

ALTERAÇÃO DE ATRIBUTOS NA ÁGUA E NO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO APÓS DISPOSIÇÃO DE EFLUENTE EM VALAS DE INFILTRAÇÃO

Lucas Prado Lima

Brasília, DF Junho de 2016

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

ALTERAÇÃO DE ATRIBUTOS NA ÁGUA E NO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO APÓS DISPOSIÇÃO DE EFLUENTE EM VALAS DE INFILTRAÇÃO

Lucas Prado Lima

ORIENTADOR: Prof. Dr. Delvio Sandri

BRASÍLIA/DF JULHO DE 2016

LUCAS PRADO LIMA

ALTERAÇÃO DE ATRIBUTOS NA ÁGUA E NO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO APÓS DISPOSIÇÃO DE EFLUENTE EM VALAS DE INFILTRAÇÃO

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Delvio Sandri

BRASÍLIA - DF JULHO DE 2016 FICHA CATALOGRÁFICA

Lima, Lucas Prado

Alteração de atributos na água e no nível do lençol freático após disposição de efluente em valas de infiltração / Lucas Prado Lima. Orientação: Delvio Sandri,

Brasília, 2016.

Monografia – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina

Veterinária, 2016

33 p.: il.

1. Infiltração no solo. 2. Esgoto. 3. Leitos cultivado. 4. Poços de observação.

I. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária / Universidade de Brasília. II.

Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, LUCAS PRADO. Alteração de atributos na água e no nível do lençol freático

após disposição de efluente em valas de. 2016. 32 p. Monografia (Curso de Agronomia)

- Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília,

2016.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: LUCAS PRADO LIMA

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO: Alteração de atributos

na água e no nível do lençol freático após disposição de efluente em valas de infiltração

GRAU: 3° **ANO:** 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta

monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos

acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma

parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do

autor.

Lima, Lucas Prado

Email: lucas.prado.lima1@gmail.com

Ш

LUCAS PRADO LIMA

Alteração de atributos na água e no nível do lençol freático após disposição de efluente em valas de infiltração

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em 12 de julho de 2016

COMISSÃO EXAMINADORA

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Delvio Sandri
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília
Orientador

Prof. Dr. Gervásio Fernando Alves Rio
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília
Examinador

Prof. Dr. João José da Silva Júnior Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, pela saúde, pelas oportunidades e pela sustentação nos momentos de dificuldade.

Agradeço ao meu orientador, professor Delvio Sandri, pelo auxílio e pela oportunidade de trabalho para a realização do TCC.

Agradeço aos meus familiares pelo suporte, tanto material quanto moral. Em especial ao meu pai, Romilton, à minha mãe Leila, que pela vontade de Deus não está presente, à minha madrasta Fabiana e aos meus irmãos: Luís Felipe, João Pedro, Matheus, Paulo Henrique e Laydiane.

Agradeço à minha namorada Thalita Luzia, que sempre me apoiou e sempre esteve presente em todos os momentos, agradeço por todo seu amor e dedicação.

Agradeço aos meus amigos, especialmente pelo grupo do "Bola Murcha" e do grupo "Fundadores", por todo suporte e por toda amizade.

Agradeço à Universidade de Brasília e aos professores, pelo ensino e dedicação aos alunos.

SUMÁRIO

L	ISTA	A DE TABELAS	VII
L	ISTA	A DE FIGURASV	III
R	ESU	MO	.IX
A	BST	RACT	X
1	I	NTRODUÇÃO	1
2	R	EVISÃO DE LITERATURA	2
	2.1	LEGISLAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	2
		DISPOSIÇÃO DE ESGOTOS NO SOLO	
		VALAS DE INFILTRAÇÃO	
3	N	IATERIAL E MÉTODOS	9
	3.1	LOCAL DO EXPERIMENTO E ORIGEM DO ESGOTO	9
	3.2	DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DO EFLUENTE	. 10
	3.3	MACRÓFITAS NOS LEITOS DE CULTIVO	. 14
	3.4	MEDIÇÃO DA VAZÃO E CAIXA DE DISTRIBUIÇÃO DO EFLUENT	Έ
PARA	AS \	VALAS DE INFILTRAÇÃO	. 14
		PROCEDIMENTO PARA ESTIMAR A CAPACIDADE DE	
PERCO	OLA	ÇÃO DO SOLO (K)	. 15
	3.6	VALAS DE INFILTRAÇÃO	. 16
	3.7	CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DOS POÇOS DE OBSERVAÇÃO	. 20
	3.8	ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO	. 21
	3.9	COLETAS DAS AMOSTRAS DE EFLUENTE E PARÂMETR	OS
AVAL	IAD	OS	. 21
	3.10	ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS	. 22
4	R	ESULTADOS E DISCUSSÃO	. 22
	4.1	MONITORAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO	. 22
		ATRIBUTOS DA ÁGUA DO LENÇOL FREÁTICO	
		SOLO	
5	C	CONCLUSÕES	. 30
6	R	EFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	. 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Contaminantes comuns da água subterrânea e fontes de poluição7
Tabela 2. Parâmetros de projeto para dimensionamento das valas de infiltração conforme
NBR 13969/1997 e parâmetros que serão utilizados
Tabela 3. Identificação dos 11 poços de observação, profundidade total dos poços e
profundidade de água em cada poço
Tabela 4. Classificação textural do solo sob as valas de infiltração
Tabela 5. Parâmetros analisados e seus respectivos métodos de análise e com frequência
de coleta a cada 30 dias
Tabela 6. Teores de nitrato no efluente antes da entrada nas valas de infiltração e na água
subterrânea dos poços de observação em diferentes datas de coleta24
Tabela 7. Teores de nitrito no efluente antes da entrada nas valas de infiltração e na água
subterrânea dos poços de observação em diferentes datas de coleta25
Tabela 8. Concentração de Condutividade elétrica no efluente antes da entrada nas valas
de infiltração e na água subterrânea dos poços de observação em diferentes datas de
coleta
Tabela 9. Concentração de sólidos totais dissolvidos no efluente antes da entrada nas valas
de infiltração e na água subterrânea dos poços de observação em diferentes datas de
coleta
Tabela 10. Contagem de E. coli em amostra do efluente antes da entrada nas valas de
infiltração e na água dos poços de observação em diferentes datas de coleta28
Tabela 11. Resultado da análise de solo antes do início do lançamento de efluente nas
valas de infiltração e no final do experimento para pH, cálcio, potássio e magnésio
nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40, na entrada e saída das valas de infiltração.29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema Nacional de Gerenciamento de Recurso	s Hídricos 4
Figura 2. Precipitação nos meses de condução do experim	ento9
Figura 3. Planta baixa de da estação de tratamento de esgo	oto - ETE/FAL/UnB, das valas de
infiltração e dos poços de observação	12
Figura 4. Vista dos três tanques sépticos (TS1, TS2 e TS3	3) indicando a direção do fluxo de
esgoto	12
Figura 5. Imagem em corte da dos três tanques sépticos in	stalados em série12
Figura 6. Caixa de passagem para os leitos cultivados (a), vista dos leitos cultivados e do
não cultivado (b) e do cavalete de controle do	nível do efluente no interior dos
leitos (c).	
Figura 7. Estacas de sustentação dos leitos cultivados no	sentido do comprimento (a) e no
sentida da largura (b).	14
Figura 8. Vista do leito cultivado com taboa (a), papiro	brasileiro (b), lírio do brejo (c) e
sem plantas (d) 10 dias após o transplantio	14
Figura 9. Hidrômetro para medição de vazão de entrada n	as valas (a), caixa de distribuição
para as valas de infiltração (b) e "colar" hidráu	nlico para coleta de amostras de
efluente (c)	
Figura 10. Poço de 0,16 m de diâmetro e 0,30 m	de profundidade (a) e kit para
determinação de k (b).	16
Figura 11. Britas nº. 3 (a), Valas de infiltração (a) e (b), T	ubo de drenagem (d)17
Figura 12. Corte transversal (a) e longitudinal (b) o	da vala de infiltração, tubo de
drenagem/distribuição, tubos de observação do n	ível a água nas valas e poços de
observação da água do lençol freático	18
Figura 13. Distância da superfície do solo até o nível su	perficial da água no interior dos
poços de observação	23

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar o funcionamento de valas de infiltração como método de disposição no solo de efluentes oriundos de tratamento de esgoto por meio de tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes espécies de macrófitas. O experimento foi realizado na Fazenda Água Limpa – FAL da Universidade de Brasília – UnB. Para tal, foi construída uma estação de tratamento de esgoto contendo tanques sépticos e leitos cultivados. Logo após, foram estabelecidas 6 valas de infiltração, usando brita nº 3 como material filtrante. O esgoto, caracterizado como esgoto doméstico, é distribuído subsuperficialmente por todo comprimento das valas por meio de tubos perfurados. Com o objetivo de acompanhar a possível contaminação do lençol freático, foram instalados 11 poços de observação, distribuídos na área onde estão localizadas as valas. Os parâmetros avaliados da água foram: nitrato, nitrito, sólidos totais dissolvidos e coliformes termotolerantes. Também foram realizadas análise de solo no local para acompanhar as alterações em suas características químicas. As águas subterrâneas, após lançamento de efluente em valas de infiltração, estão de acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pelo CONAMA e Ministério da Saúde, para os parâmetros, nitrato, nitrito, sólidos totais dissolvido, com exceto da E. coli. Houveram alterações significativas nas concentrações de cálcio, magnésio e potássio do solo. Foi constatado o espalhamento do efluente na água subterrânea após cerca de 2,5 m do término das valas de infiltração, alterando teores de nitrato, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos. O nível do lençol freático não foi influenciado pela infiltração do efluente.

Palavras-chave: valas de infiltração; disposição de esgoto no solo; água subterrânea;

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the infiltration swales as a sewage treatment effluents disposal method in soil through septic tanks followed by macrophyte beds. The experiment was performed in the University of Brasilia agricultural center (Fazenda Água Limpa - FAL). For this purpose, a sewage treatment plant containing septic tanks and constructed wetland were constructed. Soon after, it was established 6 infiltration swales, using gravel # 3 as filter material. The domestic sewage was distributed in subsurface through the whole length of the swales by perforated pipes. In order to monitor the possible contamination of the water table, 11 observation wells were installed, distributed in the area where are located the swales. The evaluated parameters were: nitrate, nitrite, total dissolved solids and fecal coliforms. Soil analysis were conducted in place to monitor changes in their soil chemical characteristics. It was found that the water of the water table, after the release of effluent into swales, are in agreement with the potability standards set by CONAMA and the Ministry of Health, for the parameters, nitrate, nitrite, total solids dissolved with except the E. coli. There were significant changes in the concentration of calcium, magnesium and potassium in the soil. The spreading of the effluent in the groundwater was found after about 2.5 m from the end of swales, changing the levels of nitrate, electrical conductivity and total dissolved solids. The groundwater level was not influenced by the effluent infiltration.

Keywords: infiltration swales; disposal of sewage; groundwater;

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem indispensável para manutenção da vida no planeta Terra. Porém, observa-se cada vez mais, que este bem vem se tornando escasso. Isto devido à má gestão dos recursos hídricos, principalmente em países em desenvolvimento. Com o aumento da população e com isso a demanda por água cada vez maior, é imprescindível que se estabeleça meios para garantir o acesso à água potável às gerações futuras.

Estudos realizados pela Unicef e pela Organização Mundial da Saúde (OMS) mostram que um terço da população não tem acesso a serviços de saneamento básico e água potável. Para as áreas rurais, a proporção é de 7 entre 10 pessoas. Observa-se também, que as nações estão se preocupando cada vez mais para estes fatos e vem buscando diminuir estes índices. O Brasil, por exemplo, mudou de 92% para 98% de pessoas com acesso a serviços de água potável nas zonas urbanas, de 1990 até 2015. Já para a população rural mudou de 35% para 70% em 25 anos.

Um dos grandes problemas enfrentados são os danos causados nos corpos hídricos pela deposição direta de esgotos urbanos e industriais, pelo tratamento inadequado e também pela disposição de efluentes gerados nas estações de tratamento de esgoto. As águas subterrâneas merecem atenção especial, pois, é onde se encontra o maior volume de água doce disponível no planeta e os problemas de contaminação podem ser irreversíveis devido aos processos de autodepuração destes corpos serem muito lentos.

Métodos já bastante antigos de disposição de efluentes vêm sendo estudados para evitar a contaminação dos lençóis d'água. Estes métodos são os de disposição de esgoto através do solo e são utilizados aliados a outras técnicas de tratamento primário. Lagoas de estabilização, irrigação, escoamento superficial e valas de infiltração, são alguns exemplos de métodos de disposição de efluentes. O Brasil oferece um grande potencial na implantação destes métodos, pois, apresenta condições climáticas favoráveis e uma vasta disponibilidade de território.

Neste sentido, o presente estudo, realizado na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília, tem como objetivo avaliar as valas de infiltração como método de disposição de efluentes oriundos de tratamento de esgoto por três tanques sépticos em série, seguidos de leitos cultivados com diferentes espécies de macrófitas. Quantificar, ainda, atributos físicos e químicos da água subterrânea e parâmetros químicos do solo, bem como acompanhar a variação do nível d'água em poços de observação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 LEGISLAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (CF 1988) instituiu que a água é um bem público. De acordo com a sua localização, a água pode estar incluída entre os bens do Estado ou da União, tendo esta última, privativa jurisdição para legislar sobre as águas. A Constituição estabelece também, competência comum à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, de registro, acompanhamento e fiscalização das concessões de direito de exploração e pesquisa de recursos hídricos em seus territórios correspondentes. Dentre outros artigos que regimentam a utilização dos recursos hídricos estão:

- Art. 20. São bens da União: Inciso III os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais; § 1° É assegurada, nos termos da lei, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, bem como a órgãos da administração direta da União, participação no resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica e de outros recursos minerais no respectivo território, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, ou compensação financeira por essa exploração.
- **Art. 21.** Compete à União: XII explorar, diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão: b) [...] aproveitamento energético dos cursos de água, em articulação com os Estados onde se situam os potenciais hidroenergéticos.
- Art. 22. Compete privativamente à União legislar sobre: IV águas [...].
 Art. 23. É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios: XI registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos [...].
 Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados: I as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União.
- **Art. 43.** Para efeitos administrativos, a União poderá articular sua ação em um mesmo complexo geoeconômico e social, visando a seu desenvolvimento e à redução das desigualdades regionais. § 2° Os incentivos regionais compreenderão, além de outros, na forma da lei: IV prioridade para o aproveitamento econômico e social dos rios e das massas de água represadas ou represáveis nas regiões de baixa renda, sujeitas a secas periódicas. § 3° Nas áreas a que se refere o § 2°, IV, a União incentivará a recuperação de terras

áridas e cooperará com os pequenos e médios proprietários rurais para o estabelecimento, em suas glebas, de fontes de água e de pequena irrigação. (BRASIL, 1988).

Em 1997, regulamentando o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal que diz respeito à competência da União em instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), foi sancionada a Lei nº 9.433/1997, também conhecida como "Lei das Águas". Esta também instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNHR).

De acordo com a lei, a PNHR é baseada em seis fundamentos. A água continua sendo um bem de domínio público, como previsto na CF 1988, mas passa a ser entendida como um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. A lei também presume que a gestão dos recursos hídricos deve propiciar a multiplicidade do uso das águas, ser descentralizada e contar com a atuação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Outro fundamento estabelece que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do SNGRH (BRASIL, 1997)

Os objetivos da PNRH são:

- I Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997)
- O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Figura 1) deve encarregar-se dos seguintes objetivos:
 - Coordenar a gestão integrada das águas
 - Arbitrar administrativamente os conflitos ligados ao uso da água
 - Implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos
 - Planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos
 - Promover a cobrança pelo uso da água (BRASIL, 2002).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal, os Comitês de Bacia Hidrográfica, os órgãos governamentais cujas competências se conecta com a gestão de recursos hídricos e as Agências de Água, compõem o SNGRH. Importante característica deste Sistema é a relevância que se deu à participação pública. Assegurou-se a participação da sociedade

civil em todos os plenários, por exemplo, nos Conselhos Nacionais e Estaduais e também nos Comitês de Bacia.

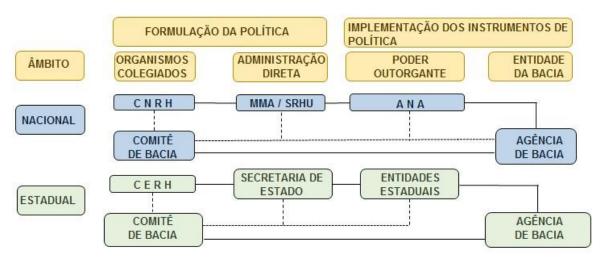


Figura 1. Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

(Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2016)

2.2 DISPOSIÇÃO DE ESGOTOS NO SOLO

A disposição de esgotos no solo é um dos métodos mais antigos e também um dos mais utilizados para depuração de esgotos. O Brasil tem bastante potencial para este tipo de tratamento, pois há grande disponibilidade de área e boas condições climáticas. Esta aplicação tem obtido bastante sucesso e vem sendo usada em diversos estados brasileiros (ANDRADE NETO; CAMPOS, 1999).

O processo de tratamento se dá tanto pela filtração quanto pela atividade de microrganismos que buscando alimento e produção de energia, transformam a matéria orgânica presente nos efluentes em moléculas químicas mais simples. Após este processo, tem-se um efluente tratado e um solo revigorado, pois os compostos químicos transformados podem favorecer o crescimento vegetal (CORAUCCI FILHO *et al.*, 1999).

De acordo com Coraucci Filho *et al.* (1999), os principais métodos que utilizam o solo para disposição e/ou tratamento de esgoto são:

- Infiltração rápida: O solo juntamente com os microrganismos forma um filtro onde sequestram e transformam compostos orgânicos. A água se perde por evapotranspiração ou infiltra-se até chegar aos lençóis de água subterrânea e a vegetação, quando houver, utiliza os nutrientes derivados da transformação evitando assim seu acúmulo no solo.
- Irrigação: consiste na utilização de água residual por meio de técnicas, como: gotejamento, inundação por sulcos ou canais e por aspersão.

- Escoamento superficial: O esgoto é filtrado quando passa pela superfície do solo com vegetação e que tem uma certa declividade. O efluente tratado é coletado no final da rampa, a disposição também é feita por evapotranspiração e em menor taxa, por percolação.
- Infiltração subsuperficial: Este método engloba outros, como o filtro de areia, valas de infiltração e terras úmidas. O esgoto tratado é aplicado abaixo do nível do solo.
- Filtros de areia: O processo de depuração ocorre por meio da retenção e da oxidação quando o esgoto passa pela camada de areia.
- Valas de infiltração: Sistema parecido com o de filtros de areia, mas utilizando uma camada com pedras britadas envolvendo o tubo de distribuição.
- Terras úmidas (alagados ou wetlands): consiste no uso de áreas alagadas com vegetação aquática para o tratamento de esgoto por meio de processos químicos, físicos e biológicos. O sistema pode ter fluxo de água superficial ou subsuperficial.

Mecanismos de depuração de esgotos no solo

Para compreender o processo de depuração de esgotos no solo é importante entender seu funcionamento. O solo se comporta como um sistema dinâmico formado por frações sólidas, líquidas e gasosas de natureza orgânica e mineral (MENDONÇA, 2010). O solo é composto pela parcela mineral (46%), orgânica (4%) e Ar-água (50%), podendo ter variações (LEPSCH, 2010). A porção viva composta por microrganismos e pequenos animais correspondem a menos de 1% do volume total (ALEXANDER, 1977), mas é essencial para os processos de transformação da matéria orgânica do solo.

O tratamento de efluentes no solo se dá por processos físicos, químicos e biológicos. O sistema solo-planta funciona como filtro "vivo" que retém, absorve, transforma e aproveita a substâncias presentes no efluente. Assim, o líquido depurado remanescente segue para o lençol subterrâneo ou se junta aos corpos d'água terrestres. No caso de disposição de efluentes no solo por infiltração e percolação, o solo e os microrganismos que nele vivem serão responsáveis pela depuração removendo a carga poluidora e a vegetação, se existir, removerá os nutrientes oriundos dos esgotos (NUCCI et al., 1978).

Vale enfatizar os aspectos importantes no processo de depuração de alguns poluentes presentes nos esgotos domésticos:

- Matéria orgânica biodegradável: os compostos orgânicos biodegradáveis são retidos no solo, facilitando a atividade química e biológica dos microrganismos para serem

estabilizados. A aeração é de substancial importância para a eficiência deste processo, pois, sem oxigênio é inconcebível que os microrganismos realizem os processos metabólicos de oxidação da matéria orgânica. Também pela falta de aeração, os processos de decomposição anaeróbia são favorecidos. Estes processos geram substâncias que se acumulam nos poros do solo, favorecendo a colmatação e tornando-o em pouco tempo inutilizável para a disposição de esgoto (NUCCI *et al.*, 1978).

- Nitrogênio e Fósforo: apesar da presença de vários outros nutrientes nos esgotos, o nitrogênio e o fósforo apresentam-se em maior concentração relativa ao demais. O nitrogênio está presente nos esgotos domésticos, em quase toda sua totalidade, na forma de nitrogênio orgânico que não é absorvido pelas plantas (SPERLING, 1968). Assim, os microrganismos do solo transformam o nitrogênio orgânico em amônia (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) pela oxidação do nitrogênio, tornando-os assim, disponível para as plantas. Na ausência de vegetação, a amônia pode ficar retida pela argila ou pelo húmus presente no solo. Já o nitrato é facilmente lixiviado podendo atingir o lençol freático. Em condições anaeróbias, o processo de desnitrificação é favorecido e assim, o nitrogênio na forma gasosa (N₂) retorna a atmosfera. O fósforo após sofrer oxidação, pode ser absorvido pelas plantas ou ser fixado no solo através da adsorção pelas argilas, adsorção pelos hidroxilos de ferro e alumínio, formação de compostos orgânicos entre outros (BERNARDES, 1986). As transformações do fósforo acontecem geralmente nos primeiros 50 cm de solo (NUCCI *et al.*, 1978).

- Microrganismos: a remoção de microrganismos é importante, pois, existem diversas espécies que são patogênicas, restringindo o reuso das águas. A filtração física e a atividade biológica dos microrganismos presentes no solo são responsáveis pela remoção dos organismos indesejáveis. A depuração é mais efetiva nas camadas superficiais do solo, visto que, a aeração e a disponibilidade de matéria orgânica são maiores nestas camadas (BERNARDES, 1986).

Infiltração de água no solo

A infiltração pode ser definida como o ingresso de água no solo por meio da sua superfície. Parte da água oriunda da precipitação pode infiltrar-se e percola pelo solo e a outra parte pode escoar pela superfície, caso exista declividade no terreno (LIBARDI, 2012).

A taxa de infiltração é estabelecida pela quantidade de água que permeia a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo (LIBARDI, 2012). Essa taxa é alta no

começo do processo de infiltração e com o tempo, ela decresce exponencialmente e vai se aproximando de um valor mínimo e constante, quando o solo se torna saturado, conhecido como Valor de Infiltração Básica (VIB) (ALVES SOBRINHO *et al.*, 2003).

A movimentação de água é influenciada por vários fatores inerentes ao solo, tais como: a textura, a porosidade, a densidade, a cobertura, o grau de agregação, o selamento superficial, a umidade inicial, a matéria orgânica, a estrutura e a variabilidade espacial do terreno (POTT; DE MARIA, 2003).

O uso de água residual por meio de disposição no solo também condiciona a infiltração de água no solo por meio das alterações de seus atributos (PEDRERO *et al.*, 2010). A redução da infiltração pode ser causada pela formação de uma camada seladora devido ao acúmulo de sólidos suspensos, pela dispersão de argila e da atividade microbiológica (BEDBABIS *et al.*, 2014).

Água do lençol freático

As águas subterrâneas representam 22% do total de água doce disponível no planeta, sendo que nas geleiras estão presentes 77% e apenas 1% encontram-se na superfície (RESENDE, 2002). No Brasil, o uso das águas subterrâneas é bastante representativa e são utilizadas para diversos fins, como por exemplo: irrigação, abastecimento humano, indústria e lazer (CONEJO *et al.*, 2007)

É de grande importância ter conhecimento dos processos de contaminação dos lençóis freáticos, pois, são essas águas que possibilitam a recarga dos mananciais de superfície e seu processo de ciclagem leva bastante tempo (RESENDE, 2002).

Quando se refere à disposição de águas residuárias, é importante que se observe a concentração de nutrientes nos efluentes e que se faça verificação de contaminação no lençol freático, principalmente para nutrientes que são facilmente lixiviados, como o nitrogênio (SANDRI, 2003).

As contaminações das águas subterrâneas podem vir de diversos setores de atividades, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Contaminantes comuns da água subterrânea e fontes de poluição.

Origem da poluição	Tipo de contaminante
Atividade agrícola	nitrato; amônio; pesticidas; organismos fecais
Saneamento in situ	nitrato; hidrocarbonetos halogenados; microorganismos

Garagens e postos de serviço hidrocarbonetos aromáticos e halogenados; benzeno;

fenóis

Disposição de resíduos sólidos amônio; salinidade; hidrocarbonetos halogenados;

metais pesados

Indústrias metalúrgicas tricloroetileno; tetracloroetileno; hidrocarbonetos

halogenados; fenóis; metais pesados; cianureto

Pintura e esmaltação alquilbenzeno; hidrocarbonetos halogenados; metais;

hidrocarbonetos aromáticos; tetracloretileno

Indústrias de madeira pentaclorofenol; hidrocarbonetos aromáticos;

hidrocarbonetos; halogenados

Limpeza a seco tricloroetileno; tetracloroetileno

Indústria de pesticida hidrocarbonetos halogenados; fenóis; arsênico

Despejo de lodo do esgoto nitrato amônio; hidrocarbonetos halogenados; chumbo;

zinco

Curtumes cromo; hidrocarbonetos halogenados; fenóis Extração/exploração de gás e salinidade (cloreto de sódio); hidrocarbonetos

petróleo aromáticos

Mineração de carvão e metalíferos acidez; metais pesados; ferro; sulfatos

Fonte: FOSTER et al. (2006).

2.3 VALAS DE INFILTRAÇÃO

Vala de infiltração consiste em um método de disposição subsuperficial de efluentes no solo. Os efluentes devem ser predominantemente líquidos e podem ser provenientes de sistemas de tratamento de esgoto, como exemplo, tanques sépticos, filtros anaeróbicos ou outros tipos de reatores de tratamento que produzam poucos sólidos suspensos.

A vala é composta por uma camada de pedra britada recoberta com solo do próprio local. O efluente é distribuído por meio de um tubo perfurado que percorre todo o comprimento da vala subsuperficialmente.

Os efluentes percolam pelas valas e são depurados por meio dos processos químicos de adsorção, bioquímicos de oxidação e físicos, através da retenção de sólidos.

A eficiência das valas de infiltração depende das características do local, sendo não indicada em áreas com grande inclinação. Outros fatores importantes de observar são a permeabilidade, saturação e aeração do solo. A distância do lençol freático também deve ser levada em consideração, pois, quanto maior for a distância, menor será o risco de contaminação (CORAUCCI FILHO *et al.*, 1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO E ORIGEM DO ESGOTO

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (15°57'16"S, 47°55'89"W e altitude de 1.103 m), onde foi construída a Estação de Tratamento de Esgoto – ETE/FAL/UnB, que atende funcionários de campo, técnicos administrativos, estudantes e professores da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV), do Instituto de Biologia (IB), da Engenharia Florestal (EFL), do Instituto de Geologia, do Departamento de Física, dentre outros usuários.

Na FAL/UnB, são gerados esgotos, prioritariamente de descargas sanitárias e do refeitório, que pela sua composição é caracterizado essencialmente como esgoto doméstico, sendo estas as únicas fontes de esgoto destinadas ao tratamento, não sendo derivado à ETE/FAL/UnB nenhum efluente de laboratórios. O volume diário gerado na FAL/UnB é muito variável, devido à frequência de uso, e também não é equânime entre os dias da semana, sendo que no final de semana, feriados e períodos de férias da UnB a geração de esgoto é insignificante.

Na Figura 2 são apresentados os dados da precipitação referente ao período da realização do experimento, que foram, de outubro de 2015 até maio de 2016.

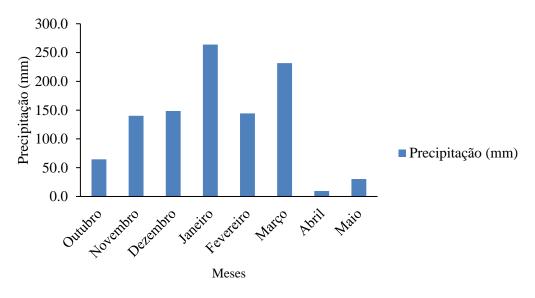


Figura 2. Precipitação nos meses de condução do experimento.

3.2 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DO EFLUENTE

Composição da Estação de tratamento de esgoto da Fazenda Água Limpa

A ETE/FAL/UnB é constituída por dois níveis: tratamento primário e secundário, não possuindo o tratamento preliminar, em função de não apresentar entrada de água pluvial e das características dos pontos de geração do esgoto ser somente das descargas sanitárias e do refeitório. Assim, o tratamento primário é constituído de um conjunto de três tanques sépticos em série, e o tratamento secundário por um conjunto de três unidades de leitos cultivados e um leito sem planta (testemunha) de fluxo subsuperficial, construídos em paralelo, preenchido com brita n. 2 (Figura 3). O efluente gerado no refeitório da FAL passa inicialmente por uma caixa de gordura antes de ser conduzido à ETE/FAL/UnB.

A condução do esgoto bruto dos pontos de geração até a ETE/FAF/UnB é feita por tubulação para esgoto de Policloreto de Vinila - PVC de 0,15 m. A diferença de nível do local de captação do esgoto localizado próximo ao refeitório até a entrada no primeiro tanque séptico é de 9,0 m, com declividade média de 4,3%, portanto, superior ao recomendado pela norma da ABNT (1997).

O efluente após passar pelos leitos cultivados é direcionado até uma caixa de fibra de vidro (reservatório) com volume total de 5000 L, de onde parte uma tubulação de 50 mm até uma caixa de distribuição com volume total de 100 L, que distribui o efluente de maneira equânime para a entrada das seis valas de infiltração (Figura 3).

Na Figura 3 são apresentados detalhes técnicos de localização dos diversos componentes da ETE/FAL/UnB, das valas de infiltração e dos poços de observação.

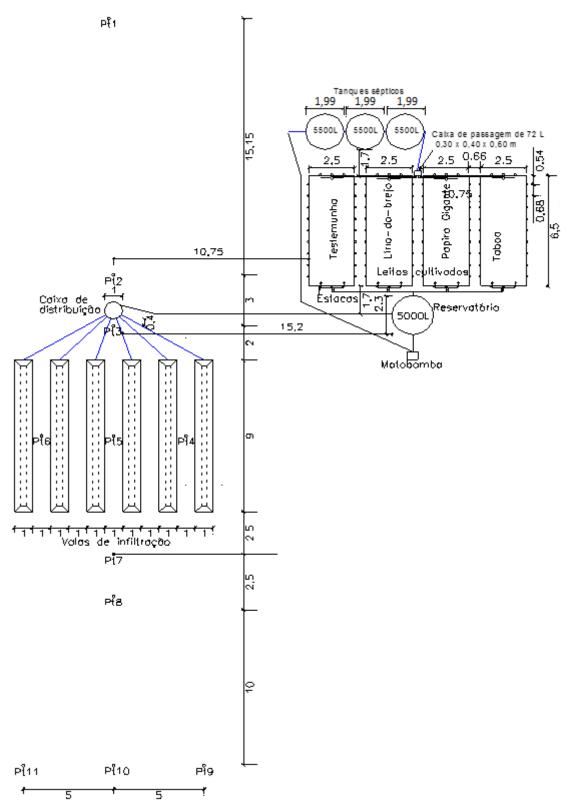


Figura 3. Planta baixa de da estação de tratamento de esgoto - ETE/FAL/UnB, das valas de infiltração e dos poços de observação.

Tanques sépticos em série

O conjunto de três tanques sépticos em série, são destinados ao tratamento primário do esgoto gerado na FAL/UnB, constituídos de caixas de polietileno com tampa roscável, com volume total individual de 5500 L (Figura 4) e volume total dos três tanques (Vt) de 16500 L, com volume útil de cada tanque aproximado de 5000 L, ou seja, 15000 L de volume útil total. As caixas foram parcialmente enterradas no solo, possibilitando a entrada do esgoto bruto por gravidade e ao mesmo tempo, dispostas com pequena diferença de nível (0,075 m) entre a saída e entrada de cada tanque.



Figura 4. Vista dos três tanques sépticos (TS1, TS2 e TS3) indicando a direção do fluxo de esgoto.

Conforme ABNT (1997) que descreve sobre o posicionamento do dispositivo de entrada, estes devem estar mergulhado verticalmente no líquido, a fim de evitar perturbações hidráulicas no interior do tanque e direcionar o fluxo de esgoto para o fundo, possibilitando uma melhor sedimentação dos sólidos, assim se procedeu na instalação dos três tanques. Na entrada do TS1 foi utilizado tubo de 0,15 m e 1 m de comprimento (0,8 m mergulhado), nos TS2 e TS3 foram usados tubos de 0,075 m na entrada e saída com comprimento de 0,60 m, 0,5 m mergulhado (Figura 5).

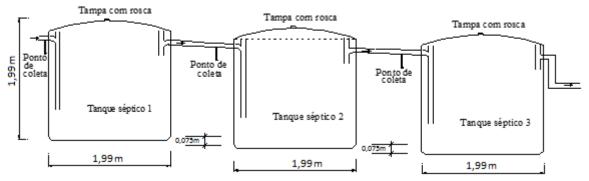


Figura 5. Imagem em corte da dos três tanques sépticos instalados em série.

Caixa de passagem e leitos cultivados

A caixa de passagem do efluente para os leitos cultivado é constituída em fibra de vidro com capacidade total de 72 L (0,30 m, 0,40 m, 0,60 m – largura, comprimento e altura), de onde sai quatro tubos de PVC para esgoto com diâmetro de 0,040 m, um para cada leito de cultivo (Figura 6a). Os leitos cultivados foram construídos em estruturas retangulares de fibra de vidro, com espessura da parede de 4 mm (Figura 6b), apoiados sobre o solo, com dimensões de 2,5 m (largura), 6,5 m (comprimento) e 0,5 m (altura). O controle do nível do efluente nos leitos foi feita com um tubo com diâmetro de 0,050 m, que sai do fundo de cada leito e se eleva até uma altura que ser deseja manter o nível do efluente interno que foi de 0,047 m e na sequência desce novamente até o nível do solo (Figura 6c), de onde segue uma tubulação até a caixa de fibra de vidro após os leitos.



Figura 6. Caixa de passagem para os leitos cultivados (a), vista dos leitos cultivados e do não cultivado (b) e do cavalete de controle do nível do efluente no interior dos leitos (c).

Para garantir estabilidade nas paredes das caixas de fibra de vidro (leitos cultivados) foram instaladas estacas de concreto de 1,20 m de altura e 0,075 m de diâmetro (tubos de PVC preenchidos com concreto), em que, 0,70 m foram enterrados no solo. Foram fixadas estacas a 0,54 das extremidades das caixas no sentido do comprimento e as demais a cada 0,68 m (Figura 7a), já no sentido da largura as estacas foram colocadas a 0,60 m da extremidade e as demais a cada 065 m (Figura 7b), totalizando 24 estacas por leito de cultivo, num total de 96.



Figura 7. Estacas de sustentação dos leitos cultivados no sentido do comprimento (a) e no sentida da largura (b).

3.3 MACRÓFITAS NOS LEITOS DE CULTIVO

Foi transplantada a macrófita taboa (*Typha* spp.) em um dos leitos, outro com papiro-brasileiro (*Cyperus giganteus*) e um com Lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium Koehne*) (Figuras 8a, 8b e 8c), respectivamente. Em cada leito foi transplantado 102 mudas, espaçadas a 0,20 m da borda dos leitos, 0,42 m entre plantas no sentido da largura e 0,37 m entre plantas no sentido do comprimento. As plantas foram removidas no seu ambiente natural com sistema radicular e transplantadas a 0,10 m abaixo da superfície da brita.



Figura 8. Vista do leito cultivado com taboa (a), papiro brasileiro (b), lírio do brejo (c) e sem plantas (d) 10 dias após o transplantio.

3.4 MEDIÇÃO DA VAZÃO E CAIXA DE DISTRIBUIÇÃO DO EFLUENTE PARA AS VALAS DE INFILTRAÇÃO

Foi instalado um hidrômetro antes da caixa de distribuição que distribui o efluente às valas de infiltração (Figura 9a). A vazão total registrada foi de 1,8 m³.dia⁻¹ dividida por seis, 0,3 m³.dia⁻¹, que é o número de saídas, uma para cada vala de infiltração, e representa o volume de entrada em cada vala de infiltração.

A caixa de distribuição para as valas de infiltração consiste em uma caixa de polietileno com tampa de capacidade total de 100 L (Figura 9b). Em uma das tubulações de saída da caixa de distribuição foi instalado um "colar" hidráulico com registro de esfera de

1/2" (Figura 9c) que servirá tanto para coleta de amostras como aferir a vazão de entrada nas valas. Para controlar a vazão de entrada, de forma que seja a mais próxima possível entre as valas de infiltração, as seis saídas da caixa de distribuição com vertedouro triangular de 84º (Figura 9b) foram instaladas exatamente em nível.

Cada vala de infiltração recebeu efluente vindo da caixa de distribuição por uma tubulação independente. Foram instaladas seis luvas tipo flange de 0,05 m na caixa de distribuição de onde parte um tubo de mesmo diâmetro de 0,2 m de comprimento e em seguida ampliado para um tubo de 0,075 m (Figura 9b) até a entrada das valas, onde foi ampliado novamente para 0,10 m que é o diâmetro do tubo de drenagem.

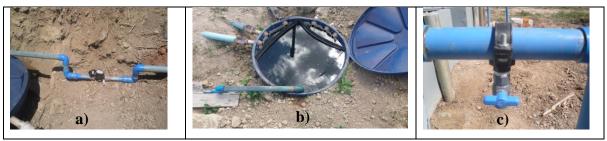


Figura 9. Hidrômetro para medição de vazão de entrada nas valas (a), caixa de distribuição para as valas de infiltração (b) e "colar" hidráulico para coleta de amostras de efluente (c).

3.5 PROCEDIMENTO PARA ESTIMAR A CAPACIDADE DE PERCOLAÇÃO DO SOLO (K)

O procedimento para estimar a capacidade de percolação de solo foi feito conforme a NBR 13969/97 (Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação). Em seu Anexo A (normativo). Com um trado de 0,15 m de diâmetro foram abertos três poços com 0,30 m de profundidade (Figura 10a). Para medir o nível da água no poço e viabilizar determinação de k foi construído um medidor de nível da água em madeira (Figura 10b), conforme orientações da NBR 13969/97.





Figura 10. Poço de 0,16 m de diâmetro e 0,30 m de profundidade (a) e kit para determinação de k (b).

3.6 VALAS DE INFILTRAÇÃO

Dimensionamento das valas de infiltração

De acordo com a NBR 13969/1997, as valas de infiltração devem obedecer alguns parâmetros técnicos. Assim, a Tabela 2 apresenta estes parâmetros e aqueles que foram utilizados nas valas de infiltração.

Tabela 2. Parâmetros de projeto para dimensionamento das valas de infiltração conforme NBR 13969/1997 e parâmetros que serão utilizados.

Parâmetros de projeto	Norma NBR 13969/1997	Utilizados
Diâmetro da canalização (mm)	100	100
Largura da superfície da vala de infiltração	1,0	1,0
(m)		
Largura do fundo da vala de infiltração (m)	0,3	0,88
Declividade da tubulação (%)	0,33%	0,33%
Espaçamento entre as laterais de duas valas de	1,0	1,0
infiltração (m)		
Separação da câmera filtrante e o solo	Tela resistente	Membrana
		geotéstil
Profundidade total sob a superfície do terreno	0,65	0,65
(m)		
Espessura de solo sobre a camada de brita (m)	0,20	0,20
Espessura da camada de brita n. 3 (m)	0,45	0,45
Distância do fundo da vala até a base do tubo	0,30	0,30
(m)		

Assim, estimou-se a taxa de percolação que foram de 333,3 min. m⁻¹, 750 min. m⁻¹ e 357,1 min. m⁻¹, o que resulta em média de 395 min. m⁻¹ e considerando com volume máximo estimado (não medido) de efluente gerado na FAL de 5,3 m³ dia⁻¹, estimou-se uma área de infiltração de média de 81 m², conforme equações abaixo.

Taxa de percolação (TP) = intervalo de tempo entre determinações pelo rebaixamento (IT) / desnível apurado (DA).

Assim, a área necessária (AN):

AN = Volume diário (m³ dia⁻¹) / Taxa máxima diária (TM) (min m⁻¹)

TM = Conforme Tabela A.1 (NBR 13969:1997).

Considerado 1,0 m de largura superficial e 0,88 m de largura do fundo da vala e área de infiltração, àquela abaixo do tubo de distribuição, se obterá, para uma vazão de 5,3 m³ dia⁻¹, a necessidade de 6 valas de 9 m de comprimento cada uma.

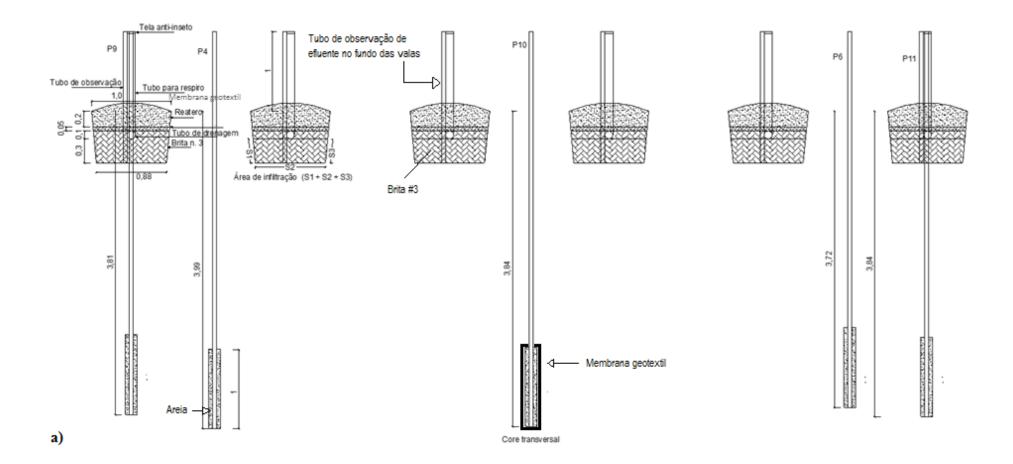
Assim, cada metro linear de vala possui área de infiltração de 1,5 m², ou seja, são necessários 54 m linear de vala (1,5 x 54 = 81,5 m). Desta forma foram construídas 6 valas de infiltração de 9 m linear cada uma.

As valas foram preenchidas com brita n. 3 (Figura 11a) até 0,3 m a partir do fundo das mesmas e sobre a brita foi acomodado um tubo de drenagem de 0,10 m (Figura 10b e d), com declividade de 0,003 m m⁻¹, conforme recomendado pela NBR 13969:1997 Após instalação do tubo drenagem foi acrescentado brita até uma camada de 0,05 m acima do mesmo (Figura 11c). Em cada uma das extremidades do tubo de drenagem foi instalado um tubo de PVC para esgoto de 0,10 m, com função de liberar gases da decomposição da matéria orgânica e evitar a formação de vácuo no interior da brita de drenagem, o que dificultaria a infiltração do efluente no solo (Figuras 11 b, c e d).



Figura 11. Britas #3 (a), Valas de infiltração (a) e (b), Tubo de drenagem (d).

As Figuras 12a e 120b mostram o corte transversal e longitudinal das valas de infiltração, tubo de drenagem/distribuição, tubos de observação do nível a água nas valas e poços de observação da água do lençol freático com suas respectivas dimensões.



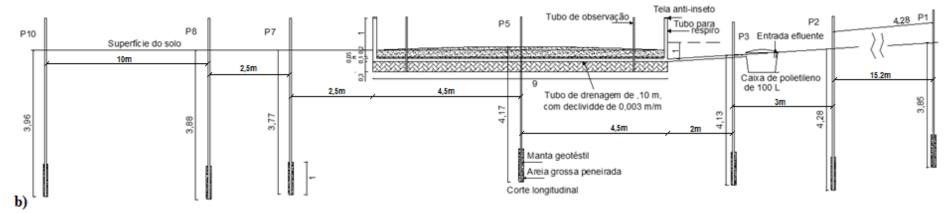


Figura 12. Corte transversal (a) e longitudinal (b) da vala de infiltração, tubo de drenagem/distribuição, tubos de observação do nível a água nas valas e poços de observação da água do lençol freático.

3.7 CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DOS POÇOS DE OBSERVAÇÃO

Com um trado de 0,15 m de diâmetro perfurou-se 11 poços de observação, o que resultou em diâmetro médio final de 0,16 m. A profundidade final de cada poço é mostrado na Tabela 3, sendo que os mesmos foram perfurados na época de final do período chuvoso (mês de abril e maio de 2015) até que se obtivesse uma profundidade de água próxima a 2,5 m.

Tabela 3. Identificação dos 11 poços de observação e profundidade total dos mesmos a partir da superfície do solo.

	Número de identificação dos poços de observação											
Identificação												
do Poço	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	
Profundidade												
total do poço	3,846	4,276	4,126	3,986	3,966	3,716	3,766	3,876	3,806	3,956	3,836	

Após término de perfuração dos poços, com o uso do beiler foi feita a remoção do solo desagregado no fundo dos mesmos. Uma vez construídos e limpos os poços, fez-se cortes transversais em tubos de PVC rígido em um metro do tubo numa das extremidades. Sobre estes cortes foi fixada uma membrana geotêxtil e colada nas extremidades e, ainda, presa com linha de nylon n. 200 (utilizada em pesca), enrolando em volta da membrana para permitir boa aderência da membrana ao tubo.

Para centralizar o tubo de 0,05 m no poço, em três posições no mesmo, foram fixados tubos de ¾" em forma de cruz com 0,014 m de comprimento. Com o tubo no interior do poço, colocou-se areia grossa peneirada em peneira n. 2, até cobrir completamente a membrana geotêxtil e sobre a areia até a superfície adicionou-se solo. Acima do solo ficará exposto um metro de tubo (Figura 10 e 11).

Finalizada a implantação dos tubos de observação nos poços, foi realizada remoção de toda a água com o uso de uma válvula de pé com crivo de metal de ¾" de diâmetro. A mesma foi acoplada a uma tudo de PVC de ½" e em movimentos verticais ascendentes e descendentes contínuos foi removida a água dos poços, de forma manual.

Nos poços de observação foi acompanhado o nível do lençol freático com medidas no período de 05 de outubro de 2015 até 27 de maio de 2016. Ou seja, 05/10/15; 15/10/2015; 09/12/2015; 09/01/16; 26/01/16; 11/02/16; 04/03/16; 22/03/16; 13/04/16; 27/05/16.

3.8 QUALIDADE QUÍMICA DO SOLO

Antes do início do experimento, foram coletadas amostras de solo sob as valas de infiltração. Foram retiradas amostras nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m. No final do experimento foi realizada outra amostragem em três valas, sendo cada uma delas uma repetição. Já no final do experimento o solo foi coletado tanto no início quanto no final das valas. Os atributos analisados foram: pH, cálcio, magnésio e potássio.

Sob as valas de infiltração, a classificação textural do solo nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação textural do solo sob as valas de infiltração.

Camadas de		Component	te do solo	
solo	Silte	Argila	Areia Total	Classificação
_		(g kg	g ⁻¹)	textural
0 a 0,20 m	250	360	390	Arenosa
0,20 a 0,40 m	260	360	380	Arenosa

3.9 COLETAS DAS AMOSTRAS DE EFLUENTE E PARÂMETROS AVALIADOS

Foram realizadas amostras de efluente antes da entrada das valas filtração e nos 11 poços de observação. As amostras foram coletadas em frascos de plástico de volume de 500 mL, com intervalo de 30 dias, e conservadas em geladeira, para posterior análise de atributos da água conforme Tabela 5. A condutividade elétrica foi medida *in loco*. As análises foram realizadas nos Laboratórios de Análise de Água e de Microbiologia da FAV/UnB, utilizando as metodologias da APHA (2005).

Tabela 5. Parâmetros analisados e seus respectivos métodos de análise e com frequência de coleta a cada 30 dias.

Atributo	Símbolo	Unidade	Método de análise
Condutividade elétrica	CE	μS cm ⁻¹	Condutivímetro
Nitrito	NO_2^-	mg.L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Nitrato	NO_3^-	$mg.L^{-1}$	Fotocolorimétrico
Coliformes Termotolerantes	CTermo	NMP.100 mL ⁻¹	Substrato Cromogênico (APHA-1995)
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	mg.L ⁻¹	$SDT = CE \text{ em dS m}^{-1} \times 640$

3.10 ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS

A fim de comparar os valores dos atributos da água subterrânea será usada a Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes para o enquadramento de águas subterrâneas. Também será considerada a Portaria nº 2,914, de dezembro de 2011, que dispõe sobre os padrões de potabilidade da água para o consumo humano.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MONITORAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

Na Figura 12 é apresentado os níveis de água nos 11 poços de observação da superfície do solo até o nível superficial da água no interior dos poços de observação no período de 05/10/2015 a 27/05/2016.

Em função da profundidade total dos poços de observação não ser exatamente a mesma, os dados representados na Figura 12, foram obtidos pela diferença entre a profundidade total dos poços, como mostra a Tabela 3, menos a profundidade de água nos respectivos poços, visando padronizar a profundidade do lençol freático para todos os poços.

Em todos os poços de observação, de maneira geral, o nível da água diminui progressivamente a partir da primeira medida (5/10/2015) até 26/01/16 (Figura 12), com maior amplitude (diferença entre a maior e menor profundidade no período), nos poços de observação P1 e P2, já que estes se localizavam em maior altitude em relação aos demais poços, resultando em maior variação do nível da água no interior dos mesmos. Deve-se ressaltar que os poços de observação de P3 a P11, estavam localizados em altitude praticamente iguais. Observa-se ainda que os poços de observação P3 a P6 apresentaram variação do nível inferior a P1 e P2, porém, maiores que os poços P7 a P11, sendo que o poço P3 estava localizado próximo a entrada do efluente nas valas de infiltração, enquanto que, os poços P4, P5 e P6 localizavam-se no centro do comprimento das valas, já os pontos de P7 a P11, estavam após as valas de infiltração, sendo o P9, P10 e P11 os mais afastados.

A partir das observações do nível da água nos poços, acredita-se que a infiltração de efluente não tenha afetado o nível do lençol freático, que se deve a pequena quantidade de efluente adicionado em cada valar (1/3 da sua capacidade), o que resultou em

redistribuição ou espalhamento da água no perfil horizontal do solo, favorecido pela elevada condutividade hidráulica do solo local.

Observa-se que o nível da água nos poços reduziu da data de 5/10/15 até 15/10/15, período em que houve pequenas precipitações, insuficientes para recarregar o lençol freático. Porém a partir de 09/12/15 o nível do lençol freático começou a se elevar até 26/01/16, com pequena redução em todos os poços em 11/02/16, e novamente se elevou até 04/03/2016 e depois redução até 27/05/16.

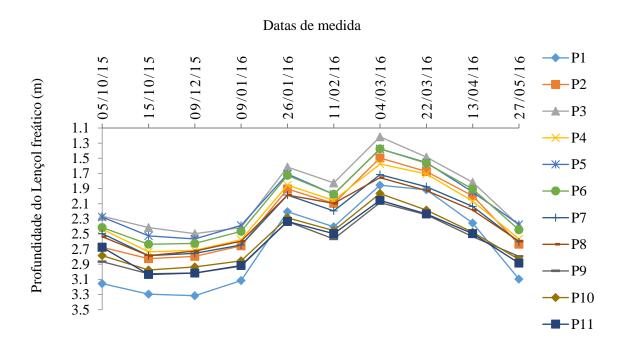


Figura 13. Distância da superfície do solo até o nível superficial da água no interior dos poços de observação.

4.2 Atributos da água do lençol freático

A seguir são apresentados e discutidos os atributos avaliados na água subterrânea coletada nos poços de observação e no efluente antes da entrada nas valas de infiltração.

Nitrato

Todos os teores de nitrato (Tabela 6) na água subterrânea estão abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP) dos padrões de potabilidade da Portaria nº 2,914 do Ministério da Saúde. Pela Resolução do Conama nº 396, todos os poços de observação se enquadram nas Classes I e II, ou seja, sem alteração por atividade antrópica e não exige tratamento

para quaisquer usos preponderantes, sendo que para estas classes e para VMP, o valor máximo permitido $\acute{e} < 10 \text{ mg L}^{-1}$.

O teor de nitrato no efluente antes de entrar nas valas de infiltração apresentou valor médio, considerando todas as datas de medida, superior aos poços P1, P2 e P3, não sendo influenciado pelo lançamento do efluente, o mesmo ocorrem com os poços P9 a P11, localizado 10 metros após o término das valas. Porém os poços de observação localizados no centro do comprimento das valas e o poço P7 e P8 localizados a 2,5 e a 5,0 m do final das valas, respectivamente, apresentaram elevação nos teores de nitrato, comprovando que houve espalhamento do efluente no perfil horizontal do solo (Tabela 6). Os maiores teores de nitrato na água subterrânea em relação ao efluente antes de entrar nas valas de infiltração, deve-se ao efeito cumulativo na água subterrânea.

Destaca-se que os poços P5 e P6 foram os que apresentaram maiores elevações nos teores de nitrato, por estarem localizados em pontos topográficos com altitude inferiores aos pontos P1 a P3, considerando a inclinação média da área de implantação das valas, o que favoreceu o deslocamento do efluente na direção da maior para a menor elevação terreno.

Tabela 6. Teores de nitrato no efluente antes da entrada nas valas de infiltração e na água subterrânea dos poços de observação em diferentes datas de coleta.

Data de		Ponto	s de co	leta do	efluen	te e da	água d	los poç	os de o	bserva	ıção		
medida	EAV	P1	P2	Р3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	
	(mg L ⁻¹)												
17/12/15	1,231	0,099	0,099	0,233	2,870	3,560	1,980	1,870	2,330	0,286	0,432	0,246	
26/01/16	1,032	0,098	0,087	0,045	2,990	3,120	4,230	1,220	1,990	0,212	0,334	0,298	
24/02/16	1,981	0,099	0,099	0,198	3,140	5,420	4,870	3,220	2,910	0,321	0,214	0,321	
29/03/16	0,999	0,076	0,078	0,256	3,330	2,990	3,940	4,210	1,950	0,199	0,321	0,387	
05/04/16	0,022	0,033	0,089	0,323	2,980	2,840	3,220	2,390	1,390	0,215	0,345	0,288	
31/05/16	0,008	0,017	0,096	0,245	2,330	3,230	2,790	2,330	1,550	0,265	0,284	0,444	
Média	0,879	0.071	0.091	0,217	2,940	3,527	3,505	2,540	2,020	0,250	0,322	0,331	
CV (%)	86,20	52.11	9.22	43,17	11,52	27,19	29,91	41,33	27,22	19,48	22,37	21,88	

Nitrito

EAV = Efluente antes de entrar nas valas de infiltração

Todos os teores de nitrito (Tabela 7) na água subterrânea estão abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP) dos padrões de potabilidade da Portaria nº 2,914 do Ministério da Saúde que é 10 mg L⁻¹.

Pela Resolução do Conama nº 396, todos os poços de observação se enquadram para consumo humano, irrigação recreação, o valor máximo permitido é de 1 mg L^{-1} , porém para dessedentação de animais pode chegar até $10 \text{ mg } L^{-1}$.

Os P4 e P5 foram os que apresentaram maiores elevações nos teores de nitrito, tanto em relação ao efluente antes de entrar nas valas de infiltração, com aos demais poços avaliados, porém, muito inferior a legislação vigente, e ao mesmo tempo, em proporções menores de variação em relação ao nitrato (Tabela 7).

Tabela 7. Teores de nitrito no efluente antes da entrada nas valas de infiltração e na água subterrânea dos poços de observação em diferentes datas de coleta.

Data de	;	Pontos de coleta do efluente e da água dos poços de observação										
medida	EAV	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
						(mg L	·-1)					,
17/12/15	0,008	0,0187	0,014	0,033	0,066	0,078	0,039	0,042	0,034	0,053	0,032	0,032
26/01/16	0,098	0,0109	0,032	0,054	0,046	0,067	0,043	0,032	0,044	0,026	0,076	0,077
24/02/16	0,067	0,0212	0,066	0,046	0,078	0,056	0,023	0,035	0,056	0,045	0,056	0,034
29/03/16	0,032	0,0132	0,055	0,038	0,045	0,076	0,042	0,039	0,078	0,067	0,072	0,045
05/04/16	0,008	0,0345	0,053	0,037	0,076	0,089	0,046	0,029	0,051	0,032	0,054	0,065
31/05/16	0,007	0,027	0,013	0,021	0,064	0,1	0,032	0,024	0,029	0,015	0,022	0,015
Média	0,037	0,0169	0,039	0,038	0,063	0,071	0,038	0,034	0,049	0,040	0,052	0,045
CV (%)	103,69	64,01	57,94	29,52	22,80	17,66	22,80	19,69	36,10	47,93	41,21	51,18

EAV = Efluente antes de entrar nas valas de infiltração

Condutividade elétrica (CE)

A CE antes de entrar nas valas de infiltração apresentou valor médio, considerando todas as datas de medida, bastante superior ao observado em todos os poços de. Porém os poços de observação localizados no centro do comprimento das valas P4, P5 e P6, os valores de CE foram muito superiores aos demais poços, demonstrando a elevação de saís na água subterrânea, chegando a valores de 284,3 μS cm⁻¹ em P4, enquanto que o poço P1, considerado testemunha foi de 22,4 μS cm⁻¹, valores próximos aos observados nos pontos P2, P3 e P8 a P11, comprovando que houve o espalhamento do efluente no solo, até certa distância, conforme observado no ponto P7 (2,5 m após as valas).

Tabela 8. Concentração de Condutividade elétrica no efluente antes da entrada nas valas de infiltração e na água subterrânea dos poços de observação em diferentes datas de coleta.

Data de		Pontos de coleta do efluente e da água dos poços de observação										
medida	EAV	P1	P2	Р3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
	(μS cm ⁻¹)											
17/12/15	1131	40	22	24	123	129	242	66	25	40	32	22
09/01/16	663	10	19	28	356	150	154	54	18	26	20	32
26/01/16	663	10	19	28	356	150	154	54	18	26	20	32
12/02/16	690	20	15	22	222	254	217	71	16	38	20	35
24/02/16	661	14	21	17	227	178	239	82	28	30	20	27
11/03/16	491	29	16	44	135	122	147	122	29	16	19	27
29/03/16	710	22	17	22	387	160	231	77	31	36	27	39
05/04/16	689	33	19	18	223	153	229	59	22	42	23	45
20/04/16	697	32	28	19	344	114	334	92	31	31	32	31
31/05/16	836	14	16	20	470	137,0	376	99	23	24	34	48
Média	729,78	22,40	19,20	24,20	284,30	154,70	232,30	77,60	24,10	30,90	24,70	33,80
CV(%)	23,89	47,35	19,92	32,76	40,29	25,66	32,38	28,15	23,18	26,44	24,22	24,19

EAV = Efluente antes de entrar nas valas de infiltração

Sólidos Totais Dissolvidos

O valor de VMP para sólidos totais dissolvidos é 1000 mg L⁻¹ tanto para os padrões organolépticos de potabilidade da Portaria nº 2,914 do Ministério da Saúde, quanto para os padrões para classificação de águas subterrâneas da Resolução do CONAMA nº 396, para a Classe I. Todos os valores estão abaixo do VMP (1000 mg L⁻¹), inclusive os valores de entrada do efluente. Verifica-se que as médias obtidas dos poços de observação P4, P5 e P6 são superiores às médias dos demais poços e isso se deve ao fato destes estarem localizados no centro do comprimento e sob as valas de infiltração.

Tabela 9. Concentração de sólidos totais dissolvidos no efluente antes da entrada nas valas de infiltração e na água subterrânea dos poços de observação em diferentes datas de coleta.

Data de		Pontos de coleta do efluente e da água dos poços de observação										
medida	EAV	P1	P2	Р3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
						(mg L	· ⁻¹)					
17/12/15	723,84	25,60	14,08	15,36	78,72	82,56	154,88	42,24	16,00	25,60	20,48	14,08
09/01/16	-	17,28	10,24	10,88	176,64	145,92	233,60	40,96	12,80	12,16	13,44	19,20
26/01/16	424,32	6,40	12,16	17,92	227,84	96,00	98,56	34,56	11,52	16,64	12,80	20,48
12/02/16	441,60	12,80	9,60	14,08	142,08	162,56	138,88	45,44	10,24	24,32	12,80	22,40
24/02/16	423,04	8,96	13,44	10,88	145,28	113,92	152,96	52,48	17,92	19,20	12,80	17,28
11/03/16	314,24	18,56	10,24	28,16	86,40	78,08	94,08	78,08	18,56	10,24	12,16	17,28
29/03/16	454,40	14,08	10,88	14,08	247,68	102,40	147,84	49,28	19,84	23,04	17,28	24,96
05/04/16	440,96	21,12	12,16	11,52	142,72	97,92	146,56	37,76	14,08	26,88	14,72	28,80
20/04/16	446,08	20,48	17,92	12,16	220,16	72,96	213,76	58,88	19,84	19,84	20,48	19,84
31/05/16	535,04	8,96	10,24	12,80	300,80	87,68	240,64	63,36	14,72	15,36	21,76	30,72
Média	467,06	15,42	12,10	14,78	176,83	104,00	162,18	50,30	15,55	19,33	15,87	21,50
CV (%)	23,89	40,35	20,93	35,08	40,45	28,22	31,66	26,53	22,12	29,48	23,80	24,55

EAV = Efluente antes de entrar nas valas de infiltração

Coliformes E. coli

Os valores de contagem de *E. coli* estão todos acima do estabelecido pela Portaria nº 2,914 do Ministério da Saúde, que é ausência em 100 mL. Também na Resolução do Conama nº 396, os valores ultrapassam os estabelecidos para o uso preponderante menos restritivo das águas subterrâneas que é 800 NMP 100 mL⁻¹.

A presença de *E. coli* no efluente antes de entrada das valas, é mais de cinco vezes ao observado em P1 e cerca de o dobro do observado no P8. Como o P4 não houve tanta elevação pode-se afirmar que o lançamento de efluente nas valas, não resultou em alteração

de *E. coli* na água sob as valas maior que outros pontos, podendo haver outras causas da contaminação da água subterrânea, como o próprio solo utilizado no preenchimento dos poços.

Tabela 10. Contagem de *E. coli* em amostra do efluente antes da entrada nas valas de infiltração e na água dos poços de observação em diferentes datas de coleta.

Data de	Pontos de coleta							
medida	EAV	P1	P4	P8	P9	P11		
	(NMP100 mL ⁻¹)							
17/12/15	18000	3000	5340	7230	2800	2980		
26/01/16	17000	4530	6780	8620	3450	3090		
24/02/16	12600	1000	3900	6500	2900	4200		
29/03/16	13500	2000	2700	5400	3450	3470		
05/04/16	11290	3500	1300	7300	5630	2700		
31/05/16	12800	2200	2100	5490	3290	1900		
Média	14198	2705	3687	6757	3587	3057		
CV (%)	18,83	45,90	56,29	18,13	28,95	25,13		

EAV = Efluente antes de entrar nas valas de infiltração

4.3 SOLO

A Tabela 11 se apresenta os resultados da análise de solo antes do início do lançamento de efluente nas valas, nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m. Estes valores são considerados como referência para verificar possíveis alteração no solo no final do experimento. Apresenta-se ainda na Tabela 11 os valores obtidos no final do experimento, tanto na entrada das valas como na saída das mesmas.

Não houve diferença significativa nos valores de pH entre os pontos de entrada e saída nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m das valas de infiltração. Andrade Filho *et al.* (2013), não verificaram alteração significativa de pH em Latossolo com cultivo de algodão recebendo água residuária, comportamento semelhante aos observado neste tabalho. Do mesmo modo, Santos *et al.* (2014) não verificaram alterações no pH do solo sob cultivo de braquiária brizanta recebendo efluente de esgoto tratado; por outro lado, Wen *et al.* (2007), observaram redução dos valores de pH do solo em sistemas de escoamento superficial ao aplicarem efluente. Essa redução segundo os autores é devido a

formação de ácidos orgânicos da decomposição microbiana de materiais orgânicos, como a liberação de íons H⁺ via nitrificação.

Comparando os teores de cálcio e magnésio da análise de solo feita antes com o final do experimento, observou-se uma elevação destes teores tanto nas camadas de 0 a 0,20 m quanto nas camadas de 0,20 a 0,4 m. O mesmo foi observado por Andrade Filho *et al.* (2013), em um Latossolo com uso de água residuária para irrigação e por Santos *et al.* (2014) sob cultivo de braquiária brizanta recebendo efluente de esgoto tratado. Aumento nas concentrações de cálcio e magnésio também foram verificados por Bertossi *et al.* (2015) em um sistema de tratamento de esgoto por escoamento superficial no Espírito Santo.

Verificou-se diferença significativa entre os teores de cálcio e potássio da entrada das valas em relação à saída nas duas camadas de solo. Já o magnésio somente foi maior nas camadas de entrada em relação à camada de solo de 0,20 a 0,40 m na saída das valas, sendo que, em valor absoluto, em relação ao início do experimento foram maiores em todas as camadas de solo.

Os teores de potássio entre antes e no final do experimento são semelhantes, em valor absoluto, embora tenha havido diferença entre a entrada e saída das valas de infiltração, nas camadas de solo de 0 a 0,20m e de 0,20 a 0,40m.

Tabela 4. Resultado da análise de solo antes do início do lançamento de efluente nas valas de infiltração e no final do experimento para pH, cálcio, potássio e magnésio nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40, na entrada e saída das valas de infiltração.

Camadas de Solo**	Valores médios (cmol _c dm ⁻³)							
	pН	Ca	K	Mg				
Antes do início do lançamento de efluente nas valas de infiltração								
0 a 0,20	6,2	2,3	0,12	0,7				
0,20 a 0,40	6,4	1,5	0,1	0,4				
Final do experimento								
E 0-20	6,0 a	5,36 a	0,15 a	1,51 a				
S 0-20	5,7 a	3,25 b	0,09 b	1,06 b				
E 20-40	5,9 a	4,75 a	0,12 a	1,31 a				
S 20-40	5,5 a	2,63 b	0,06 b	0,79 b				

^{*}Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste t a 5% de probabilidade,

^{**} E = Entrada das valas de infiltração, S = Saída das valas de infiltração

5 CONCLUSÕES

- 1. A água subterrânea coletada em poços de observação, após lançamento do efluente em valas de infiltração, atende aos padrões de potabilidade para os parâmetros, nitrato, nitrito, sólidos totais dissolvidos, com exceção de *E. coli*.
- 2. A disposição de efluentes no solo por meio das valas de infiltração alteraram as concentrações de cálcio e magnésio do solo, o mesmo ocorre entre a entrada e saída das valas de infiltração, inclusive para o potássio.
- 3. O espalhamento do efluente na água subterrânea ocorre até cerca de 5 m após o término das valas de infiltração, com mudança nos teores de nitrato, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos.
- 4. O nível do lençol freático não foi influenciado pela infiltração do efluente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais. NBR - 13969. São Paulo, SP. 1997. 15p.
- ABNT. Tanques sépticos Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos Projeto. Construção e operação. NBR 13969. ABNT. Rio de Janeiro. 60 p. 1997.
- ALEXANDER, M. **Introduction to Soil Microbiology.** 2. ed. New York: John Willey & Sona. Inc. 1977. 467 p.
- ALVES SOBRINHO. T; VITORINO. A.C.T.; SOUZA. L.V.C.F.; GONÇALVES. M.C.; CARVALHO. D.F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 7. n. 2. p. 191-196. 2003.
- ANDRADE FILHO, J.; SOUSA NETO, O. N. de; DIAS, N. da S.; NASCIMENTO, I. B.; MEDEIROS, J. F. de; COSME, C. R. Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. Irriga. v.18. n.4. p. 661-674. 2013.
- ANDRADE NETO, C.O. de.; CAMPOS, J.R. Introdução. In: CAMPOS, J.R (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro. RJ: ABES. 1999. p. 1-28.
- APHA; AWWA; WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21^a ed.. Washington D.C.. USA. American Public Health Association. 2005.
- BEDBABIS, S.; ROUINA, B.B.; BOUKHRIS, M.; FERRARA, G. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. **Journal of Environmental Management**. v. 133. p. 45-50. 2014.
- BERNARDES. R.S. Estabilização de poluentes por disposição no solo. **Revista DAE**. São Paulo. v. 46. n. 145. p. 129-150. 1986.
- BERTOSSI, A.P.A.; MILEN, L.C.; GARCIA, G.O. de.; NETO, J.I.; MELLERE, J.G.B.; PEREIRA, W.; REIS, E.F. dos. Alterações químicas do solo em rampas de tratamento de efluente doméstico. XXV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. São Cristóvão, SE. 2015.
- BRASIL. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil** / The Evolution of Water Resources Management in Brazil. Brasília: ANA. 2002. 68 p.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília. DF: Senado 1988.

- BRASIL. Lei nº 9.433. de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília. DF. 8 de jan. 1997.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12/2011. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008.- In: Resoluções, 2008. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562> Acesso em: 27. Jun. 2016
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Sistema Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: <a href="http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/sistema-nacional-de-gerenciamento-de-gerenciamento-de-gerenciament
- CONEJO, J.G.L.; COSTA, M.P. da.; ZOBY, J.L.G. Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil. e. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Brasília. DF: ANA. 2007. 124p.
- CORAUCCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C. O. de.; MELO, H. N. S. de.; SOUSA, J. T. de.; NOUR. E.A.A.; FIGUEIREDO. R.F. de. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbicos por sistemas de aplicação no solo. In: CHERNICHARO. C.A.L. (coord.). **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Projeto PROSAB. Belo Horizonte. MG: [s.n.]. 2001. p. 1-50.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água. órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo. SP: Banco Mundial. 2006.
- CRUZ, C. D. **GENES** a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. Acta Scientiarum. v.35. n.3. p.271-276. 2013
- LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos solos.** 2. ed. São Paulo. SP: Oficina de textos. 2010. 216 p.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da Água no Solo. 2. ed. São Paulo. SP: Edusp. 2012. 352 p.
- MENDONÇA, J. F. B. Solo. **Solo:** substrato da vida. 2. ed. Brasília. DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2010. p. 9-27.
- NUCCI, N.L.R.; COSTA e SILVA, R.J.; ARAÚJO, J.L.B. **Tratamento de esgotos municipais por disposição no solo e sua aplicabilidade no Estado de São Paulo.** São Paulo. SP: Fundação Prefeito Faria Lima Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal. 1978. 70 p.
- PEDRERO, F; KALAVROUZIOTIS, I.; ALARCÓN, J.J.; KOUKOULAKIS, P.; ASANO, T. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture Review of some

- practices in Spain and Greece. **Agricultural Water management**. v. 97. p. 1233-1241. 2010.
- POTT, C.A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27. p. 19-27. 2003.
- RESENDE, A. V. de. **Agricultura e qualidade da água**: contaminação da água por nitrato. Planaltina. DF: Embrapa Cerrados. 2002. 29 p.
- SANDRI, D. Irrigação da cultura da alface com água residuária tratada com leitos cultivados com macrófita. 2003. 186 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola na área de concentração em Água e Solo) Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2003.
- SANTOS, G. O.; FARIA, R.T de.; RODRIGUES, G.A.; DALRI, A.B. Alterações das características químicas do solo sob aplicação de efluente tratado e adubação mineral. XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Campo Grande, MS. 2014.
- WEN, C. G.; CHEN, T. H.; HSU, F. H.; LU, C. H.; LIN, J. B.; CHANG, C. H. CHANG, S. P.; LEE, C. S. A high loading overland flow system: Impacts on soil characteristics, grass constituents, yields and nutrient removal. Chemosphere. v. 67. p. 1588–1600. 2007.