às camadas 0-15 cm e 15-30 cm, sendo um indicativo da melhoria das propriedades químicas do solo.

Palavras-chave: Efluente doméstico, substâncias húmicas, fertilidade do solo, nitrato, amônio.

ALMEIDA, F. R. dos S. **Carbon and nitrogen forms in Planossolo Nátrico irrigated with wastewater in the Paraíba state semiarid.** Areia-PB, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, August 2016. 22 p.il. Dissertation. Graduate Program in Soil Science. Advisor: Prof. Dr. Bruno Oliveira Dias.

ABSTRACT

The application of wastewater has great potential in agriculture as it is an alternative source of water and provides nutrients. However, research related to its effects on C and N forms in soil is still incipient. In this context, the objective of this research was to evaluate the effect of the application of reuse water on C and N forms in a Planossolo Nátrico. The experiment was carried out in a subdivided plots scheme with repeated measures in time and space, two sampling times (before and after application of wastewater) and two sampling layers (0-15 and 15-30 cm), totalizing four treatments, with four blocks. The wastewater was applied by dripping once a week, at a flow rate of 14 L plant⁻¹. For principal component analysis (PCA), two groups were formed, distinguishing the times of application of waste water and the layers of 0-15 cm 15-30 cm. The following soil chemical attributes were analyzed: total organic carbon (COT), water soluble carbon (CSA), carbon associated with fulvic acid (C-AF), carbon associated with humic acid (C-AH), carbon associated with humina (C-HU), total nitrogen (NT), nitrate (NO₃-), ammonium (NH₄⁺) and alkaline extract (EA) C-AF / COT, C-AH / COT, C-HU / CT and EA / COT. The use of wastewater increased the content of the organic matter in the soil as well as the N-nitric levels in the soil, but the contents of all variables analyzed did not differ in relation to the layers 0-15 cm and 15-30 cm, being an indication of the improvement of the chemical properties of the soil.

Key words: Domestic effluent, humic substances, soil fertility, nitrate, ammonium.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da degradação dos solos na região Semiárida paraibana ocorre principalmente em função do manejo inadequado, com a retirada da cobertura vegetal nativa para implantação de sistemas agropecuária, desencadeando processos erosivos, que

reduzem a fertilidade do solo ao diminuir a qualidade química, física e biológica do mesmo (MICOA, 2000). Outros fatores que contribuem para a degradação são a irregularidade pluviométrica, e a baixa disponibilidade de água e nutrientes, que limitam o crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal (Gonçalves, 1982; Brito et al., 2012), responsável por proteger o solo (Freitas et al., 2012).

A aplicação de águas residuárias apresenta grande potencial para a agricultura da região semiárida, tendo em vista que, ao ser devidamente tratada, reduz o impacto ambiental em zonas urbanas e fornecem água e nutrientes, como N, P e K, às plantas em zonas rurais (Sandri et al., 2009). O uso água residuária tratada pode melhorar as condições químicas, físicas e biológicas do solo (Fonseca, 2001). Corroborando, com o trabalho realizado por Oliveira et al. (2013), que constataram que a aplicação de água residuária tratada, é viável para recuperação de áreas degradadas.

Além de fornecer matéria orgânica (MOS) para o solo a aplicação de água residuária tratada também fornece N para a planta. O nitrogênio pode ser absorvido nas formas de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), sendo um elemento essencial para crescimento e para desenvolvimento vegetal. Além disso, o N é um constituinte de importantes organelas, como os cloroplastos, na síntese proteica e de clorofila (Abreu, 2002; Cantarella, 2007). Desse modo, o aporte de resíduos orgânicos associado ao processo de humificação pode promover a melhoria da qualidade da MOS, sendo observado que a formação de substâncias húmicas levam à maior proporção de compostos de menor estabilidade, apresentando maior ciclagem de nutrientes, principalmente de N, enquanto que a formação de ácidos fúlvicos resulta em maior estabilidade estrutural (Coelho et al., 2013).

Portanto, a aplicação de água residuária apresenta grande potencial para recuperar áreas em processo de degradação na região Semiárida paraibana, contudo as pesquisas relacionadas aos efeitos desta aplicação nos solos da região ainda são incipientes. Neste contexto, a pesquisa teve como objetivo avaliar as formas de C e N de um Planossolo Nátrico, com a aplicação da água residuária tratada, cultivado com plantas arbóreas nativas no Semiárido paraibano.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fertilidade e teores de matéria orgânica nos solos do Semiárido paraibano

Os solos desenvolvidos em ambiente de clima Semiárido podem apresentar acúmulo de sais (Correa et al., 2009) e baixos teores de P (Salcedo & Sampaio, 2008), que juntamente com a baixa disponibilidade hídrica ($< 800 \text{ mm ano}^{-1}$), limitam a produção de biomassa e aporte de resíduos vegetais (Fraga & Salcedo, 2004). A presença de sais no solo eleva as forças de retenção pelo efeito da osmose, dificultando a absorção de água do solo pelas plantas, agravando escassez hídrica (Holanda et al., 2003) e produção de biomassa. Em solos com teores de P insuficientes, as plantas normalmente apresentam sistema radicular superficial e pouco desenvolvimento, resultando numa baixa exploração do solo e, conseqüentemente, em menor eficiência do uso de água e nutrientes (Silva & Delatorre, 2009). Este elemento, que é pouco móvel no solo (Novais & Smyth, 1999), é absorvido principalmente por difusão, o que reduz sua disponibilidade para as plantas na região Semiárida.

A qualidade física do solo está relacionada com a capacidade de proporcionar o crescimento e desenvolvimento adequado do sistema radicular, fornecimento de água e nutrientes. Neste contexto, verifica-se que, os solos do Semiárido brasileiro, geralmente, são rasos a pouco profundos, a exemplo dos Neossolos Litólicos, Luvisolos e Planossolos, resultando em menor volume para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular (pequena profundidade efetiva), e menor capacidade de armazenamento de água. Constatase que os Planossolos também apresentam má drenagem ou imperfeita, alta densidade, permeabilidade lenta e fendilhamento no horizonte B plânico em períodos secos (Cunha et al., 2010). Os Neossolos Regolíticos e Quartzarênicos apresentam baixa capacidade de armazenamento de água, baixa fertilidade natural e baixo teor de matéria orgânica (EMBRAPA, 2014).

Com relação a perda de solo, verifica-se que o tipo de cobertura vegetal influencia no escoamento superficial, que resulta em diversos níveis de erosão e produção de sedimentos, que vão desde baixos, encontrados em áreas de vegetação nativa, a elevados, encontrados em plantios de palma no sentido morro abaixo (Santos et al., 2000). A perda de solo reduz a fertilidade do mesmo, em função da remoção de parte dos nutrientes do solo. Pinheiro et al. (2010), constataram perdas de $11,42 \text{ kg ha}^{-1}$ de nutrientes, representadas por 63% de Ca, 18% de Mg, 13% de K e 6% de P. Portanto, com a conversão de uso do solo, de vegetação nativa para uso agropecuário, quebra-se o equilíbrio do sistema, ocasionando a redução da disponibilidade de água e nutrientes com o

passar do tempo, e conseqüentemente, a capacidade de resiliência da cobertura vegetal, levando ao processo de desertificação, corroborando com Travassos & Souza (2011).

A matéria orgânica do solo (MOS) é influenciada pelo manejo adotado, sendo por essa razão, considerada um indicador da qualidade do solo e sustentabilidade de agroecossistemas. A MOS é um componente fundamental e determinante da capacidade produtiva de solos (Silva & Mendonça, 2007), apresentando grande potencial para restauração de áreas degradadas. Este potencial está atrelado a sua influência nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Nos atributos químicos, verifica-se que a MOS eleva a retenção de cátions (Ciotta et al., 2003), complexa elementos tóxicos como o Al^{+3} (Pavinato & Rosolem, 2008) e forma quelatos com micronutrientes (Pegoraro et al., 2006). Com relação aos atributos físicos, a MOS aumenta a estabilidade de agregados (Salton et al., 2008), infiltração e retenção de água (Sato et al., 2012) e a aeração (Souza & Alves, 2003). Nos atributos biológicos, constata-se influencia principalmente com relação a atividade microbiana do solo (Capuani et al., 2012).

A matéria orgânica do solo é oriunda da mistura de diversos produtos, e de vários processos de decomposição, resultantes da degradação química e biológica de resíduos vegetais e da atividade microbiana (Canellas et al., 2001). A MOS pode ser fracionada em compartimentos, com o intuito de detectar as mudanças nos conteúdos de C no solo, ocasionado pelo manejo (Xavier et al., 2006; Loss et al., 2010; Machado et al., 2014). Com relação ao fracionamento, verifica-se que pode ser dividido em três grupos principais: a) resíduos vegetais e biomassa microbiana viva, sendo o segundo responsável pela decomposição do primeiro; b) matéria orgânica na forma de detritos, como fragmentos de galhos e folhas; c) húmus (Fenton et al., 2008).

O conteúdo relativo de cada fração da matéria orgânica é um indicativo da qualidade do húmus do solo (MacCallister & Chuien, 2000). As substâncias húmicas (SH's) constituem o produto final da decomposição dos resíduos orgânicos (Stevenson, 1994), e representam o principal componente da matéria orgânica em água, solos e sedimentos (Baldotto et al., 2005).

As substâncias húmicas (SH's) apresentam grupos funcionais, principalmente fenólicos e carboxílicos (Sargentini Junior et al., 2001), e são consideradas os componentes mais estáveis da MOS, representando até 80% do C presente no solo (Santos, 2006). Constituem um grande número de compostos orgânicos formados no ambiente,

atuam como um reservatório de nutrientes, e manutenção do equilíbrio do solo (Martins, 2009). São de alta importância ambiental, substâncias extremamente complexas, de coloração escura, que aumentam a retenção de calor pelo solo condicionando uma melhor germinação de sementes e o desenvolvimento de raízes, alto peso molecular e correspondem à quase totalidade da MOS (Forgerini, 2012).

As frações húmicas são divididas em ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HU), cujas disponibilidades variam em função de suas solubilidades e condições de pH (Colombo et al., 2007). Os AF são solúveis em meio alcalino e em meio ácido diluído, e constituídos principalmente por polissacarídeos, aminoácidos e compostos fenólicos. Esta fração é considerada mais reativa do que as outras duas frações, por apresentar maior solubilidade e mobilidade no solo e menor massa molecular (Stevenson, 1994; Silva & Mendonça, 2007). Os AH são solúveis em meio alcalino e insolúveis em meio ácido diluído, compostas por macromoléculas de massa molecular mais elevada que os AF, que se formam através de reações de síntese secundárias a partir de resíduos orgânicos (Stevenson, 1994). A HU é insolúvel tanto em meio alcalino quanto em meio ácido, esta fração pode ser constituída por diversos componentes e apresenta reduzida capacidade de reação (Rice, 2001).

Na região semiárida, onde a maioria dos solos apresenta estágio avançado de degradação, alternativas que provam os aumentos das frações húmicas são de fundamental importância (Martins et al., 2010). Pois, essas frações melhoram a estrutura do solo, aumentam a produtividade e a qualidade dos cultivos, disponibilizando o fósforo adsorvido na fração argila, aumentando a superfície específica, a CTC e o efeito tampão, dando maior estabilidade ao solo e atuando como reservatório de N, P, S e micronutrientes (Primo et al., 2011). Neste contexto, as SH's são, portanto, importantes reguladores funcionais dos processos químicos, biológicos do solo e das plantas, representando, por isso, um forte fator para a sustentabilidade agrícola e qualidade dos solos (Moreira & Siqueira, 2006).

2.2 Tratamento e reúso de águas residuárias

A qualidade da água é um aspecto indispensável quando se trata dos seus principais usos. A resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) define que o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade. Assim sendo, deve-se levar em consideração

a saúde e bem-estar humano e o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas, tão como considerar a necessidade de se criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação às classes estabelecidas no enquadramento, de forma a facilitar a fixação e controle de metas visando atingir gradativamente os objetivos propostos.

O consumo excessivo de água para fins de irrigação tem claramente um significativo impacto no ambiente em algumas áreas, pois a agricultura como grande usuária dos recursos hídricos, vem sendo apontada como uma das principais causas do uso irracional da água (Brito & Andrade, 2010). Principalmente, diante do quadro atual em que a demanda de água potável está diminuindo. A gestão adequada da água na agricultura não pode ser considerada uma etapa independente no processo de produção agrícola, devendo ser analisado dentro de um enfoque sistêmico, sendo necessária a busca de fontes alternativas de água para fins agrícolas.

Embora o descarte indevido de efluente possa representar um problema ambiental, por outro lado apresenta características desejáveis, como potencial para fornecimento de nutrientes às plantas, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio e, sobretudo, potencialidade de uso como fonte extra de água às plantas (Medeiros et al., 2005a). Assim, constata-se que a aplicação de água residuária tratada no solo é vista como uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semiáridas, podendo reduzir os custos com tratamento, e ainda servir como fonte de nutrientes para as plantas reduzindo, assim, os custos, com a aquisição de fertilizantes sintéticos (Madeira et al., 2002; Hespanhol, 2003). Em função destas características, a utilização de águas residuais para a irrigação é cada vez maior, sendo uma solução técnica para minimizar a degradação do solo, e para restaurar o teor de nutrientes dos mesmos (Kiziloglu et al., 2008).

Segundo o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, no artigo 2º da Resolução nº 54 de 2005 esclarece que água residuária possui as seguintes definições: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não (Cunha et al., 2011). Diante disso, o reúso de água pode consistir na reutilização, após o tratamento adequado, das águas cinzas compostas por efluentes provenientes das atividades humanas (Carvalho et al., 2014) e para cada fim uso, há o tratamento adequado. Conforme a CETESB (2012), o reúso pode ser classificado quanto ao tipo:

- Reúso indireto não-planejado da água: acontece quando a água utilizada é descarregada no meio ambiente e novamente aproveitada, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada;
- Reúso indireto planejado da água: processo que descarrega os efluentes de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, que por sua vez são utilizadas de maneira controlada no atendimento de alguma necessidade;
- Reúso direto planejado das águas: é aquele cujos efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso;
- Reciclagem de água: reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. Funciona como uma fonte suplementar de abastecimento do uso original. A reciclagem da água é um caso particular do reúso planejado.

De acordo com Chernicharo et al. (2006), o tratamento de esgotos domésticos nas companhias de saneamento adotam a seguinte ordem: tratamento preliminar: remove as partículas sólidas grosseiras ($\varnothing > 0,25$ mm) que estão suspensas nos efluentes domésticos, por meio de processos físicos como o gradeamento, caixa de areia para a remoção dos sólidos sedimentáveis e caixas de separação de materiais insolúveis como óleos e graxas; tratamento primário: reduz a quantidade de partículas em suspensão; tratamento secundário: reduz a quantidade de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos; tratamento terciário: reduz os patógenos, remove a matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros elementos que ainda persistam nas etapas anteriores.

2.3 Utilização de água residuária tratada na agricultura

Para Medeiros et al. (2005b), embora encontrada em abundância no Brasil, a água já apresenta comprometimento da sua quantidade e qualidade, principalmente nas regiões próximas aos grandes centros. É importante ressaltar que o sistema de reúso pode variar dependendo da composição e da qualidade do efluente (MENDONÇA, 2004), bem como a finalidade do reúso, e assim definindo o tipo de tratamento (MAY, 2009).

A aplicação da água residuária no solo sem tratamento adequado, pode ser nociva ao meio ambiente, à saúde humana, ao solo, aos aquíferos e às culturas irrigadas (Duarte et al., 2008), no entanto, a crescente necessidade de água nas regiões áridas do mundo, resultou na necessidade do uso de águas residuárias para a aplicação da agricultura (Heidarpour et al., 2007).

Apesar dos efluentes possuírem potencialidade de uso na agricultura, não é muito comum o seu uso no Brasil. Em consequência, existem poucas informações coerentes aos efeitos de sua disposição em solos com carga dependentes do pH, geralmente formados por minerais de argilas 1:1 (caulinitas) e oxihidróxidos de Fe e de Al. Deste modo, torna-se evidente a importância de estudar os efeitos decorrentes da disposição de água residuária em solo das regiões semiáridas, no ambiente e nas plantas (Simões et al., 2013).

O reúso de água possui benefícios econômicos, ambientais e de saúde pública (HESPANHOL, 2001), sendo uma medida para mitigar o problema da escassez hídrica no semiárido brasileiro e uma opção para os agricultores da região (Sousa & Leite, 2003). No entanto, existe pouco incentivo quanto ao uso da água residuária para irrigação como fonte alternativa, por possuir qualidade inferior à água de abastecimento e não fazer parte da política institucional.

2.4 Água residuária em regiões áridas e semiáridas

As regiões semiáridas brasileiras são caracterizadas pela distribuição irregular das chuvas em um curto período de tempo, e pelo problema da alteração na qualidade dos recursos hídricos, devido ao lançamento de esgotos nos corpos d'água, sobretudo nos rios. É muito comum essa forma inadequada de descarte do esgoto, na maioria dos municípios brasileiro, seja nos municípios que possuem ou não sistema de coleta sem tratamento (Santos et al., 2016).

Em função dessa escassez de água que atinge as essas regiões semiáridas do Brasil, associada aos problemas de sua qualidade, a reutilização de água residuária se torna uma alternativa potencial para diversos usos, inclusive a irrigação agrícola, onde essa atividade representa aproximadamente 70% do consumo hídrico mundial no mundo (Hespanhol, 2008).

Em vários países, constata-se que trabalhos tem demonstrado que o uso de água residuária doméstica via fertirrigação pode aumentar significativamente a produtividade das culturas, desde que se observem os critérios de tratamentos e aplicação adequados (Medeiros et al., 2005b). O uso de água residuária adequado via fertirrigação permite o fornecimento de nutrientes às plantas, suprir parcialmente as necessidades hídricas das plantas, diminui a poluição ambiental, devido a redução do lançamento de esgotos nos corpos d'água, e também reduz a demanda de água de boa qualidade. No entanto, apesar dessas vantagens, pela sua própria composição, pode ocorrer contaminação do solo e das

águas subterrâneas, devido à lixiviação no período chuvoso (Erthal et al., 2010; Silva et al., 2007; Santos et al., 2016).

O uso de água residuária deve ser realizado após o tratamento adequado, uma vez que pode trazer riscos, tanto para a produção agrícola como para o solo. Dentre, esses riscos potenciais para o solo, destacam-se as alterações nas propriedades físicas do solo, como a degradação da estrutura do solo, a redução da estabilidade de agregados, diminuição na condutividade hidráulica do solo, impermeabilização da superfície, problemas de escoamento superficial e erosão do solo (Bhardwaj et al., 2007).

A aplicação de água residuária em regiões semiáridas também pode causar alterações nas propriedades químicas do solo, mas os seus efeitos só são evidenciados após longo período de aplicação, pelos parâmetros que definem a composição química da água, pelas condições climáticas (temperatura e precipitação) e pelo tipo de solo (Medeiros et al., 2005a). Segundo Ayers & Westcot (1999), a principal limitação do uso de água residuária é devido a sua composição química (sais dissolvidos, presença de elementos tóxicos e a concentração de sódio), e a baixa tolerância das culturas a esse tipo de água.

Portanto, a prática de utilização de água residuária domésticas consiste em uma das alternativas para mitigar a seca na região semiárido, desde se observe os critérios adequados de tratamento e manejo de irrigação desse efluente. Mesmo sendo considerada a sua importância para as regiões semiáridas, são poucos ainda os estudos que trazem informações sobre os efeitos da aplicação de água residuária no sistema solo-planta (Azevedo et al, 2013).

2.5 Influência do uso de água residuária nas formas de nitrogênio total e mineral no solo

A irrigação com águas residuárias oferece oportunidades para a utilização eficaz de outra forma nutriente não explorado junto com a água. Combinando águas residuais com o uso criterioso de fertilizantes inorgânicos pode ser uma estratégia de intervenção para uma produtividade agrícola sustentável e reduzindo o potencial de poluição ambiental (Lal et al., 2015). Os principais nutrientes que têm concentrações elevadas em água residuárias em comparação com a água potável são geralmente originados dos elementos N, P e K. Esse efluente contém N em formas orgânicas que não existem em fontes de água doce. Portanto, a disponibilidade de N para a planta por irrigação com águas residuais e o seu

destino no meio ambiente são diferentes daquele dos fertilizantes nitrogenados (Bar-Tal, 2011; Bar-Yosef, 2011; Lal et al., 2015).

O efluente de esgoto tratado é cada vez mais utilizado como uma fonte de água e nutrientes (principalmente N) na produção agrícola no Brasil. O ciclo do N nos agroecossistemas pode ser alterado pela irrigação com água residuária, principalmente no longo prazo (Fonseca et al., 2007). Porém, os nutrientes em excesso nos efluentes, especialmente o N, podem resultar em problemas ambientais, principalmente por sua lixiviação e a contaminação do lençol freático, uma vez que os mananciais subterrâneos e os corpos d'água superficiais são os receptores finais das águas residuais lançadas sobre o solo (Silva et al., 2007).

Em um trabalho realizado por Leal et al. (2010), constatou que aplicação de água residuária via irrigação aumentou o conteúdo de N na solução do solo, e aplicações desse efluente acima das necessidades das culturas pode causar a entrada excessiva desse nutriente no solo e, conseqüentemente, a contaminação do lençol freático. Ainda em nesse trabalho, pode se verificar que a aplicação de N mineral pode ser evitada devido às adições de N por esse efluente. Assim, constata-se que a aplicação de água residuária deve ser feita com muito critério, principalmente no que se refere ao N e as suas formas minerais (Sandri et al., 2009).

A aplicação de nitrogênio, contendo amônia (NH_3^+) ou amônio (NH_4^+), via fertilizantes ou lodo de esgoto em grande quantidade no solo, apresentam tendência a elevar a acidez do solo, pois a rápida nitrificação desses compostos libera íons de hidrogênio, que permanecem adsorvidos pelos coloides do solo, enquanto que a aplicação de nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-) tende a ocasionar perdas do elemento pelo processo de lixiviação (Jnad et al., 2001), em função da predominância de cargas negativas nos solos brasileiros (van Raij, 2010). Portanto, a seleção de plantas adequada combinada com as estratégias de gestão de irrigação, compreendendo os processos de lixiviação do nitrato podem minimizar os efeitos da contaminação das águas subterrânea e ser uma alternativa sustentável para uso da água residuária para fins agrícolas (Leal et al., 2010; Minhas et al., 2015).

2.6 Efeitos da aplicação de água residuária na composição das substâncias húmicas

Os estudos científicos no mundo sobre os efeitos da aplicação água residuária nas substâncias húmicas, são raros, e na região Nordeste do Brasil mais ainda, os poucos que

existem muitas vezes não trata de substâncias húmicas e sim de frações lábeis da matéria orgânica como o de (Sousa et al., 2008)

Contudo a maioria dos trabalhos avaliam os efeitos da aplicação de outros resíduos orgânicos, como é caso de Cunha et al., (2009) que avaliaram as possíveis mudanças qualitativas no AH extraído de solo fertirrigado com duas fontes de fertilizantes (orgânica e mineral), associadas à aplicação de ácidos orgânicos comerciais, na cultura da goiabeira no vale do São Francisco, no estado de Pernambuco. Onde o esterco proporcionou maior grau de policondensação dos AH e o uso de esterco associado a ácidos orgânicos e fertilizantes minerais favoreceu a formação de AH mais estáveis que os tratamentos que não receberam esterco.

Alguns estudos poucos relatam que a aplicação de água residuária no solo pode ocasionar ligeiro aumento do grau de humificação em profundidade, favorecer a formação de SH solúveis e alterar a estrutura de ácido húmico, como observado por Santos et al. (2010). Estes autores também verificaram que não houve alteração da estrutura da humina, por serem a parte mais recalcitrante das substâncias húmicas, contudo, há a possibilidade de ocorrer essas mudanças com o aumento de tempo de irrigação, tendo em vista que, a atividade microbiana se eleva com a irrigação.

A maioria dos trabalhos estão mais relacionados aos efeitos de outros resíduos urbanos, como o lodo de esgoto nas substâncias húmicas do solo, ou efeito das águas residuárias na contaminação do lençol freático por metais pesados, P e N. Dias et al. (2009) avaliaram mudanças químicas de ácidos húmicos (AH's) em Latossolos, encontrando menor concentração de C-alifático e menor grau de condensação, nas maior dose de lodo de esgoto, e presença de estruturas mais recalcitrantes e com maior condensação nas substâncias húmicas, na testemunha. Em trabalho realizado por Al Omron et al. (2012), verificou-se que os efluentes de esgoto contem maior teor de Pb , Zn , Cu , Co , Cr , As, Cd , Fe , Mn e Ni em comparação com a água de abastecimento. De acordo com Bolzani et al. (2012), a aplicação de água residuária sem o devido manejo pode ocasionar a contaminação de águas superficiais e do lençol freático, com P e NO_3^- .

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado no período de 09/2012 a 05/2015, na sede do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Campina Grande, Paraíba, Brasil. A região apresenta clima semiárido quente e seco (BSh), com estação chuvosa de março a julho, cuja precipitação acumulada no período experimental chegou a 774 mm, distribuídas ao longo dos anos (Figura 1). A classe de solo predominante é a dos Planossolo Nátrico, geralmente são constituídos por material mineral, e possuem alta saturação por sódio, estrutura prismática ou colunar (EMBRAPA, 2006).

3.1.1 Histórico da área

Área de estudo há pelo menos umas quatro décadas atrás, era uma mata preservada que posteriormente foi derrubada para formação de pastagem, onde permaneceu sendo utilizada para esta finalidade por cerca de dez anos. Posteriormente com o desenvolvimento da cidade de Campina Grande-PB, as camadas superfícies do solo foram retiradas para sua utilização na construção civil. No entanto, a retirada destas camadas superficiais do solo não foi de forma homogênea na área experimental, sendo que parte da área experimental permaneceu com suas camadas superficiais intactas.

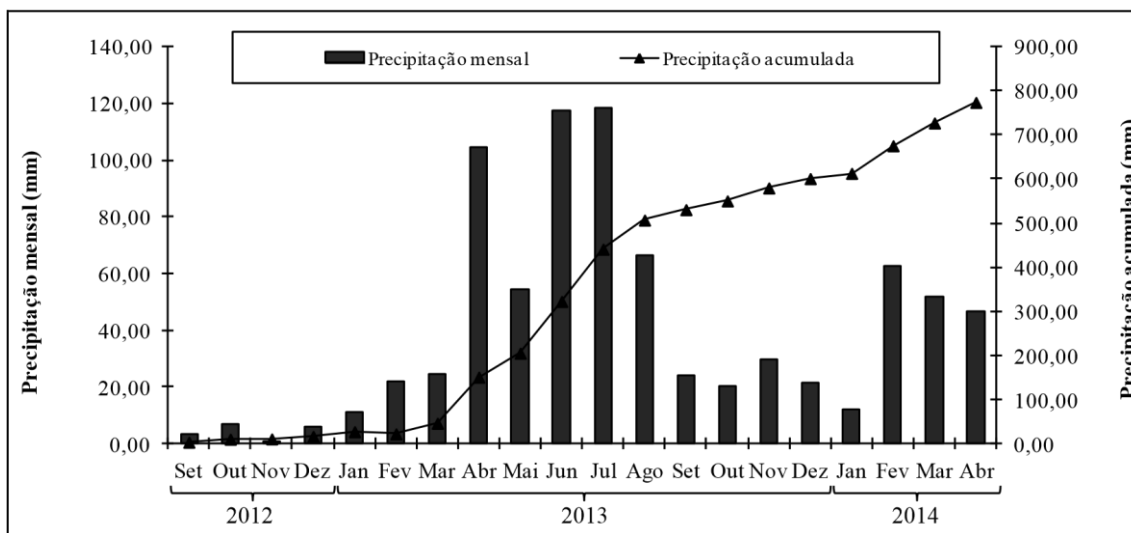


Figura 1. Precipitação média mensal e acumulada em Campina Grande, PB.

3.2 Descrição do experimento

O experimento foi realizado no esquema de parcelas subdivididas com medidas repetidas no tempo e espaço, sendo duas épocas de amostragem (antes e após aplicação de água residuária) e duas camadas de amostragem (0-15 e 15-30 cm), totalizando 4 tratamentos, com quatro blocos. Foram coletadas 64 amostras antes da aplicação da água residuária e 48 amostras após a aplicação.

3.3 Condução do experimento

O trabalho foi conduzido numa área de 3.600 m² (60,0 x 60,0 m), cultivada com mudas arbóreas nativas, Freijó (*Cordia goeldiana* Huber) e Ipê Roxo (*Handroanthus impetiginosus*), no espaçamento de 3,0 x 2,0 m. Os tratos culturais como roçagem e controle de formiga foram feitas periodicamente ao longo do desenvolvimento das plantas.

Demais procedimentos no momento do plantio foram: instalação de tutores com no mínimo 1,5 m (acima do solo), para ajudar no crescimento das plantas e com relação à taxa de sobrevivência, as mudas mortas, foram substituídas a cada 2 meses, sendo também respeitado o tempo máximo de 120 dias para substituição. Sendo que, a irrigação com água residuária teve início após 120 dias de plantio. Contudo, desde o primeiro dia de plantio as plantas receberam lâmina diária de irrigação com água de abastecimento.

3.4 Caracterização das águas residuárias

A água residuária é proveniente dos banheiros e cozinhas, e recebeu tratamento primário na estação de tratamento de efluentes do Instituto Nacional do Semiárido-INSA (Figura 2), localizada na área experimental. A mesma foi aplicada via sistema de irrigação por gotejamento uma vez por semana, na vazão de 14 L planta⁻¹ dia⁻¹, definida pelo cálculo da lâmina de irrigação total e correspondendo a 30% da necessidade das espécies utilizadas no experimento (adaptadas às condições adversas de precipitação), por um período de 30 meses.

O tratamento da água residuária ocorreu em duas etapas:

- tratamento preliminar: filtração (para remoção dos sólidos grosseiros); e floculação;

- tratamento primário: decantação (partículas sólidas em suspensão, que foram eliminadas por ação da gravidade) e neutralização das cargas dos efluentes.



Figura 2 Estação de tratamento primário de esgoto doméstico da sede do Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, PB.

A amostra da água residuária foi coletada no gotejador e analisada no Laboratório de Química da Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgoto-EXTRABES/UEPB, seguindo a metodologia da APHA (2003), foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos da água residuária (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização da água residuária utilizada na irrigação da área experimental.

pH	CE	N	P	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ³⁻	COT	SDT	DQO	NH ₄ ⁺	NO ₂ ³⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cl ⁻
-	dS m ⁻¹	mg L ⁻¹													
8,3	13,5	26,3	14	9,4	51,9	3,7	681	33	22,3	4,5	22,3	27,6	24,5	10,7	270

pH, Potencial hidrogeniônico da água; CE, Condutividade elétrica, Nitrogênio total; P, Fosforo total; PO₄³⁻, Íon de fosfato; COT, Carbono orgânico total; SDT, Sólidos solúveis totais; DQO, Demanda química de oxigênio; NH₄⁺, NO₂³⁻, Nitrato ; Na⁺, Sódio; K⁺, Potássio; Ca⁺², Cálcio; Mg⁺², Magnésio; Cl⁻ Cloreto.

3.5 Coleta e análise das amostras de solo

As coletas foram realizadas em duas camadas (0-15 e 15-30 cm), ao lado do gotejador no bulbo úmido, e em duas épocas, antes da aplicação da água residuária

(05/10/2012) e após à aplicação (03/05/2015), antes do período chuvoso. As amostras foram coletas com um trado da marca Sonda Terra (modelo Helicoidal) e um coletor do tipo caneco, e armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e vedados.

Após a coleta, o solo foi retirado do saco plástico e deixado secar ao ar por sete dias, e em seguida, destorroado e peneirado com peneira de 2 mm. Posteriormente, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Solos do INSA e ao Laboratório de Matéria Orgânica do Departamento de Solos e Engenharia Rural-DSER/CCA/UFPB, para caracterização química (Tabela 2) e física do solo (Tabela 3), respectivamente, conforme a metodologia descrita em Embrapa (2011).

Tabela 2. Caracterização química inicial do solo na área experimental.

pH	P	K ⁺	Na ⁺²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H+Al	SB	t	T	MO	N	V	M	PST
mg dm ⁻³		----- cmol _c kg ⁻¹ -----									-- g kg ⁻¹ --			----- % -----	
Camada de 0-15 cm															
5,9	2,33	0,1	0,51	0,22	1,52	0,25	2,64	2,3	2,6	5	2,1	0,6	40,9	15,2	7,6
Camada de 15-30 cm															
5,9	2,06	0,1	0,5	0,18	1,67	0,25	2,69	2,4	3,1	5,1	2,4	0,5	41,2	13,5	6,8

t: CTC_{efetiva}; T: CTC_{pH 7,0}; MO: matéria orgânica; V: saturação por bases; m: saturação por Al; PST: porcentagem de sódio trocável. pH em água 1:2,5

Tabela 3. Fração granulométrica e classe textural do solo na área experimental.

Camada	Fração granulométrica			Classe Textural
	Areia	Silte	Argila	
cm	----- g kg ⁻¹ -----			
0-15	648	149	203	Franco argilo arenoso
15-30	685	149	165	Franco arenoso

3.6 Variáveis analisadas no experimento

Foram analisados os seguintes atributos químicos do solo: carbono total (COT), carbono solúvel em água (CSA), carbono associado a fração ácido fúlvico (C-AF), carbono associado a fração ácido húmico (C-AH), carbono associado a húmina (C-HU) nitrogênio total (NT), nitrato (NO₃⁻), amônio (NH₄⁺) e extrato alcalino (EA), e as relações C/N, C-AH/C-AF, EA/C-HU, C-AF/COT, C-AH/COT, C-HU/CT e EA/COT.

Para determinação de COT e NT, amostras de 1,0 g de solo seco ao ar (TFSA) foram trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha de 0,149 mm. Em seguida, foram pesadas aproximadamente 0,1 g de solo, envolvidas em uma folha estanho, e analisadas via combustão seca em um analisador elementar, modelo LECO CHN - 628S.

Para extração do CSA utilizou-se a metodologia adaptada de Bartlett & Ross (1988), e para quantificação, utilizou-se o analisador automático tipo TOC, marca Analyticjena (Multi N/C 3100).

Os teores de NO_3^- e NH_4^+ foram determinados por colorimetria, em um auto analisador de fluxo contínuo (FIA), FIALab-2500/2600/2700 System (Versão 1.0607).

As extrações dos C-AF, C-AH e C-HU foram realizadas com o método da International Humic Substances Society (IHSS) (Swift, 1996), o fracionamento, pela solubilidade diferencial em soluções ácidas e alcalinas, e a determinação quantitativa de carbono nos extratos, pela oxidação do C com dicromato de potássio e titulação do excesso com sulfato ferroso amoniacal (Yeomans & Bremner, 1988).

O extrato alcalino (EA) foi obtido através da soma entre C-AF e C-AH. Posteriormente, foram calculadas C/N, C-AH/C-AF, EA/C-HU, C-AF/COT, C-AH/COT, C-HU/COT e EA/COT.

3.7 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e medidas repetidas no tempo e no espaço, e por meio do teste F foi avaliado a significância de cada fator. Para avaliar a inter-relação das variáveis avaliadas, os dados foram submetidos à análise de componentes principais. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico SAS (CODY, 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos atributos não variaram estatisticamente, nas camadas e nas interações entre camadas e épocas, contudo, houve diferença para época em relação aos atributos COT, NO_3^- , C-AH, C-HU (Tabela 4), C-AH/C-AF, C-AF/COT e EA/COT (Tabela 5).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para os atributos, COT: Carbono total; NT: Nitrogênio total; NO_3^- : Nitrato; NH_4^+ : Amônio; C-AF: carbono ligado ao ácido fúlvico; C-AH: carbono ligado ao ácido húmico; C-HU: carbono ligado a humina, em Planossolo Nátrico submetido à aplicação de água residuária no semiárido paraibano.

FV	COT	NT	NO_3^-	NH_4^+	C-AF	C-AH	C-HU
CA	4,58 ^{ns}	1,34 ^{ns}	2,29 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
EP	8,16*	0,04 ^{ns}	4,95**	2,67 ^{ns}	0,05 ^{ns}	9,10**	24,40**
CA x EP	0,14 ^{ns}	0,74 ^{ns}	262,18 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,52 ^{ns}

CA: Camada; EP: Época; **1% de probabilidade; * 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para as relações do C com N e frações húmicas, C-AH: carbono ligado ao ácido húmico; C-AF: carbono ligado ao ácido fúlvico; EA: extrato alcalino; C-HU: carbono ligado a húmina; COT: Carbono total; C-SA: carbono solúvel em água, em Planossolo Nátrico submetido à aplicação de água residuária no semiárido paraibano.

FV	C-AH/C-AF	EA/C-HU	C-AF/COT	C-AH/COT	C-HU/COT	EA/COT	C/N	C-SA
CA	0,02 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,54 ^{ns}	2,08 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,20 ^{ns}
EP	21,91**	1,02 ^{ns}	14,43**	3,92 ^{ns}	0,77 ^{ns}	6,86*	0,00 ^{ns}	4,17 ^{ns}
CA x EP	0,15 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,83 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,85 ^{ns}

CA: Camada; EP: Época; * 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Os teores de C-SA, C-AF, C-AH, NT, NH_4^+ (Tabela 6), apresentaram diferença em relação ao período antes e depois da aplicação da água residuária, devido, provavelmente ao período de tempo de aplicação da água residuária (30 meses), bem como a textura do solo, lixiviação, condições climáticas (temperatura, umidade e precipitação) e a composição química do efluente.

Em relação a NT, Leal et al. (2010), encontrou resultados semelhante para esse nutriente, que atribuiu ao mesmo fator, num período de 16 meses de aplicação da água residuária no solo. A maioria dos trabalhos que avaliam os teores de NT no solo pela irrigação com água residuária, mostram que só apresentam alterações após um período longo (aproximadamente de 16 anos) período de aplicação desse efluente (Fonseca et al., 2007; Leal et al., 2010; Lal et al., 2015).

O NH_4^+ foi outro atributo que não ocorreu alterações, o que pode ser devido ao processo de nitrificação, que em condições favoráveis (temperatura, umidade e nutrientes),

estimula a atividade microbiana, e conseqüentemente a transformação do N amoniacal oriundo da água residuária em N nítrico, mantendo-se os valores próximos, mesmo mediante a aplicação de N via água de reuso. Esse resultado corrobora com o trabalho realizado por Santiago et al. (2013), que também constataram a redução dos teores de NH_4^+ em função da conversão para NO_3^- por microrganismos, em sistemas agroflorestais (SAFs) no período chuvoso.

Os valores de NO_3^- diminuíram após a aplicação da água de reuso, provavelmente, devido à imobilização pelos microrganismos que transformam o N nítrico em N orgânico, utilizando em seu metabolismo na mineralização do carbono favorecido pela aplicação de água residuária, como fonte de carbono. Outros fatores que podem ter influenciado na redução dos teores de NO_3^- , estão relacionados com o processo de lixiviação, uma vez que o solo na área experimental apresentou textura franco argilo arenosa na camada de 0-15 cm e franco arenosa na camada de 15-30 cm, e a absorção pelas espécies arbóreas implantadas na área.

Tabela 6. Teores médios de carbono total (COT), carbono solúvel em água (CSA), carbono ligado ao ácido fúlvico (C-AF), carbono ligado ao ácido húmico (C-AH) e carbono ligado a húmina (C-HU), de nitrogênio total (NT), nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), em Planossolo Nátrico no semiárido paraibano, no início (I) e no final (F) da irrigação com água residuária.

Época	CSA	COT	C-AF	C-AH	C-HU	NT	NO_3^-	NH_4^+
	mg L ⁻¹	g Kg ⁻¹					mg Kg ⁻¹	
Inicial	4,51a	7,75b	1,10a	0,45b	3,41b	0,53a	37,42a	44,29a
Final	6,40a	9,47a	1,07a	0,72a	5,63a	0,75a	9,41b	46,36a

Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

De acordo com Mendes et al. (2015), a perda de NO_3^- no perfil do solo é maior com o aumento da lâmina de irrigação e da granulometria do solo, sendo que solos mais arenosos apresentam maior e mais rápida mobilidade vertical que solos argilosos. O N é o segundo elemento mais exigido para o crescimento e desenvolvimento do ipê roxo, sendo considerado prioritários aos estudos de fertilização mineral da espécie (Souza et al., 2006).

Os teores de COT variaram de 7,75 g kg⁻¹ (antes) para 9,47 g kg⁻¹ (depois) (Tabela 6), provavelmente em virtude da composição da água residuária que possui geralmente elevada carga orgânica e conseqüente elevado teor de carbono orgânico que é incrementado ao solo via irrigação com água residuária, como verificado por vários autores (Miranda, 1995; Baumgartner et al., 2007; Sandri et al., 2009).

Os teores de COT no Planossolo estudado é proveniente principalmente de fonte orgânica, em função da retirada das camadas superficiais do solo, indicando que houve aumento da qualidade deste solo, tendo em vista que, os valores passaram de baixos ($< 8,7 \text{ g kg}^{-1}$) para médios ($8,7\text{-}17,4 \text{ g kg}^{-1}$) (Siqueira, 2007), após a aplicação de água residuária. Esses resultados indicam teores médios de COT superiores aos demais Planossolos do semiárido, que são de aproximadamente $7,4 \text{ g kg}^{-1}$ (Salcedo & Sampaio, 2008), e também são considerados baixos.

A relação C/N não teve alterações nos seus valores, devido, possivelmente ao teor de NT praticamente não variar em função da aplicação de água residuária, e que mesmo que o COT tenha variado, não foi suficiente para alterar a relação C/N (Tabela 9). Os valores da relação C/N foram de 15 e 13, respectivamente, no início e no final da aplicação da água residuária, indicando que a taxa de mineralização no solo é maior que a taxa de imobilização, em ambos os períodos. Segundo Allison (1966), os processos de mineralização e imobilização, são influenciados pela relação C/N, sendo que em valores abaixo de 25 predomina a mineralização, valores entre 25 e 30 há equilíbrio, e valores acima de 30 predomina a imobilização.

Os teores de CSA não diferiram em função da época de amostragem do solo (Tabela 6), porém em valores absolutos, observou-se aumento de 41,9% depois da aplicação. Tal observação é explicada pela grande variabilidade dos resultados dentro de cada época de amostragem, visto que o desvio padrão dos valores antes e após a amostragem foram altos, tais sejam: 2,4 e $4,8 \text{ mg L}^{-1}$.

A granulometria do solo influencia diretamente na manutenção e retenção de compostos orgânicos no solo, visto que regra os processos de imobilização e mineralização da matéria orgânica por proteção física. Dessa forma, em solos com textura mais argilosa, espera-se que devido à formação de agregados, ocorra menor acesso aos microrganismos, e conseqüentemente, menor liberação de formas de carbono mais solúveis para a solução. Em trabalho de Borisolver et al. (2012), constatou-se aumento no conteúdo de CSA no solos de textura argilo-arenosa, em relação aos solos de textura argilosa, após cinco anos de aplicação de água residuária doméstica.

A fração de CSA é considerada a mais lábil da matéria orgânica, e constitui também a mais móvel e reativa fração de C da MOS (Marschner & Kalbitz, 2003), sendo responsável por vários processos que ocorrem no solo (Chantigny, 2003). Esta fração consiste nos produtos intermediários de resíduos orgânicos de fácil degradação pelos

microrganismos do solo, tais como proteínas, carboidratos, hidrocarbonetos, e seus derivados, bem como de frações de baixo peso molecular (Gonet & Debska, 2006).

Não houve alteração nos teores de CSA, uma vez que contribui somente para pequena fração da matéria orgânica do solo (MOS), podendo ser significativa ao longo do tempo, quando se consideram as quantidades acumuladas de C perdidas e a velocidade em que o C da solução é repostado pela fase sólida, em alguns sistemas de manejo (Oliveira et al., 2008). Neste caso, perdas de CSA em solos pobres em MOS, como é caso da maioria dos solos da região Nordeste já é mais um agravante, portanto alternativas que possam incrementar o teor de CT nesses solos, como é caso da aplicação de água residuária, sempre devem ser analisadas (Tiessan et al., 2001).

Os teores de C associado às frações dos ácidos húmicos (C-FAH) aumentaram significativamente (56%), após o período da aplicação desse efluente (Tabela 6). Os AHs se destacam por ser a fração orgânica que mais sofre alterações estruturais. Devido os AHs representarem a fração intermediária entre e as outras duas frações orgânicas das substâncias húmicas do solo (ácidos fúlvicos e humina). Nesse sentido, a manutenção de maiores teores de C na forma de ácidos húmicos (C-AH), em relação aos teores de C na fração ácido fúlvico (C-AF), indica solos mais preservados, e conservados (Oliveira Junior et al., 2008). De acordo com Orlov (1998), o aumento no conteúdo de C-AH pode indicar a melhoria na qualidade da matéria orgânica humificada do solo, e o incremento da atividade biológica, por promover a síntese de substâncias húmicas mais recalcitrantes.

A elevação nos teores de AH pela aplicação de água residuária, indica o aumento da qualidade do solo em estudo (Tabela 2), que apresentava baixos valores de MOS ($< 15,0 \text{ g kg}^{-1}$) (Siqueira, 2007). A elevação do teor de C-FAH, resulta no aumento da capacidade de adsorção de cátions provenientes de resíduos orgânicos e da matriz mineral do solo, da disponibilidade de nutrientes, da agregação e da estabilidade dos agregados, pela formação de complexos organominerais (Canellas et al., 2001; Melo et al., 2008).

O C-FHU apresentou um incremento de cerca de 65,10%, após a aplicação da água residuária. O fato do C-HU apresentar maior teor de COT pode ser justificado pelas frações de ácidos fúlvicos e de ácidos húmicos possuírem menor estabilidade, sofrerem processos de movimentação no perfil (principalmente ácidos fúlvicos), polimerização, ou mineralização, diminuindo assim sua composição percentual no solo (Leite et al., 2003).

Esta fração constituir o estágio final do processo de decomposição da MO, sendo mais estável no solo, devido a constituição química de seus resíduos orgânicos,

considerados mais recalcitrantes (Stevenson, 1994). O maior valor de carbono na forma de C-HU favorece as propriedades da fração coloidal da MOS, tais como: retenção de umidade, melhor estruturação do solo e maior retenção de cátions (Loss et al., 2010).

Os teores de carbono em ácido fúlvico (C-AF) não apresentaram diferença após a aplicação de água residuária (Tabela 6). Este resultado está relacionado com a composição da água residuária utilizada no experimento, que não possui resíduos orgânicos que favoreceram a formação e o consequente aumento dessa fração da matéria orgânica do solo. Constata-se também que o C-AF é a fração húmica mais lixiviável, devido a sua mobilidade no perfil (Benites et al., 2003), o que dificulta seu acúmulo no solo.

Os AF's podem trazer uma série de benefícios para a qualidade do solo, como a formação de complexos com outros compostos orgânicos, que podem deslocar-se para as partes inferiores do perfil do solo, através da percolação, a exemplo de pesticidas localizados na superfície dos solos (Schwarzenbach et al., 1990; Martin-Neto et al., 1994). Essa fração também apresenta maior teor de O que a AH, e por ser facilmente percolado no solo, devido ao seu caráter hidrofóbico (Dobbss et al., 2009), tem o potencial de aumentar a aeração do solo nos horizontes mais profundos e melhorar as condições microbianas nos mesmos, e conseqüentemente, a profundidade efetiva do sistema radicular.

O aumento no teor de C associado aos ácidos húmicos (CAH) e húmica (CHU) no Planossolo Nátrico estudado, reflete o maior aporte de húmus no solo com a adição de água residuária. Esse resultado está relacionado com a composição do efluente doméstico, que é rico em matéria orgânica dissolvida e nutrientes, e com as condições favoráveis (temperatura, umidade e nutrientes) a atividade microbiana, que estimula a decomposição da MOS e o acúmulo do húmus no solo (Borisover et al., 2012).

A relação CAH/CAF apresentou aumento de 87,5% após a aplicação de água residuária (Tabela 7). A relação entre CAH/CAF, constitui-se num índice de estabilidade da matéria orgânica (Baldotto, 2006; Ribas et al., 2008), sendo observado que o aumento desta variável resulta na elevação das frações mais solúveis. Em geral os solos mais arenosos apresentam valores superiores para a relação CAH/CAF, o que significa a perda seletiva da fração mais solúvel (CAF) (Benites et al., 2003; Martins et al., 2009).

O atributo CAF/COT apresentou um decréscimo após a aplicação da água residuária (Tabela 7). O CAF é fração mais solúvel da matéria orgânica humificada do solo, de modo que, a mesma pode ter sido perdida por lixiviação com aplicação da água residuária.

Diminuiu o valor da EA/COT após a aplicação da água residuária, no entanto, esses valores ainda são considerados baixos (Tabela 7). Segundo Martins et al. (2015), valores de EA/COT próximos a zero sugerem que as frações relacionadas aos ácidos fúlvicos e húmicos representam pouco o COT existente no perfil do solo.

Os valores de EA/CHU não apresentaram diferença após a aplicação da água residuária (Tabela 7). Possivelmente, isto se deve ao fato da aplicação da água residuária possuir uma carga de resíduos orgânicos de composição equilibrada, elevando proporcionalmente os teores de ácidos húmicos e humina. Valores abaixo de 0,50, como os observados neste trabalho, podem indicar a estabilidade ou interação da matéria orgânica com a matriz mineral, podendo ser considerado como um indicativo da estabilidade da matéria orgânica do solo (Ebeling et al., 2011).

As relações CAH/COT e CHU/COT não apresentaram diferença após a aplicação de água residuária (Tabela 7), provavelmente, devido ao curto período de aplicação da água residuária, textura do solo e a própria composição do efluente.

Tabela 7 Relações do C com N e frações húmicas, em Planossolo Nátrico no semiárido paraibano, no início e no final da irrigação com água residuária.

Época	C-AH/C-AF	EA/C-HU	C-AF/COT	C-AH/COT	C-HU/COT	EA/COT	C/N
Inicial	0,40a	0,41a	0,20a	0,06a	0,59a	0,26a	15,44a
Final	0,75b	0,33a	0,13b	0,08a	0,68a	0,21b	13,37a

Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Em relação aos valores das variáveis analisadas em função das camadas (0-15 e 15-30 cm) (Tabelas 8 e 9). Não houve alteração significativa de todas as variáveis nos períodos de aplicação de água residuária no solo. Possivelmente, isto pode ter ocorrido pelo curto prazo de aplicação desse efluente, textura do solo (franco-arenosa), e talvez a espessura das camadas estudadas, que diluiu o efeito da aplicação.

Tabela 8 Teores médios de carbono total (COT), carbono solúvel em água (CSA), carbono ligado ao ácido fúlvico (C-AF), carbono ligado ao ácido húmico (CAH) e carbono ligado a húmina (C-HU), de nitrogênio total (NT), nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), em Planossolo no semiárido paraibano, nas camadas de 0-15 e 15-30 cm de profundidade.

Camada	CSA	COT	C-AF	C-AH	C-HU	NT	NO_3^-	NH_4^+
-- cm -	mg L ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----	
0-15	5,03a	9,25a	1,11a	0,59a	4,53a	0,66a	25,34a	34,81a
15-30	5,88a	7,96a	1,05a	0,59a	4,51a	0,61a	21,4a	55,84a

Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 9 Relações do C com N e frações húmicas, em Planossolo Nátrico no semiárido paraibano, nas camadas de 0-15 e 15-30 cm de profundidade

Camada (cm)	C-AH/AF	EA/C-HU	C-AF/COT	C-AH/COT	C-HU/COT	EA/COT	C/N
0-15	0,58a	0,41a	0,15a	0,07a	0,56a	0,22a	15,23a
15-30	0,57a	0,33a	0,17a	0,08a	0,71a	0,25a	13,58a

Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Os componentes principais (CP) que explicaram a variabilidade dos componentes principais 1 e 2 são os que explicam 64,42 e 22,92% da variância total, respectivamente, acumulando 87,34% da variância total. As variáveis analisadas nos solos sob diferentes camadas e épocas de aplicação de água residuária são apresentados na tabela 10, sendo considerados os atributos mais importantes aqueles com autovetores superior a 0,161 no CP1 e 0,270 no CP2.

No componente principal 1, verifica-se que exceto o C-AF, as demais variáveis são importantes, enquanto que no componente principal 2, apenas os atributos COT, NT, NO_3^- , NH_4^+ , C-HU/COT e EA/COT devem ser considerados (Tabela 11). Também constatou-se que no CP1, houve comportamento positivo para os atributos COT, NT, NH_4^+ , C-AH, C-HU, C-SA, C-AH/C-AF, C-AH/COT e C-HU/COT, e negativo para os demais atributos, indicando que os valores dos atributos descritos acima se elevaram enquanto que os valores dos outros atributos diminuíram. No CP2, verificou-se correlação negativa entre COT e NO_3^- , NH_4^+ , C-HU/COT e EA/COT no solo.

Tabela 10 Autovalores e porcentagem da variância explicativa por cada componente principal (CP) para os atributos analisadas de em Planossolo Nátrico, antes e após aplicação de água residuária no semiárido paraibano.

Componente principal		
Autovalor (λ)	9,66246093	3,43781776
Variância Individual (%)	64,42	22,92
Variância Acumulada (%)	64,42	87,34
Variáveis	CP1	CP2
COT	0,210592	0,407424
NT	0,289752	0,232929
NO ₃ ⁻	-0,208780	0,401179
NH ₄ ⁺	0,232473	-0,300830
C-AF	-0,122010	0,211233
C-AH	0,312945	0,113604
C-HU	0,304650	0,094483
C-SA	0,281479	-0,053280
C-AH/C-AF	0,311037	0,127193
EA/C-HU	-0,211780	0,255856
C-AF/COT	-0,284310	-0,248360
C-AH/COT	0,313157	-0,105970
C-HU/COT	0,176318	-0,342370
EA/COT	-0,235990	-0,357220
C/N	-0,286230	0,244230

A distribuição dos atributos químicos, considerando as camadas de solos e épocas de aplicação de água residuária encontra-se na figura 3. Os teores de C/N, CAF/COT e EA/COT foram maiores na a camada de 0-15 cm, e os teores de COT, NT, C-AH, C-AH/C-AF, C-HU, CSA e C-AH/COT, foram superiores na camada de 15-30 cm. Com relação à época de aplicação, constatou-se que os teores de C/N, NO₃⁻, EA/C-HU, C-AF e COT foram maiores na Época I (inicial), enquanto que os teores de NH₄⁺, EA/COT e C-HU/COT foram maiores na Época II (final).

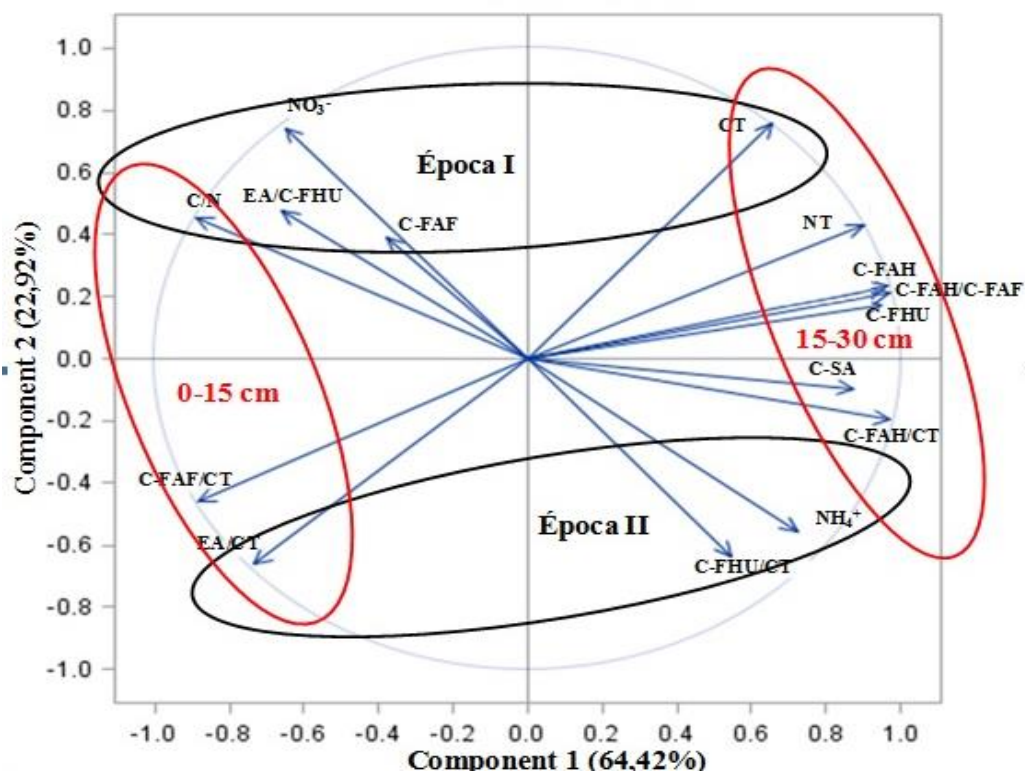


Figura 3 Dispersão dos atributos químicos de um Planossolo Nátrico no semiárido paraibano, no início e após a aplicação da água residuária, nas camadas de 0-15 cm e 15-30 cm. Teores médios de carbono total (COT), carbono solúvel em água (CSA), carbono ligado a humina (CHU), de nitrogênio total (NT), nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), e relações do C com N e frações húmicas.

5. CONCLUSÕES

1. O uso de água residuária aumentou o teor da matéria orgânica humificada (CAH e CHU) do solo e redução de N-nítrico do solo;
2. As camadas de 0-15 e 15-30 cm não influenciaram nos teores das formas de C e de N;
3. Os teores de C/N, NO_3^- , EA/C-HU, CAF e COT foram maiores na época inicial da aplicação da água residuária, enquanto que os teores de NH_4^+ , EA/COT e C-HU/COT foram maiores após aplicação.

6. REFERÊNCIAS

- ABREU, I. N.; PINTO, J. E. B. P. & FURTINI NETO, A.E. Influence of nitrogen and phosphorus in the biomass production and induction of mucilage in “insulina” plants. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 536-540, 2002.
- ALLISON, F.E. The fate of nitrogen applied to soils. **Advances in Agronomy**, v. 18, p. 219-258, 1966.
- APHA. AWWA. WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 15 ed. Washington, DC. American Public Health Association. American Water Works Association, Water Pollution control Federation, 2003. 1134p.
- BALDOTTO, M.A. **Propriedades redox e grupos funcionais de ácidos húmicos. em produção vegetal**. Campos dos Goytacazes, UENF, 2006. 100p. (Tese de Doutorado)
- BARTLETT, R. J. & ROSS, D.N. Colorimetric detemination of oxidizable carbono in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, n. 4, p. 1191-1192, 1988.
- BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T. R.; TEO, C. R. T. A. & VILAS BOAS, M. A. Reuso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 152-163, 2007.
- BENITES, V.M.; MADARI, B. & MACHADO, P.L.O.A. **Extração e Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas do Solo: um Procedimento Simplificado de Baixo Custo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003. 7p. (Comunicado Técnico 16)
- BORISOVER, M.; LORDIAN, A. & LEVY, G.J. Water-extractable soil organic matter characterization by chromophoric indicators: Effects of soil type and irrigation water quality. **Geoderma**, v. 179, p. 28-37, 2012.
- BRITO, L.T.L.; CAVALCANTI, N.B.; SILVA, A.S. & PEREIRA, L.A. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no semiárido pernambucano. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.1, p.102-109, 2012.
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANCEK, V. M.; MORAES, A. A. & GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, 2001.
- CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In.: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L (Eds). Fertilidade do Solo. Viçosa: SBCS, 2007. p.375-470
- CHANTIGNY, M.H. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: A review on the influence of land use and management practices. **Geoderma**, v. 113, n. 3, p. 357-380, 2003.
- CODY, R. **An Introdução to SAS University Edition**. Cary, NC. SAS Institute, 2015. 366p.

COELHO, M.S.; MENDONÇA, E.S.; LIMA, P.C.; GUIMARÃES, G.P. & CARDOSO, I.M. Qualidade da matéria orgânica de solos sob cultivo de café consorciado com adubos verdes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p.1576-1586, 2013.

DOBBSS, L.B.; RUMJANECK, V.M.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X. & CANELLAS, L.P. Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos e fúlvicos isolados da camada superficial de Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 51-63, 2009.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; PINHEIRO, É.F.M. & VALLADARES, G.S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.157-165, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisar de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p. 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2001. 110p (Dissertação de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)

FREITAS, D.A.F.; SILVA, M.L.N.; CASTRO, N.E.A.; CARDOSO, D.P.; DIAS, A.C. & CARVALHO, G.J. Modelagem da proteção do solo por plantas de cobertura no sul de Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 6, n. 2, p. 117-123, 2012.

GONÇALVES, A.N. Fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento de árvores em regiões áridas e semi-áridas do nordeste brasileiro. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.3, n.10, p.99-105, 1982.

GONET, S.S. & DEBSKA, B. Dissolved organic carbon and dissolved nitrogen in soil under different fertilization treatments. **Plant Soil and Environment**, v. 52, n. 2, p. 5563, 2006.

LEAL, R.M.P.; FIRME, L.P.; HERPIN, U.; FONSECA, A.F.; MONTES, C.R.; DIAS, C.T.S. & MELFI, A.J. Carbon and nitrogen cycling in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 271-276, 2010.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A. & GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de C orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C. & SILVA, E.M.R.S. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 913-922, 2010.

MARTINS, C.M.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SOARES, E.M.B. & SANTOS, S.R. Frações da matéria orgânica em solos sob formações decíduais no norte de Minas Gerais. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p.10-20, 2015.

MARSCHNER, B. & KALBITZ, K. Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matters in soils. **Geoderma**, v. 13, n. 3-4, p. 211 -235, 2003.

MARTIN NETO, L.; ANDRIULO, A.E. & TRAGHETTA, D.G. Effects of cultivation on ESR spectra of organic matter from soil size fractions of a Mollisol. **Soil Science**, v. 157, n. 6, p. 365-372, 1994.

MARTINS, E.L.; CORINGA, J.E.S. & WEBER, O.L.S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – LVAd sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazônica**, v. 39, n. 3, p. 655-660, 2009.

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

MENDES, W.C.; ALVES JUNIOR, J.; CUNHA, P.C.R.; SILVA, A.R.; EVANGELISTA, A.W.P. & CASAROLI, D. Lixiviação de nitrato em função de lâminas de irrigação em solos argiloso e arenoso. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, v. 1, n. 2, p. 47-56, 2015.

MICOA - Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental. **Plano de acção nacional de combate à seca e à desertificação**. Republica de Moçambique: MICOA, 2002. 88 p. Disponível em: <http://www.unccd.int/ActionProgrammes/mozambiqueother2002.pdf>.

MIRANDA, T. L. G. **Reuso de efluente de esgoto doméstico na irrigação de alface (*Lactuca sativa* L.)**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, 1995. 109p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)

OLIVEIRA, A.C.; SILVA C.A.; CURI N., LIMA J.M.; & RANGEL O.J. Carbon forms and quantilies in leachates from Oxisols under influence of lime and phosphorus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1261–1271, 2008.

OLIVEIRA JUNIOR, A.C.; SILVA, C. A.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. & RANGEL, O. JOSÉ P. Indicadores Químicos de Qualidade da Matéria Orgânica de Solo da Sub-Bacia do Rio das Mortes Sob Manejos Diferenciais de Cafeeiros. **Química Nova**, v.31, n.7, p.1733-1737, 2008.

OLIVEIRA, J. F.; ALVES, S. M. C.; BATISTA, R. O.; COSTA, M. S.; QUEIROZ, J. L.; LIMA, V. I. A.; Avaliação de mudas de sabiá e mororó fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 4, p. 46-52, 2013.

ORLOV, D.S. Organic substances of Russian soils. **Eurasian Soil Science**, v. 31, n. 9, p. 946-953, 1998.

RIBAS L.M.; BALDOTTO, M.A.; CANELLAS, L.P. & REZENDE, C.E. Qualidade e mobilidade da matéria orgânica de sistemas adjacentes à Lagoa de Cima, Campos dos Goytacazes–RJ. **Geochimica Brasiliensis**, v. 22, n. 2, p. 103-112, 2008.

SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. **Matéria Orgânica do Solo no Bioma Caatinga**. In.: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. (Eds). Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo. Porto Alegre: Metropole, 2008. P.419-436

SANDRI, D; MATSURA, EDSON E. & TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 13, n. 6, p.755-764, 2009.

SANTIAGO, W.R.; VASCONCELOS, S.S.I; KATO, O.R.I; BISPO, C.J.C.; RANGELVASCONCELOS, L.G.T. & CASTELLANI, D.C. Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p. 395-405, 2013.

SCHWARZENBACH, R.P; STIERLI, R.; LANZ, K. & ZEYER, J. Quinone and iron porphyrin mediated reduction of nitroaromatic compounds in homogeneous aqueous solution. **Environmental Science & Tencnology**, v. 24, n. 10, p.1566-1574, 1990.

SIMÕES, K. S.; PEIXOTO, M. F. S. P.; ALMEIDA, A. T.; LEDO, C. A.; PEIXOTO, C.P. & PEREI, F. A. C. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 518-523, 2013.

SIQUEIRA, O.J.W. **Diagnóstico da fertilidade dos solos do estado de Sergipe**. In. SOBRAL, L.F.; VIEGAS, P.R.A.; SIQUEIRA, O.J.W.; ANJOS, J.L.; BARRETTO, M.C.V. & GOMES, J.B.V. (Eds). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes no estado de Sergipe. Aracajú: EMBRAPA, 2007. p.49-79.

SOUZA, P.A.; VENTURIN, N. & MACEDO, R.L.G. Adubação mineral do Ipê-Roxo (*Tabebuia impetiginosa*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 261-270, 2006.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: John Wiley e Sons, 1994. 512p.

SWIFT, R.S. **Organic matter characterization**. In: SPARKS, D. (Ed.). Methods of soil analysis: pt.3: chemical methods. Madison: SSSA, 1996. p.1011-1069. (Book Series, 5).

TIESSEN, H., SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, I.H. Organic matter turnover and management in low input agriculture of NE Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 61, n. 1, p. 99-103, 2001.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

AL OMRON, A.M.; EL-MAGHRABY, S.E.; NADEEM, M.E.A.; EL-ETER, A.M. & AL-MOHANI, H. Long term effect of irrigation with the treated sewage effluent on some soil properties of Al-Hassa Governorate, Saudi Arabia. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 11, p. 15-18, 2012.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. & NASCIMENTO, S. S. Degradação da caatinga: Uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v.22, n. 03, p.126-135, 2009.

AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2 ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

AZEVEDO, J.; DUTRA, I.C.B.; COSTA, F.G.B.; BATISTA, R.O. & COSTA, L.R. Alterações químicas de Cambissolo fertirrigado com água residuária doméstica tratada. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 9, n. 02, p. 66-76, 2013.

BALDOTTO, M.A.; CANELLAS, L.P.; CANELA, M.C. & VELLOSO, A.C.X. Propriedades redox das substâncias húmicas. In: CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A., eds. *Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes, 2005. p. 201-223

BAR-TAL, A. **Major mineral-nitrogen in treated wastewater used for irrigation**. In: Levy, G., Fine, P., Bar-Tal, A. (Eds.). *Use of Treated Wastewater in Agriculture. Impacts on Soil, Environment and Crop*. Willey-Blackwell, UK, p. 31-165, 2011.

BAR-YOSEF, B. **Major minerals-phosphorus**. In: Levy, G., Fine, P., Bar-Tal, A.(Eds.). *Use of Treated Wastewater in Agriculture. Impacts on soil, Environmentand Crop*. Willey-Blackwell, UK, p. 166-202, 2011.

BHARDWAJ, A.K.; GOLDSTEIN, D.; AZENKOT, A. & LEVY, G.J. Irrigation with treated wastewater under two different irrigation methods: Effects on hydraulic conductivity of a clay soil. **Geoderma**, v. 140, p. 199-206, 2007.

BOLZANI, H.R.; OLIVEIRA, D.L.A. & LAUTENSCHLAGER, S.R. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura no solo e na qualidade dos seus lixiviados. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 385-392, 2012.

BOTERO, W.G.; SANTOS, A.; OLIVEIRA, L.C.; ROCHA, J.C. **Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola**. *Química Nova*, v. 32, n. 8, p. 2018-2022, 2009.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANCEK, V. M.; MORAES, A. A. & GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, 2001.

CAPUANI, S.; RIGON, J.P.G.; BELTRÃO, N.E.M. & BRITO NETO, J.F. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.12, p.1269-1274, 2012.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R. & ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003.

CIRILO J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008.

CORREA, R. M.; FREIRE, M. B. G. S.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, F. J.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A. & MELO, D. V. M. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 305-314, 2009.

COLOMBO, S. M.; SANTOS, L. B. O; MASINI, J. C. & ABATE, G. Propriedades ácido-base e de complexação de ácidos húmico e fúlvico isolados de vermicomposto. **Química Nova**, v.30, n.5, p. 1261-1266, 2007.

CUNHA, T. J. F.; BASSOI, L. H.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L.; PETRERE, V. G. & RIBEIRO, P. R. A. Ácidos húmicos em solo de fertirrigado no Vale do São Francisco. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, vol.33, n.6, pp.1583-1592. 2009.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, M. S. L. & ALVAREZ, I. A. **Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo**. In. SÁ, I. B. & SILVA, P. C. G. (Eds) *Semiárido Brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: EMBRAPA, 2010. p.49-89.

DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; SOARES, E. M. B.; BETTIOL, W.; GUEREIRO, M. C. & BELIZÁRIO, M. H. Infravermelho na caracterização de ácidos húmicos de latossolo sob efeito de uso contínuo de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 885- 894, 2009.

DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A. & SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. Escala 1:5.000.000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos do Nordeste**. Recife: Embrapa, 2014. 7p.

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.

FENTON, M.; ALBERS, C. & KETTERINGS, Q. **Soil Organic Matter**. Ithaca: Cornell University, 2008. 2p. (Fact Sheet 41)

FONSECA, A.F.; HERPIN, U.; PAULA, A.M.; VICTORIA, R.L. & MELFI, A.J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agrícola**, v. 64, n. 2, p. 194-209, 2007.

FORGERINI, D. **Obtenção e caracterização de biofertilizantes a partir de técnicas de compostagem sólida**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2012. 92 f. (Dissertação de Mestrado em Ciências - Química analítica)

FRAGA, V. S. & SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semiarid soils under subsistence farming. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 1, p. 215-224, 2004.

GASI, T. M. T. **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo: CETESB, 1988. 36 p. (Série Manuais, 3)

HEIDARPOUR, M.; MOSTAFAZADEH-FARD, B.; ABEDI KROUPAI, J. & MALEKIAN, R. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. **Agricultural Water Management**, v. 90, n.1-2, p.87-94, 2007.

HESPAÑHOL, I. A New Paradigm for Water Resource Management. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 131-157, 2008.

HESPAÑHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reuso de água. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública/Universidade de São Paulo, 2003. p. 3795

HOLANDA, F. S. R.; PEDROTTI, A.; AGUIAR, J. F.; SANTOS V. P. Sistema de Manejo de água e solo como tecnologias de prevenção da salinização e reabilitação de solos salinizados, no Perímetro Hidroagrícola do Califórnia-Semi-árido Sergipano. In: **Seminário de Pesquisa FAPITEC**, 2003, Aracajú. Anais..... Aracajú: FAPITEC/SE, 2003. CD Rom

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A. & SABBAGH, G. Subsurface drip of residential effluent: I. soil chemical characteristics. **Transaction of the ASAE**, v. 44, n. 5, p. 1149-1157, 2001.

KIZILOGLU, F. M.; TURAN, M.; SAHIN, U.; KUSLU, Y. & DURSUN, A. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. **Agricultural Water Management**, v.95, n.6, p.716-724, 2008.

LAL, K.; KAUR, R.; ROSIN, K.G. & PATEL, N. **Low cost remediation and on-farm management approaches for safe use of wastewater in agriculture**. In: DAGAR, J. C., SHARMA D.K. AND SHARMA P.C. (Eds). *Innovative Saline Agriculture*, Springer: Advances in Agroforestry, v.13, p. 265-275, 2015.

LEAL, R.M.P.; FIRME, L.P.; HERPIN, U.; FONSECA, A.F.; MONTES, C.R.; DIAS, C.T.S. & MELFI, A.J. Carbon and nitrogen cycling in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 271-276, 2010.

LIRA, R. M.; SANTOS, A. N.; SILVA, J. S.; BARNABÉ, J. M. C.; BARROS, M. S. & SOARES, H. R. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **Revista Geama**, v. 3, n. 1, p.62-88, 2015.

LOSS, A.; MORAES, A.G.L.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R. & ANJOS, L.H.C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v.1, n. 1, p.57-64, 2010.

MacCALLISTER, D. L. & CHUIEN, W. L. Organic carbon quantity and forms as influenced by tillage and cropping sequence. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 31, p. 465-479, 2000.

MACHADO, L.V.; RANGEL, O.J.P.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, R.V. & FERRARI, J.L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, v. 9, n. 3, p. 289-299, 2014.

MADEIRA, C. A.; PEÑA, M. R. & MARA, D. D. Microbiological quality of a waste stabilization pond effluent used for restricted irrigation in Valle Del Cauca, Colombia. **Water Science and Technology**, v.45, n.1, p.139-143, 2002.

MARTINS, T. **Caracterização mineralógica e da matéria orgânica do solo por técnicas espectroscópicas e DRX**. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2009. 179 f. (Dissertação de Mestrado em Química Aplicada)

MARTINS, C.M.; GALINDO, I.C.L.; SOUZA, E.R.; POROCA, H.A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1883-1890, 2010.

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, 2005b.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; SOUZA, J. A. A.; SOUZA, J. A. & MATOS, A. T. Comportamento dos atributos químicos do solo em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9 (suplemento), p.268-273, 2005a.

MEDEIROS, S.S.; SOARES, F.A.L.; GHEYI, H.R. & FERNANDES, P.D. Uso de água residuária de origem urbana no cultivo de gérberras: Efeito nos componentes de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 569-578, 2007.

MINHAS, P.S.; LALA, K.; YADAVA, R.K.; DUBEYB, S.K. & CHATURVED, R.K. Long term impact of waste water irrigation and nutrient rates: I. Performance, sustainability and produce quality of peri urban cropping systems. **Agricultural Water Management**, v. 156, p. 100-109, 2015.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Matéria Orgânica do solo**. In: MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O (Eds). Microbiologia e Bioquímica do Solo. Editora UFLA, 2 ed., Lavras -MG, 2006c. p. 203-262.

NOVAIS, F.R & SMYTH, T.J. **Formas de Fósforo no sistema solo-planta**. In.: NOVAIS, F.R. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. p.166-168.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; HOLANDA JÚNIOR, E. V. & MENEZES, R. I. Q. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, v.22, n.1, p.131-140, 2009.

PAVINATO, P.S. & ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 3, p.911-920, 2008.

PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H.; NUNES, F.N. & GEBRIM, F.O. Fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos afetado pelo tipo, dose e época de incorporação de adubos verdes ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n. 6, p.997-1006, 2006.

PINHEIRO, D. T. C.; COSTA, C. C.; MOTTA, L. L.; GODINHO, F. C. & SILVA, J. V. Monitoramento da fertilidade do solo submetido à erosão hídrica em área cultivada com Eucalyptus sp. em São João Evangelista - MG. **Revista Agrogeoambiental**, v. 2, n. 1, p. 57-65, 2010.

POSTEL, S. L.; DAILY, G. C. & EHRLICH, P. R. Human appropriation of renewable fresh water. **Science**, v. 271, p. 785-788, 1996.

PRIMO, D.C., MENEZES, R.S.C. & SILVA, T.O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: Uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v.7, n. 5, p.1-13, 2011.

RICE, J. Humim. **Soil Science**, v. 166, p. 848-857, 2001.

ROTH, C.H.; WILCZYNSKI, W. & CASTRO FILHO, C. Effect of tillage and liming on organic matter composition in a Rhodic Ferralsol from Southern Brazil. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 55, n. 3, 175-179, 1992.

SALCEDO, I. H. & SAMPAIO, E. V. S. B. **Matéria orgânica do solo no bioma Caatinga**. In. SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. & CAMARGO, F. A. O. (Eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.419-442.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M. & BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 1, p.11-21, 2008.

SANDRI, D; MATSURA, EDSON E. & TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 13, n. 6, p.755-764, 2009.

SANTOS, C.A.G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M. & SRINIVASAN, V.S. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 92-96, 2000.

SANTOS, C.H.; MILORI, D.M.B.P.; MARTIN-NETO, L.; SILVA, W.T.L.; SIMÕES, M.L; MONTES, C.R. & MELFI, A.J. **Análises Espectroscópicas da Matéria Orgânica de Solos sob Aplicação de Águas Residuárias**. São Carlos: Embrapa, 2010. 26p (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 33)

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**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SANTOS, L. M. **Dinâmica da matéria orgânica e destino de metais pesados em dois solos submetidos à adição de lodo de esgoto**. São Carlos: Universidade de São Carlos, 2006. 142 f (Dissertação de Mestrado em Ciências - Química Analítica)

SANTOS, S.R.; SOARES, A.A.; KONDO, M.K.; ARAÚJO, E.D. & CECON, P. R. Crescimento e produção do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária no semiárido de Minas Gerais. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 40-57, 2016.

SARGENTINI JUNIOR, É.; ROCHA, J. C. & ROSA, A. H. Substâncias húmicas aquáticas: Fracionamento molecular e caracterização de rearranjos internos após complexação com íons metálicos. **Química Nova**, v. 24, n. 3, p. 339-344, 2001.

SATO, J.H.; FIGUEIREDO, C.C.; LEÃO, T.P.; RAMOS, M.L.G. & KATO, E. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p.189-193, 2012.

SILVA, A. A. & DELATORRE, C. A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 8, n. 2, p. 152-163, 2009.

SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. p.275-374.

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

SILVA, T. O.; MENEZES, R. S. C. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, crotalaria juncea. II - Disponibilidade de n, p e k no solo ao longo do ciclo de cultivo - Solo disponibilidade de N, P e K em toda a estação de crescimento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.51-61, 2007.

SILVA, V.P.R.; CORREIA, A.A. & COELHO, M.S. Análise de tendência das series de precipitação pluvial do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.111-114, 1998.

SIMÕES, K. S.; PEIXOTO, M. F. S. P.; ALMEIDA, A. T.; LEDO, C. A.; PEIXOTO, C.P. & PEREIRA, F. A. C. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 17, n. 5, p. 518-523, 2013.

SOUSA, S.M.S.C.; FRAGA, V.S.; SALCEDO, I.H. **Frações lábeis da matéria orgânica de solos na região semiárida**. In: MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Fertilidade do solo e produção de biomassa no semiárido. Recife: Universitária UFPE, 2008, p. 105-122.

SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2003.

STEVERSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 ed New York: John Willey, 1994, 496p.

TRAVASSOS, I. S. & SOUZA, B. I. Solos e desertificação no sertão paraibano. **Revista Cadernos do Logepa**, v. 6, n. 2, p. 101-114, 2011.

van RAIJ, B. **Fertilidade do solo no Brasil**. Piracicaba: IPNI, 2010. 13p. (Comunicado Técnico 132)

VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N. & SILVA, I. J. O. Potencial de uso de águas residuárias na agricultura como suprimento hídrico e nutricional. **Engenharia Rural**, v. 15, p. 79-86, 2004.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S. & MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p.247-258, 2006.

