



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ESTIMATIVA DA TAXA DE APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE GRANJA SUINÍCOLA
NA FERTIRRIGAÇÃO DE PASTAGEM E AVALIAÇÃO DO RISCO DE DISPERSÃO DE
ARGILA NO SOLO: ESTUDO DE CASO EM SETE LAGOAS - MG**

TANISE NASCIMENTO DE OLIVEIRA

**BELO HORIZONTE
2017**

TANISE NASCIMENTO DE OLIVEIRA

ESTIMATIVA DA TAXA DE APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE GRANJA SUINÍCOLA
NA FERTIRRIGAÇÃO DE PASTAGEM E AVALIAÇÃO DO RISCO DE DISPERSÃO DE
ARGILA NO SOLO: ESTUDO DE CASO EM SETE LAGOAS - MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais, como requisito parcial à obtenção do título
de Engenheiro (a) Ambiental e Sanitarista



Tanise Nascimento de Oliveira



Orientador: Prof. M.Sc. André Luiz Marques Rocha

BELO HORIZONTE
2017



Serviço Público Federal – Ministério da Educação
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ATA DE DEFESA FINAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

Aos vinte e dois dias do mês de junho de 2017, no *campus* I do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, reuniram-se os professores **André Luiz Marques Rocha**, **Evandro Carrusca de Oliveira** e **Gisele Vidal Vimieiro**, para participarem da banca de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “*Estimativa da Taxa de Aplicação de Efluente de Granja Suinícola na Fertirrigação de Pastagem e Avaliação do Risco de Dispersão de Argila no Solo: Estudo de Caso em Sete Lagoas-MG*” de autoria do(a) aluno(a) **Tanise Nascimento de Oliveira**, do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Uma vez avaliado, o trabalho foi declarado:

- Aprovado.
 Reprovado.

Belo Horizonte, 22 de Junho de 2017.

Banca Examinadora:



Professor Orientador André Luiz Marques Rocha



Professor Evandro Carrusca de Oliveira



Professora Gisele Vidal Vimieiro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me iluminou e me sustentou em todos os momentos.

Aos meus pais, Marly e José, por todo apoio e carinho.

Ao André Teixeira e a minha irmã Thaynara por estarem sempre ao meu lado.

Ao meu primo Marlon por todo auxílio.

Ao professor André Rocha pela valiosa orientação e colaboração na realização deste trabalho.

Ao José Arnaldo Cardoso Penna, proprietário da granja Barreirinho, que abriu as portas de sua propriedade e se disponibilizou a ajudar no que fosse possível durante a realização deste trabalho.

Ao Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental e aos seus professores, pelo conhecimento a mim transmitido, pelas dúvidas esclarecidas, e pelo papel fundamental em minha formação profissional e pessoal.

Aos amigos Patrícia, Paula, Paulo e Isabella pelo companheirismo dividido nos momentos difíceis e de alegria.

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

DE OLIVEIRA, TANISE NASCIMENTO. Estimativa da taxa de aplicação de efluente de granja suinícola na fertirrigação de pastagem e avaliação do risco de dispersão de argila no solo: Estudo de caso em Sete Lagoas - MG. 2017. 82f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Orientador: André Luiz Marques Rocha.

A intensificação da suinocultura no Brasil tem resultado em um aumento dos resíduos, que muitas vezes são descartados de modo incorreto na água e no solo. Uma alternativa viável para a resolução deste problema tem sido a utilização da água residuária de suinocultura (ARS) na fertirrigação de culturas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estimar a taxa de aplicação de efluente de granja suinícola na fertirrigação de pastagem, e avaliar os riscos de dispersão de argila no solo, por meio do cálculo da razão de adsorção de sódio (RAS). Observou-se que o uso da água residuária na dose aplicada pelo proprietário tem sido bastante elevada no que se refere a dose estimada, podendo resultar na lixiviação de nitrato e de metais pesados no solo, e conseqüentemente na contaminação da água subterrânea. Constatou-se ainda, um aumento nos níveis de potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) no perfil do solo ao longo dos anos, em decorrência da aplicação em elevadas doses. Por outro lado, foram encontradas maiores disponibilidades desses nutrientes na camada superficial do solo, indicando baixa mobilidade. Os resultados obtidos apontaram que não foi verificado risco de dispersão de argila. Considerando as questões sanitárias, recomendou-se a realização de monitoramentos microbiológicos do efluente e do solo, uma vez que patógenos como vírus, bactérias, ovos de helmintos e protozoários presentes em águas residuárias, sem tratamento adequado, podem estar associados à transmissão de doenças. Dessa maneira, concluiu-se que a fertirrigação é uma técnica que apresenta inúmeras vantagens, mas seu uso inadequado pode provocar graves conseqüências.

Palavras-Chave: Água residuária de suinocultura, fertirrigação, taxa de aplicação, dispersão de argila.

ABSTRACT

DE OLIVEIRA, TANISE NASCIMENTO. Estimation of the rate of effluent application of pig farm in pasture fertirrigation and evaluation of the risk of clay dispersion in the soil: Case study in Sete Lagoas - MG. 2017. 82f. Monograph (Graduate in environmental and sanitary engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Mentor: André Luiz Marques Rocha.

The intensification of swine production in Brazil has led to an increase in waste that is often improperly disposed in the water and soil. A viable alternative for solving this problem is the use of swine wastewater through fertirrigation. Thus, the goal of this study was to estimate the rate of effluent application of pig farm in pasture fertirrigation and to evaluate the risk of clay dispersion in the soil, through sodium adsorption relation (SAR). It was observed that the use of swine wastewater in the applied dose by the owner has been quite high, regarding to the calculated dose, resulting in the leaching of nitrate and heavy metals into the soil, and consequently the contamination of groundwater. It was also observed increase in the levels of potassium (K), sodium (Na), calcium (Ca), manganese (Mn), copper (Cu) and zinc (Zn) in the soil due to the application in high doses. However, greater availability of these nutrients was found in the superficial layer, indicating low mobility in the soil profile. The results showed that there wasn't risk of clay dispersion in the soil. Regarding sanitary issues, it was recommended to carry out microbiological monitoring of effluent and soil, because pathogens such as viruses, bacteria, helminth eggs and protozoa present in wastewater, without adequate treatment, may be related to the transmission of diseases. Therefore, it was concluded that fertirrigation is a technique that has many advantages, but its inappropriate use can have serious consequences.

Keywords: Swine wastewater, fertirrigation, rate application, clay dispersion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma que representa a digestão anaeróbia	22
Figura 2 - Diagrama de riscos de diminuição da permeabilidade do solo.....	26
Figura 3 - Sistema de irrigação por sulcos e canais.....	34
Figura 4 - Sistema de irrigação por faixas	35
Figura 5 - Sistema de irrigação por Pivô Central	36
Figura 6 - Sistema de irrigação por aspersor de impacto tipo canhão hidráulico.....	37
Figura 7 - Sistema de irrigação por gotejamento.....	38
Figura 8 - Sistema de irrigação por microaspersão	38
Figura 9 - Normais Climatológicas para o município de Sete Lagoas: Precipitação Acumulada Mensal (1961-1990).....	42
Figura 10 - Resíduos sólidos do processo produtivo da Granja Barreirinho.....	43
Figura 11 - Caixa coletora do efluente líquido (a), gradeamento (b) tanque de equalização (c), eco-filtro (d) localizados na granja Barreirinho.....	44
Figura 12 - Biodigestor (a), tanque de alvenaria (b), lagoa de maturação (c) localizados na Granja Barreirinho.	45
Figura 13 - Casa de bombas localizada na granja Barreirinho	46
Figura 14 - Área fertirrigada de pastagem na granja Barreirinho.....	46
Figura 15 - Visão geral da Granja Barreirinho	48
Figura 16 - Doses de aplicação sequenciadas calculada pelo método de Matos (2007)	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção mundial de suínos em 2015	16
Tabela 2 - Exportação mundial de suínos em 2015.....	16
Tabela 3 - Participações relativa e acumulada no efetivo total de suínos no Brasil.....	17
Tabela 4 - Produção de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos	18
Tabela 5 - Características das águas residuárias de suinocultura	19
Tabela 6 - Composição média do biogás.....	23
Tabela 7 - Classificação da água para irrigação de acordo com a condutividade elétrica (CE)	25
Tabela 8 - Referências para a qualidade da água utilizada na irrigação em relação a RAS e a condutividade elétrica.....	26
Tabela 9 - Classes de interpretação de fertilidade do solo para o complexo de troca catiônica	28
Tabela 10 - Diretrizes da USEPA para o uso agrícola de esgotos sanitários	30
Tabela 11 - Diretrizes da OMS para o uso agrícola de esgotos sanitários (1989).....	31
Tabela 12 - Remoção de organismos patogênicos.....	32
Tabela 13 - Diretrizes atuais da OMS para o uso agrícola de esgotos sanitários	33
Tabela 14 - Eficiência média de irrigação em função do método	39
Tabela 15 - Limites para aplicação de dejetos em países Europeus	40
Tabela 16 - Remoção de nutrientes pela cultura do Capim Tanzânia	50
Tabela 17 - Constante de decomposição anual de diferentes tipos de água residuária	51
Tabela 18 - Classes de interpretação para o fósforo	54
Tabela 19 - Classes de interpretação para a acidez ativa do solo (pH).....	54
Tabela 20 - Classes de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes	55
Tabela 21 - Parâmetros físico-químicos do efluente de granja suinícola tratado, em junho de 2015	56
Tabela 22 - Parâmetros físico químicos do efluente de granja suinícola tratado, em dezembro de 2015.....	57
Tabela 23 - Eficiência de remoção de DBO no período seco e úmido de 2015	58
Tabela 24 - Eficiência de remoção de DQO no período seco e úmido de 2015.....	58
Tabela 25 - Resultados da concentração de sódio, cálcio e magnésio.....	59
Tabela 26 - Cálculo do elemento referencial do efluente proveniente de suinocultura.....	61

Tabela 27 - Aplicação sucessiva de água residuária de suinocultura em uma mesma área durante 4 anos.....	63
Tabela 28 - Relatório de ensaio do solo após receber efluente tratado em 2006, 2007, 2009 e 2015	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal
Ca - Cálcio
CE - Condutividade Elétrica
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFSMG - Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM/CERH-MG - Conselho Estadual de Política Ambiental/ Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais
Cr - Cromo
CRT - Cloro Residual Total
CTer - Coliformes Termotolerantes
Cu - Cobre
CV - Cavalos Vapor
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO - Demanda Química de Oxigênio
Ha - Hectare
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K - Potássio
LQPs - Limites de Quantificação Praticáveis
Mg - Magnésio
MO - Matéria Orgânica
N - Nitrogênio
Na - Sódio
NaCl - Cloreto de Sódio
ND - Não Detectável
OMS - Organização Mundial de Saúde
PPM - Pesquisa Pecuária Municipal
RAS - Razão de Adsorção de Sódio
SB - Soma de Bases
SF - Sólidos Fixos
SS - Sólidos Sedimentáveis

SST- Sólidos Suspensos Totais

SV - Sólidos Voláteis

USEPA - United States Environmental Protection Agency - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

VI - Valor de Investigação

VP - Valor de Prevenção

VRQ - Valor de Referência de Qualidade

Zn - Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 A suinocultura nos cenários nacional e mundial	16
3.2 Volume e caracterização dos dejetos suínos.....	17
3.3 Impactos ambientais ocasionados pelo lançamento de águas residuárias	19
3.3.1 Impactos ambientais nos corpos hídricos	19
3.3.2 Impactos ambientais no solo.....	20
3.4 Tratamento e disposição dos dejetos suínos	20
3.4.1 Biodigestor.....	21
3.4.2 Disposição de águas residuárias de forma controlada no solo	24
3.4.3 Fertirrigação.....	28
3.5 Aspectos sanitários do reúso agrícola.....	29
3.6 Formas de aplicação do efluente tratado	33
3.6.1 Irrigação por superfície.....	33
3.6.2 Aspersão	35
3.6.3 Aplicação localizada.....	37
3.7 Legislações ambientais relativas ao tema.....	39
4 METODOLOGIA.....	42
4.1 Área de estudo	42
4.2 Diagnóstico da aplicação de efluentes no solo	48
4.2.1 Verificação dos dados fornecidos pelo proprietário em relação as legislações vigentes.....	48
4.2.2 Calculo da razão de adsorção de sódio (RAS).....	49

4.2.3 Determinação do elemento limitante e da taxa de aplicação de água residuária.....	49
4.2.4 Avaliação de fertilidade do solo	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
5.1 Análises da caracterização da água residuária.....	55
5.2 Cálculo da razão de adsorção de sódio (RAS).....	59
5.3 Determinação da taxa de aplicação da água residuária	60
5.4 Análises das amostras de solo.....	65
5.4.1 Avaliação de fertilidade do solo em relação ao pH do solo	66
5.4.2 Avaliação de fertilidade do solo em relação aos macronutrientes.....	67
5.4.3 Avaliação de fertilidade do solo em relação aos micronutrientes	69
5.5 Parâmetros microbiológicos	70
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	71
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICE A – Memorial de cálculo da taxa aplicada de nitrogênio em 2015.....	82
APÊNDICE B – Memorial de cálculo da taxa recomendada para aplicação de nitrogênio no ano de 2015.....	83

1 INTRODUÇÃO

A poluição ambiental decorrente de dejetos suínos vem se agravando nas últimas décadas. Até a década de 1970, a quantidade de animais nas granjas era baixa e os resíduos eram destinados ao solo para adubação. No entanto, com o crescimento da produção de alimentos, passou a ser utilizado o sistema de confinamento, o qual culminou em elevadas concentrações de dejetos lançados no solo e na água, sem tratamento (OLIVEIRA, 1993).

Os dejetos de suínos são compostos por uma mistura de fezes, urina, resíduos de lavagem das baias, restos de rações, pó e pelos de animais (GONÇALVES JUNIOR *et al.*, 2008). Além disso, possuem concentrações elevadas de nutrientes, uma vez que esses animais apresentam eficiência alimentar muito baixa, de maneira que são excretados cerca de 45% a 60% do nitrogênio, 50% a 80% do cálcio e fósforo e 70% a 95% do potássio, sódio, magnésio, cobre, zinco, manganês e ferro presentes nos alimentos consumidos (SOUZA, 2009).

Dessa forma, a produção de suínos assegura alta geração de dejetos, que resultam em problemas de manejo, armazenamento, distribuição e poluição (DARTORA, 1998). Portanto, soluções devem ser priorizadas para o tratamento do efluente, com a finalidade de se evitar a degradação ambiental.

Uma das técnicas de tratamento desse tipo de resíduo é a fertirrigação, visto que além de ser considerada uma prática de reúso e de preservação da qualidade da água e do solo, ocasiona benefícios, como a contribuição para a nutrição de culturas (SANTOS, 2004).

Por outro lado, a aplicação inadequada desses dejetos na fertirrigação pode provocar salinização, contaminação microbiológica e lixiviação de elementos como metais pesados e nitrato no perfil do solo (MANCUSO, 2003). Além disso, pode acarretar na dispersão de argila, provocada por altas concentrações de sódio em relação ao cálcio e ao magnésio, resultando no entupimento de macroporos e na diminuição da permeabilidade do solo (SPEIR *et al.*, 1999).

Dessa maneira, o presente trabalho teve por objetivo estimar a taxa adequada de aplicação de efluente proveniente de dejetos da granja suinícola Barreirinho, localizada no município de Sete Lagoas - MG, na fertirrigação de pastagem e avaliar o risco de dispersão de argila no solo da propriedade

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estimar a taxa adequada de aplicação de efluente proveniente de dejetos da granja suinícola Barreirinho, localizada em Sete Lagoas - MG, na fertirrigação de pastagem e avaliar o risco de dispersão de argila no solo da propriedade.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Confrontar os resultados fornecidos pelo proprietário referentes as análises do efluente e do solo com legislações pertinentes;
- ✓ Verificar o risco de dispersão de argila no solo por meio do cálculo da razão de adsorção de sódio (RAS);
- ✓ Determinar o elemento limitante quanto a aplicação de água residuária no solo;
- ✓ Calcular a taxa de aplicação de água residuária utilizando o nitrogênio como constituinte referencial;
- ✓ Avaliar a fertilidade do solo com base na classificação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A suinocultura nos cenários nacional e mundial

A carne suína é uma das mais consumidas no mundo, o que torna sua demanda nacional e internacional de grande relevância. Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2016), no Brasil, sua produção passou de 2.556 mil toneladas em 2000 para 3.643 mil toneladas em 2015, sendo que mais de 80% dessa produção era destinada ao mercado interno. Além disso, em 2015, o Brasil tornou-se o quarto maior produtor mundial de carne suína, com 3643 mil toneladas (Tabela 1) e o quarto maior exportador, com 555 mil toneladas (Tabela 2).

Tabela 1 - Produção mundial de suínos em 2015

Posição	Países	Produção (Mil toneladas)
1	China	56.375
2	União Europeia	23.000
3	EUA	11.158
4	Brasil	3.643
5	Rússia	2.630

Fonte: ABPA (2016)

Tabela 2 - Exportação mundial de suínos em 2015

Posição	Países	Produção (Mil toneladas)
1	União Europeia	2.350
2	Estados Unidos	2.268
3	Canadá	1.210
4	Brasil	555
5	China	250

Fonte: ABPA (2016)

Segundo a Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) de 2015, a suinocultura do estado de Minas Gerais ocupa a 4ª colocação no rebanho nacional de suínos, sendo o município de Uberlândia (MG) o segundo maior produtor nacional, com 1,9 % da produção, atrás apenas do município de Toledo, no Paraná, com 3,1% da produção brasileira. A produção do estado

corresponde a 12,5% da nacional, com mais de 5 milhões de cabeças (Tabela 3) (IBGE, 2015).

Tabela 3 - Participações relativa e acumulada no efetivo total de suínos no Brasil

Municípios	Participações no efetivo total (%)	
	Relativa	Acumulada
Paraná	17,7	17,7
Santa Catarina	16,8	34,5
Rio Grande do Sul	14,7	49,2
Minas Gerais	12,5	61,7
Mato Grosso	7,1	68,8
Goiás	5,0	73,8
São Paulo	3,7	77,5
Mato Grosso do Sul	3,2	80,7
Ceará	3,1	83,8
Maranhão	3,1	86,9
Bahia	3,0	89,9
Piauí	2,0	91,9
Pernambuco	1,5	93,4
Pará	1,4	94,8
Espírito Santo	0,9	95,7
Tocantins	0,7	96,4
Rio Grande do Norte	0,6	97,0
Rondônia	0,6	97,6
Paraíba	0,4	98,0
Distrito Federal	0,4	98,4
Acre	0,4	98,8
Alagoas	0,4	99,2
Sergipe	0,3	99,5
Rio de Janeiro	0,2	99,7
Amazonas	0,2	99,8
Amapá	0,1	99,9
Roraima	0,1	100,0

Fonte: IBGE (2015)

3.2 Volume e caracterização dos dejetos suínos

A produção de suínos assegura uma grande geração de dejetos. Fatores como a alimentação, desperdício de água nos bebedouros e sistema de limpeza e manejo influenciam no volume dos resíduos, de modo que a água é o fator que determina sua quantidade, podendo ocasionar maior dispersão e conseqüente agravamento dos problemas ambientais. Além disso, as diferentes fases produtivas do animal também estão relacionadas à quantidade gerada de resíduos (DARTORA, 1998).

Normalmente são adotados alguns valores para a realização de cálculo de volume de dejetos produzidos em uma granja suinícola conforme pode ser verificado na Tabela 4 (OLIVEIRA *et al.*, 1993).

Tabela 4 - Produção de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos

Categoria	Esterco (Kg.dia⁻¹)	Esterco+Urina (Kg.dia⁻¹)	Dejetos líquidos (L.dia⁻¹)
Suínos de 25 a 100 Kg	2,30	4,90	7,00
Fêmeas em gestação	3,60	11,00	16,00
Fêmeas em lactação com leitões	6,40	18,00	27,00
Macho	30	6,00	9,00
Leitões	0,35	0,95	1,40
Média	3,13	8,17	12,08

Fonte: Oliveira *et al.* (1993).

A água residuária de suinocultura é composta por matéria orgânica, sólidos, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, ferro, zinco, cobre, entre outros. Entretanto, existe uma grande variação em relação à concentração desses elementos (DIESEL, 2002). Dessa forma, as características físicas, químicas e bioquímicas da água residuária quanto sua composição média, são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características das águas residuárias de suinocultura

Variável	1	2	3
pH	6,32	-	7,5
CE (dS.m ⁻¹)	-	0,61-3,78	3,69
RAS (mmol.L ⁻¹) ^{1/2}	1,005	1,03-0,54	-
Densidade	88,3	-	-
SS (ml.L ⁻¹)		5-750	53,5
ST(g.L ⁻¹)	5,5	0,84-16,48	3,25
SF(g.L ⁻¹)	-	0,36-6,18	-
SV (g.L ⁻¹)	-	0,48-10,38	-
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	-	350-3.651	1.158
DQO (mg.L ⁻¹)	-	1.064-15.600	3.433
Nitrogênio total (g.L ⁻¹)	0,94	0,11-1,61	0,44
Fósforo total (g.L ⁻¹)	0,09	0,03-0,69	0,09
Potássio (g.L ⁻¹)	0,5	0,05-0,21	0,1
Cálcio (g.L ⁻¹)	0,13	0,05-1,10	-
Magnésio (g.L ⁻¹)	0,05	0,02-0,11	-
Sódio (g.L ⁻¹)	0,2	0,03-0,07	0,03
Ferro (mg.L ⁻¹)	-	28,22-757,95	-
Cobre (mg.L ⁻¹)	1,61	0,30-10,30	1,4
Zinco (mg.L ⁻¹)	1,15	6-78-84,71	7,38

Fonte:(1) - Brandão (1999); (2) Queiroz (2000); (3) Lo Monaco (2001)

CE - condutividade elétrica; RAS - razão de adsorção de sódio;

SS - sólidos sedimentáveis; ST - sólidos totais; SF - sólidos fixos; SV - sólidos voláteis.

3.3 Impactos ambientais ocasionados pelo lançamento de águas residuárias

3.3.1 Impactos ambientais nos corpos hídricos

Nos corpos hídricos, o lançamento de águas residuárias pode provocar crescimento de microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica e desenvolvimento do fitoplâncton. Pode também acarretar quelação, e/ou complexação de substâncias tóxicas, formando lodo facilmente removível. Já os impactos negativos estão associados à diminuição da concentração de oxigênio dissolvidos, eutrofização, contaminação por patógenos e por metais pesados, alteração da turbidez e assoreamento (MATOS, 2007).

3.3.2 Impactos ambientais no solo

No solo, a disposição de águas residuárias pode trazer impactos positivos como o aumento da velocidade de infiltração, que ocorre uma vez que com adição de matéria orgânica, a massa específica é reduzida diretamente, pois a mesma possui densidade menor que a do solo, e/ou indiretamente, visto que funciona como agente cimentante, gerando agregados e ocasionando o aumento da porosidade do solo (MATOS, 2007). Além disso, o aumento da estabilidade dos agregados proporciona maior resistência à processos erosivos (OLIVEIRA, 1993).

A aplicação de matéria orgânica também é capaz de controlar a toxicidade ocasionada pela presença de elementos como o ferro, alumínio e o manganês no solo, por meio de processos de fixação, complexação ou quelação. Outro impacto positivo está relacionado ao fato de que a matéria orgânica possui elevada capacidade de troca de cátions, que é responsável por reter nutrientes e disponibiliza-los as plantas (MELO, 2001).

Como impacto negativo, tem-se o selamento superficial, ocasionado por partículas suspensas presentes em águas residuárias, que podem causar a obstrução dos poros da superfície do solo, reduzindo a taxa de infiltração e a condutividade hidráulica. Outro problema relaciona-se a possível contaminação do solo por metais (FEIGIN, 1991).

Caso a água residuária seja aplicada de forma indiscriminada sobre o solo, uma das principais alterações previstas é a salinização, a qual ocorre quando a capacidade tampão é excedida, afetando assim, o consumo de água dos vegetais, uma vez que aumenta o potencial osmótico no solo e provoca baixa disponibilidade de água para as plantas. A dispersão de argila também é um importante fator a ser considerado, uma vez que o material disperso pode diminuir a permeabilidade do solo (DUARTE, 2007).

3.4 **Tratamento e disposição dos dejetos suínos**

De acordo com Perdomo (2003), os tipos de tratamento de dejetos suínos podem ser:

Tratamento preliminar: sua finalidade é remover partículas grosseiras por meio de processos físicos, tais como peneiras, caixa de areia para remover sólidos sedimentáveis e caixas de separação de substâncias insolúveis, como óleo e gordura;

Tratamento primário: remove sólidos em suspensão através de equipamentos com tempo de retenção maior que o dos tratamentos preliminares, como decantação primária, flotação e filtração;

Tratamento secundário: tem como objetivo a remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos muito finos, através de processos aeróbios ou anaeróbios. Dentre os processos aeróbios tem-se a compostagem, lagoas de estabilização facultativas e aeradas. Já as lagoas e digestores anaeróbios, são exemplos de processos anaeróbios.

Tratamento terciário: objetiva a remoção de outros elementos que ainda persistiram nas etapas anteriores. Os filtros biológicos, lagoas de polimento e carvão ativado são exemplos desse tipo de tratamento.

3.4.1 Biodigestor

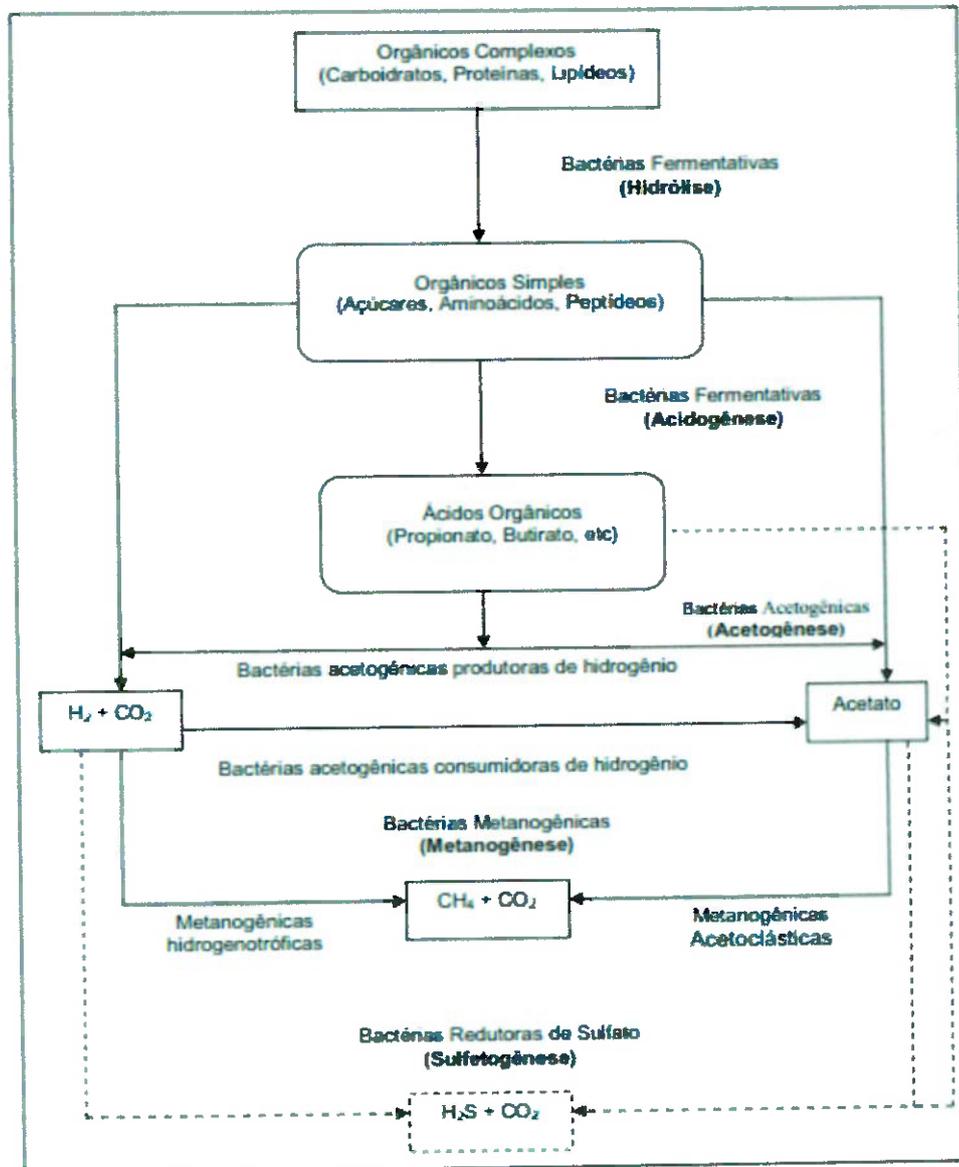
Um dos tipos de técnica de tratamentos dos dejetos suínos mais utilizada é o biodigestor, devido ao aproveitamento de seus resíduos. O biodigestor consiste em uma câmara fechada, onde ocorre a fermentação anaeróbia da biomassa, que resulta na liberação de biogás e na produção de biofertilizante. São diversos os tipos de biodigestores, contudo, todos são compostos basicamente por um tanque, onde ocorre a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), onde o biogás é armazenado (GASPAR, 2003).

Durante a biodigestão ocorre ação de bactérias anaeróbias que convertem matéria orgânica complexa por meio da hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Figura 1). A hidrólise é responsável por converter proteínas, carboidratos e lipídios em materiais mais simples por meio das bactérias hidrolíticas (ZANETTE, 2009).

A segunda etapa é a fermentação ou acidogênese. Nesse processo, os produtos da hidrólise são transformados em ácidos graxos voláteis, alcoóis, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio através das bactérias fermentativas acidogênicas (INOUE, 2008).

A terceira etapa, conhecida como acetogênese, é responsável pela transformação dos compostos provenientes da fase anterior em hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. A metanogênese é a etapa final, que produz metano e dióxido de carbono (INOUE, 2008). Entretanto, caso o efluente tratado contenha enxofre em sua composição, ocorre também a sulfetogênese, onde os compostos sulfurados são reduzidos a sulfetos (SIQUEIRA, 2008).

Figura 1 - Fluxograma que representa a digestão anaeróbia



Fonte: INOUE (2008)

O desempenho da digestão anaeróbia depende de diversos fatores, como faixa de pH ótimo, que deve se encontrar entre 6,8 e 7,2. A temperatura influencia no metabolismo dos microrganismos, bem como no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos. Esse fator é extremamente importante, uma vez que as bactérias anaeróbias são bastante sensíveis a variações de temperatura (OLIVEIRA, 1993).

Além dos fatores citados, nutrientes como carbono, nitrogênio e fósforo são extremamente necessários para o desenvolvimento dos microrganismos, devendo ser encontrados na proporção de 30:5:1, respectivamente. Dessa forma, a produção também depende da fonte de material orgânico utilizado, uma vez que os dejetos animais possuem alta

concentração de nitrogênio, enquanto que palhas e forragens são fornecedores de carbono (OLIVEIRA, 1993).

Elementos como NaCl, Cu, Cr, K, Ca, Mg devem ser evitados, pois em altas concentrações podem prejudicar o crescimento das bactérias. Desse modo, devem ser realizados estudos criteriosos da alimentação dos animais respeitando seus limites (GASPAR, 2003).

Ainda segundo Gaspar (2003), a digestão anaeróbia produz o biogás, o qual é composto de uma mistura de gases cujas concentrações variam conforme as condições ambientais e as características do substrato, sendo o metano, gás altamente combustível, seu principal componente. Entretanto, há presença de gases como gás carbônico, nitrogênio, entre outros (Tabela 6).

Tabela 6 - Composição média do biogás

Composição de Gases	Porcentagem (%)
Metano	55-70
Dióxido de Carbono	27-45
Nitrogênio	3-5
Hidrogênio	1-10
Oxigênio	0,1
Monóxido de Carbono	0,1
Sulfeto de Hidrogênio	Traços

Fonte: Oliveira (2004)

O efluente líquido proveniente do biodigestor, no final do processo de produção de biogás, apresenta ainda, alta concentração de matéria orgânica e pode ser utilizado como fertilizante, melhorando as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo. Contudo, deve-se realizar uma análise química do biofertilizante e calcular a dosagem que será aplicada, conforme a necessidade de cada espécie de planta (SGANZERLA, 1983).

A biodigestão anaeróbia representa dessa forma, uma alternativa viável para o tratamento de resíduos, uma vez que é responsável por reduzir o potencial poluidor e os riscos sanitários dos dejetos (SOUZA, 2005).

3.4.2 Disposição de águas residuárias de forma controlada no solo

A aplicação de água residuária deve atender as necessidades da cultura, sem disponibilizar no ambiente quantidades de nutrientes acima de sua capacidade de absorção. Portanto, recomenda-se equacionar a dose do efluente a ser aplicado, tomando-se por base o nutriente cuja quantidade seja satisfeita com a menor dose. Para isto, é necessário quantificar a disponibilidade de nutrientes do solo, a exigência da cultura e a concentração de nutrientes nos resíduos (MATOS, 2007).

As taxas de aplicação de N no solo devem ser compatíveis com as necessidades nutricionais dos cultivos, visto que excessos podem afetar a qualidade ambiental. Quando não há definição do tipo de cultura a ser cultivada na área, tem sido aceito aplicar uma taxa correspondente a 300 kg de $N_{total}.ha^{-1}.ano^{-1}$ (MATOS; SEDIYAMA, 1996).

O nitrogênio total contido em resíduos orgânicos é constituído pela soma do nitrogênio orgânico, amônio (NH_4^+), amônia (NH_3), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-). O nitrogênio orgânico é disponibilizado com a mineralização do material orgânico. A amônia é passível de perdas por volatilização, sendo as perdas na armazenagem por curtos períodos de tempo da ordem de 10% e, após a disposição no solo, da ordem de 20%. Já o nitrato tem perdas por lixiviação da ordem de 15-25% do total aplicado (MATOS, 2007).

Ainda em relação à aplicação de efluentes da suinocultura no solo, deverão ser observados critérios de aplicação que avaliem o risco de dispersão da argila e risco de salinização do solo.

Segundo Matos (2001), elevadas concentrações de sódio ou potássio trocável, relativamente ao cálcio e magnésio, especialmente quando a concentração salina for reduzida, promovem dispersão dos colóides do solo. O material disperso, sob a ação mecânica das gotas d'água, se direciona para o interior dos poros bloqueando a passagem da água e do ar, impedindo a infiltração de água, difusão de gases e emergência das plântulas.

Segundo Ferreira (2008), substituindo-se o sódio pelo cálcio na micela, a espessura da dupla camada difusa reduz-se e a fração coloidal do solo, antes dispersa, agrega-se, uma vez que as concentrações trocáveis de cálcio predominam na soma de bases do solo, vindo a seguir, em concentrações bem mais baixas, o magnésio, e o potássio. Isto pode ser explicado com base na ordem de retenção no solo que é de $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$, como consequência da carga e do tamanho do raio hidratado dos cátions (VAN RAIJ, 1991), sendo os cátions de maiores raios hidratados retidos com menor energia no complexo de troca do solo.

A razão de adsorção de sódio (RAS) é uma característica indicadora dos possíveis problemas de infiltração que um solo poderá apresentar como resultado do excesso de sódio em relação ao cálcio e magnésio (ALMEIDA NETO, 2007). O mesmo autor ressalta que elevadas concentrações de eletrólitos na solução do solo são capazes de promover a compressão da dupla camada difusa do solo.

A condutividade elétrica (CE) é responsável por medir a capacidade de transporte de corrente elétrica de uma solução aquosa. A real condutividade elétrica do solo depende do teor de água, da composição química da solução do solo e dos íons trocáveis, da porcentagem de argila no solo e da interação entre os íons não trocáveis e os trocáveis (NEADLER; FRENKEL, 1980).

Os efluentes reaproveitados em sistemas de fertirrigação apresentam risco de salinização dos solos. Na Tabela 7, é apresentada uma classificação da água de irrigação proposta por Bernardo (1995), relacionando o risco de salinização em virtude da condutividade elétrica dessa água.

Tabela 7 - Classificação da água para irrigação de acordo com a condutividade elétrica (CE)

CE (dS m ⁻¹)	Classe	Salinidade
0 < CE < 0,25	C1*	Baixa
0,25 < CE < 0,75	C2*	Média
0,75 < CE < 2,25	C3*	Alta
2,25 < CE < 5,00	C4*	Muito alta

Fonte: Bernardo (1995)

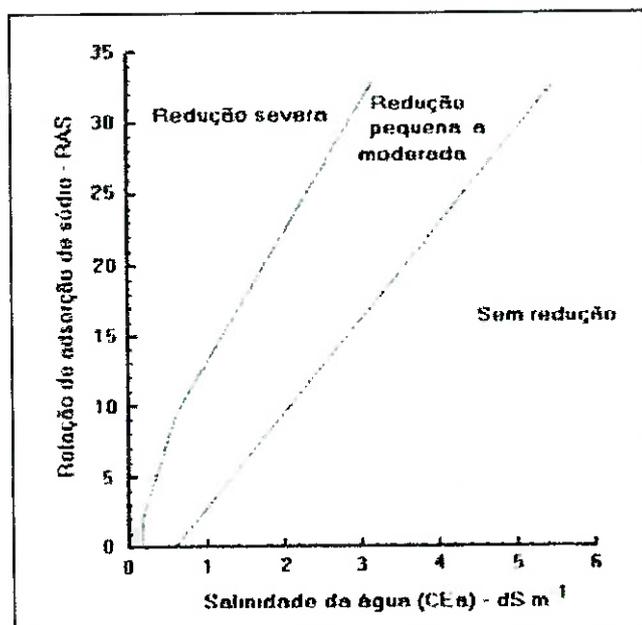
C1* - Pode ser usada para irrigação na maior parte dos cultivos e em quase todos os tipos de solo; C2* - Pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação; C3* - Podem ser necessárias práticas especiais para controle de salinidade e só deve ser aplicada para irrigação de plantas tolerantes aos sais; C4* - Podem ser utilizadas apenas ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais, tais como em plantas altamente tolerantes aos sais.

Na Figura 2 e na Tabela 8, estão apresentados os riscos de dispersão da argila do solo considerando-se os valores de condutividade elétrica e a razão de adsorção de sódio (AYERS; WESCOT, 1991). Alta salinidade aumenta a taxa de infiltração de água no solo, enquanto baixa salinidade, ou proporção alta de sódio em relação ao cálcio e magnésio, a diminui (ALMEIDA NETO, 2007). Ambos os fatores (salinidade e proporção de sódio) podem atuar simultaneamente (MAIA, 2002).

Tanto a RAS quanto a condutividade elétrica estão fortemente relacionadas a dispersão de argila do solo e, por isso, é necessário que sejam analisadas em conjunto para

que se possam tirar conclusões a respeito do risco de diminuição da permeabilidade do solo (AYERS; WESCOT, 1991).

Figura 2 - Diagrama de riscos de diminuição da permeabilidade do solo



Fonte: Ayers; Wescot (1991).

Tabela 8 - Referências para a qualidade da água utilizada na irrigação em relação a RAS e a condutividade elétrica

RAS	Grau de Restrição para uso		
	Nenhuma	Ligeira e Moderada	Severa
	CEa (dSm ⁻¹) (1)		
0-3	>0,7	0,7-0,2	<0,2
3-6	>1,2	1,2-0,3	<0,3
6-12	>1,9	1,9-0,5	<0,5
12-20	>2,9	2,9-1,3	<1,3
20-40	>5,0	5,0-2,9	<2,9

Fonte: Ayers; Wescot (1991)

(1) CEa - condutividade elétrica na água.

A capacidade de troca de cátions (CTC) é definida como o fenômeno de adsorção de cátions e a posterior reação de troca entre os adsorvidos e os presentes na solução do solo. É uma das propriedades físico-químicas mais importantes, pois é a responsável pela retenção dos cátions nutrientes das plantas, tais como: cálcio, magnésio e potássio, os quais ficam adsorvidos nos sítios de carga negativa dos colóides minerais e orgânicos dos solos (MATOS, 2007).

Valores baixos de CTC indicam pouca capacidade para reter cátions em forma trocável, o que faz com que a adubação deva ser realizada de forma parcelada, para que se evitem maiores perdas por lixiviação (RONQUIM, 2010).

Colóides orgânicos têm capacidade de adsorver cátions existentes na solução do solo, podendo depois cedê-los às raízes ou efetuar trocas, caso haja diminuição da concentração desse íon ou variação do pH do solo. O húmus apresenta uma elevada capacidade de troca catiônica (CTC), se comparado com os colóides inorgânicos do solo. A CTC do húmus varia de 200 a 400 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, enquanto que a da caulinita varia de 3 a 15 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, sendo, portanto, cerca de 30 vezes menor do que a do húmus (KIEHL, 1985).

Dada a importância da CTC do solo, as características relacionadas com esta propriedade são constantemente determinadas e utilizadas em interpretações de cálculos de necessidades de corretivos e de fertilizantes. Essas características são a própria CTC, também representada por T, para a CTC a $\text{pH} = 7,0$, e por t para a CTC efetiva, no pH do solo; a soma de bases (SB); o índice de saturação por bases (V); a acidez trocável (Al^{3+}); a acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) e a saturação por alumínio (m) (NOVAIS; MELLO, 2007).

As culturas, e mesmo os cultivares, variam muito na sua capacidade de tolerância ou sensibilidade à acidez ativa, à acidez trocável, saturação por bases, saturação por alumínio e disponibilidade de nutrientes. Dessa forma, as classes de fertilidade do solo devem ser interpretadas, considerando as exigências específicas a cada empreendimento agrícola, pecuário ou florestal (CFSEMG, 1999).

Para avaliar a acidez do solo, normalmente são consideradas a acidez ativa e a trocável, a saturação por alumínio e por bases, a capacidade tampão, estimada por meio da acidez potencial, e o teor de matéria orgânica. A acidez do solo também se relaciona com a disponibilidade de cálcio e de magnésio (CFSEMG, 1999). Na Tabela 9 são apresentadas classes de interpretação de fertilidade do solo para o potássio e para o complexo de troca catiônica.

Tabela 9 - Classes de interpretação de fertilidade do solo para o complexo de troca catiônica

Característica	Unidade	Classificação				
		Muito baixo	Baixo	Médio *	Bom	Muito Bom
Potássio disponível (K)	cmol _c .dm ⁻³	≤0,04	0,04-0,10	0,10-0,18	0,19-0,31	>0,31
Matéria orgânica (M.O.) ^{3/}	Dag.kg ⁻¹	≤0,70	0,71-2,00	2,01- 4,00	4,01-7,00	>7,00
Cálcio trocável (Ca ²⁺)	cmol _c .dm ⁻³	≤0,40	0,41-1,20	1,21-2,40	2,41-4,00	>4,00
Magnésio trocável (Mg ²⁺)	cmol _c .dm ⁻³	≤0,15	0,16- 0,45	0,46-0,90	0,91-1,50	>1,50
Acidez trocável (Al ³⁺)	cmol _c .dm ⁻³	≤0,20	0,21-0,50	0,51-1,00	1,01-2,00	>2,00
Soma de bases (SB)	cmol _c .dm ⁻³	≤0,60	0,61-1,80	1,81-3,60	3,61-6,00	>6,00
Acidez potencial (H + Al)	cmol _c .dm ⁻³	≤1,00	1,01-2,50	2,51-5,00	5,01-9,00	>9,00
CTC efetiva (t)	cmol _c .dm ⁻³	≤0,80	0,81-2,30	2,31-4,60	4,61-8,00	>8,00
CTC pH 7 (T)	cmol _c .dm ⁻³	≤1,60	1,6- 4,30	4,31-8,60	8,61-15,00	>15,00
Saturação por Al ³⁺ (m)	%	≤15,00	15,10-30,00	30,10-50,00	50,10-75,00	>75,00
Saturação por bases (V)	%	≤20,00	20,10-40,00	40,10-60,00	60,10-80,00	>80,00

Fonte: Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999).

*O limite superior dessa classe indica nível crítico

3.4.3 Fertirrigação

A fertirrigação é um tipo de disposição de água residuária no solo e é considerada uma técnica de adubação que utiliza águas residuárias como fonte de nutrientes ao solo. Entre suas vantagens, tem-se o não lançamento do efluente em corpos hídricos, melhora na eficiência e uniformidade durante a aplicação do adubo, pequena exigência na capacitação de mão de obra, aumento da produtividade, entre outras (MANTOVANI, 2006).

Ainda conforme Mantovani (2006), existem limitações para utilização da técnica, uma vez que é necessário o conhecimento técnico dos adubos e o cálculo das dosagens, a fim de se evitar o uso inadequado de doses, que poderá ocasionar impactos no corpo hídrico e no solo, além de causar implicações econômicas provenientes de problemas com órgãos ambientais.

Os dejetos de suínos possuem elementos fundamentais para as plantas, que podem ser absorvidos após sua mineralização da mesma maneira que os fertilizantes químicos. Contudo, os dejetos, diferentemente dos fertilizantes químicos, possuem composição variável conforme a alimentação e o manejo empregado, de forma a conter diversos nutrientes em concentrações desproporcionais a capacidade de assimilação da planta, podendo, dessa maneira, acarretar desequilíbrios químicos, físicos e biológicos no solo (SEGRANFREDO, 2000).

Dessa forma, o conhecimento da qualidade da água que será utilizada na irrigação deve ser analisado para maior eficiência do processo de fertirrigação, uma vez que a caracterização da água possui maior ou menor importância dependendo da técnica de

irrigação utilizada. A aplicação por meio de aspersão, por exemplo, é limitante em relação à concentração de sais como sódio, cloro, boro e flúor, uma vez que atingem as folhas das plantas (VILLAS BOAS, 1994).

Outros fatores devem ser considerados como a uniformidade do sistema de irrigação, visto que caso contrário, haverá aplicação de fertilizante em concentrações distintas ao longo da área, o que poderá ocasionar um desenvolvimento irregular das culturas e até mesmo problemas de toxicidade, além da mobilidade dos nutrientes no solo (MATOS 2007).

Deve-se também definir a quantidade a ser aplicada de fertilizante para a cultura, através do conhecimento da capacidade de absorção nas diferentes fases de desenvolvimento das plantas, a fim de identificar os períodos em que é exigida maior ou menor concentração, além de analisar o potencial de perdas por lixiviação em cada tipo de solo (COELHO, 2004).

É recomendado que as águas residuárias sejam aplicadas em culturas de rápido crescimento, grande massa radicular e capacidade de absorção de nitrogênio, como por exemplo, a cana de açúcar, pastagens e forrageiras. É desejado o cultivo de espécies persistentes, perenes e produtivas durante todo o ano (MATOS, 2007).

3.5 Aspectos sanitários do reúso agrícola

Microrganismos patogênicos podem ser encontrados em águas residuárias, estando os solos, culturas e o ser humano passíveis de contaminação. Entretanto, o solo não é um ambiente propício à sobrevivência desses microrganismos, já que ocorre competição por alimentos, predação, além do efeito desfavorável de substâncias produzidas por outros organismos. Além disso, fatores como umidade, pH, radiação solar, temperatura e concentração de matéria orgânica no solo determinam a capacidade de sobrevivência desses seres (CHERNICHARO, 1997).

A discussão em relação aos critérios de qualidade microbiológica do efluente gira em torno das recomendações da USEPA (United States Environmental Protection Agency) e da OMS (Organização Mundial de Saúde). A USEPA exige padrão de qualidade de efluente para irrigação irrestrita (inclui culturas alimentícias que são consumidas cruas), ou irrigação por aspersão, semelhante ao padrão de potabilidade, ou seja, é necessário que haja ausência de coliformes e organismos patogênicos, turbidez de 2 uT e cloro residual de 1mgL^{-1} (Tabela 10) (FLORENCIO, 2006).

Tabela 10 - Diretrizes da USEPA para o uso agrícola de esgotos sanitários

Tipo de irrigação e cultura	Processo de tratamento	Qualidade do efluente
Culturas alimentícias não processadas comercialmente (1); Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas.	Secundário + filtração + desinfecção	pH 6 a 9 DBO $\leq 10 \text{ mgL}^{-1}$ Turbidez $\leq 2 \text{ uT}$ CRT $\geq 1 \text{ mgL}^{-1}$ CTer ND Organismos patogênicos ND
Culturas alimentícias processadas comercialmente (1); Irrigação superficial de pomares e vinhedos; Silvicultura e irrigação de áreas com acesso restrito ao público.	Secundário + desinfecção	pH 6 a 9 DBO $\leq 30 \text{ mgL}^{-1}$ SST $\leq 30 \text{ mgL}^{-1}$ CRT $\geq 1 \text{ mgL}^{-1}$ CTer $\leq 200 \text{ 100ml}^{-1}$
Culturas não alimentícias; Pastagem para rebanhos de leite; Forrageiras, cereais, fibras e grãos.	Secundário + desinfecção	pH 6 a 9 DBO $\leq 30 \text{ mgL}^{-1}$ SST $\leq 30 \text{ mgL}^{-1}$ CRT $\geq 1 \text{ mgL}^{-1}$ CTer $\leq 200 \text{ 100ml}^{-1}$

Fonte:USEPA (2004a)

ND - não detectável; CTer - coliformes termotolerantes; CRT - cloro residual total; SST - sólidos suspensos totais; (1) culturas processadas são as que recebem processamento físico ou químico suficiente para destruição de patógenos.

A Organização Mundial de Saúde (1989) recomenda a adoção de medidas de proteção à saúde pública para a utilização de águas residuárias na fertirrigação, sendo elas:

- Tratamento das águas residuárias;
- Restrição às culturas a serem irrigadas;
- Controle da classe da água utilizada e da exposição humana, ou seja, seleção dos métodos de irrigação, utilização de equipamentos como luvas, botas, entre outros;
- Fomento à prática da higiene doméstica e pessoal.

Os critérios de tratamento para reúso agrícola devem ser associados a manutenção de nutrientes e eliminação de organismos patogênicos em níveis estabelecidos pela legislação local, caso seja disponível, ou de acordo com as diretrizes da Organização Mundial de Saúde (Tabela 11) (MANCUSO, 2003).

Tabela 11 - Diretrizes da OMS para o uso agrícola de esgotos sanitários (1989)

Categoria	Condições de reúso	Grupo de risco	Nematoides intestinais⁽¹⁾ (n° ovos.L⁻¹) (2)	Coliformes fecais (n° ovos/100 ml) (3)	Sistema de tratamento recomendado para atingir a qualidade microbiológica
A	Irrigação de culturas a serem ingeridas cruas, campos esportivos, parques públicos. ⁽⁴⁾	Operários, consumidores, público	≤ 1	1000	Lagoas de estabilização em série ou tratamento equivalente.
B	Irrigação de cereais, culturas, indústrias, forragem, pastos e árvores. ⁽⁵⁾	Operários	≤ 1	SR	Retenção em lagoas de estabilização por 8 a 10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes fecais.
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B, se não ocorrer exposição de trabalhadores e do público.	Nenhum	NA	NA	Pré tratamento requerido pela técnica de irrigação aplicada mas não menos do que tratamento primário.

Fonte: WHO (1989)

(1) Nematoides intestinais humanos: *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americanus* e *Ancylostomus duodenalis*; (2) média aritmética durante o período de irrigação. (3) Média geométrica. (4) Um valor diretriz mais restritivo (200 coliformes fecais por 100 ml) é apropriado para gramados públicos, tais como os de hotéis, com os quais o público tenha contato direto. (5) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes dos frutos serem colhidos, e frutos não devem ser colhidos do chão. Irrigação por sistemas de aspersores não deve ser utilizada. NA - não se aplica; SR - Sem recomendações.

Esgotos brutos contêm de 10^7 a 10^9 coliformes por 100 mililitros. Dessa forma, para atingir as diretrizes da OMS para reúso irrestrito (categoria A) (Tabela 11), seu tratamento deve remover de quatro a seis unidades \log_{10} de coliformes. Essa condição pode ser obtida apenas através da desinfecção, lagoas de estabilização e reservatórios de acumulação (MANCUSO, 2003) (Tabela 12).

Tabela 12 - Remoção de organismos patogênicos

Tratamento	Remoção (log10)			
	Bactérias	Helminhos	Vírus	Cistos
Sedimentação primária:				
Simples	0-1	0-2	0-1	0-1
com coagulantes	1-2	1-3 (f)	0-1	0-1
Lodos ativados (a)	0-2	0-2	0-1	0-1
Filtro biológico (a)	0-2	0-2	0-1	0-1
Lagoa aerada (b)	1-2	1-3	1-2	0-1
Valo de oxidação (a)	1-2	0-2	1-2	0-1
Desinfecção (c)	2-6 (f)	0-1	0-4	0-3
Lagoa de estabilização (d)	1-6 (f)	1-3 (f)	1-4	1-4
Reservatório de acumulação (e)	1-6 (f)	1-3 (f)	1-4	1-4

Fonte: FEACHEM *et al.*(1983)

(a) Incluído decantador secundário; (b) Incluída lagoa de sedimentação; (c) Cloração ou ozonização; (d) A eficiência depende do número de unidades em série e outros fatores ambientais; (e) A eficiência depende do tempo de detenção; (f) Com projeto e operação adequados às diretrizes para irrigação irrestrita podem ser atendidas.

No decorrer do processo de avaliação de diretrizes da OMS foram congregadas ferramentas de avaliação de riscos, as quais culminaram na publicação de novas diretrizes para utilização da água residuária na agricultura. Desse modo, na formulação das novas diretrizes da OMS, o maior risco tolerável de infecção foi associado a exposição à rotavírus, assumindo que sua remoção garantiria proteção contra infecções bacterianas e por protozoários. Além disso, as novas diretrizes incorporaram diferentes cenários de exposição em sua formulação (Tabela 13) (FLORENCIO, 2006).

Tabela 13 - Diretrizes atuais da OMS para o uso agrícola de esgotos sanitários

Categoria irrigação	Opção	Remoção de patógenos (log ₁₀)	Qualidade do efluente	
			E.coli 100 mL ⁻¹	Ovos helmintos L ⁻¹
Irrestrita	Cultivo de raízes e tubérculos (1)	4	<=10 ³	<=1
	Cultivo de folhosas (1)	3	<=10 ⁴	<=1
	Irrigação localizada de plantas que desenvolvem distantes do nível do solo	2	<=10 ⁵	<=1
	Irrigação localizada de plantas que desenvolvem rentes ao nível do solo	4	<=10 ³	<=1
	Qualidade do efluente alcançável com técnicas de tratamento tais como tratamento secundário+coagulação+filtração+desinfecção (2)	6 ou 7	<=10 ¹ ou 10 ⁰	<=1
Restrita	Agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva	4	<=10 ⁴	<=1
	Agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada	3	<=10 ⁵	<=1
	Técnica de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos (tanques sépticos ou reatores UASB) associada a irrigação com potencial de minimização da exposição (irrigação localizada)	<1	<=10 ⁶	<=1

Fonte: WHO (2006a)

(1) Culturas comestíveis cruas e mais susceptíveis à contaminação devido ao estreito contato com o solo;

(2) Para a irrigação irrestrita, essa opção acomoda situações em que se quer reduzir ao máximo os perigos, o que exigiria o emprego de rigorosos processos de tratamento.

3.6 Formas de aplicação do efluente tratado

A aplicação de efluentes tratados nas culturas irrigadas pode ser realizada por diversos métodos de irrigação, sendo estes classificados como métodos de irrigação por superfície ou método não pressurizado, e em métodos de irrigação pressurizados. Entre os principais métodos por superfície tem-se inundação, sulcos e faixas. Por outro lado, os métodos de irrigação sob pressão podem se dividir em aspersão e localizada (TAVARES, 2007).

3.6.1 Irrigação por superfície

A água é direcionada sobre a superfície do solo por gravidade, sendo as áreas de relevo plano e de solos mais uniformes adequadas a sua utilização. Além disso, solos muito permeáveis não são recomendados para o método, uma vez que acarreta em alta perda por

percolação. Essa técnica consome grande quantidade de água e pode ser dividida em sulco, faixa e inundação (TAVARES, 2007).

3.6.1.1 *Sulcos e canais*

O método de irrigação por sulcos é realizado por gravidade, através de canais paralelos e alternados às fileiras das plantas, que umedecem o terreno por infiltração. Entre as vantagens estão o menor custo, não ser afetado pelos ventos, utilizar menor energia, não contaminar as folhas, não formar crostas na superfície do solo ocasionadas pelo impacto das gotas de chuva, não oferecer problemas de entupimento e apresentar menor perda por evaporação do que o método por inundação (CASTRO, 2003).

A irrigação por sulcos, quando em excesso, pode resultar em perdas de água por percolação e/ou escoamento superficial e em perdas de nutrientes por lixiviação, criando problemas potenciais de salinização e baixo rendimento das culturas (STONE, 2007) (Figura 3).

Figura 3 - Sistema de irrigação por sulcos e canais



Fonte: Pereira *et al.* (2010)

3.6.1.2 Irrigação por faixa

A água é aplicada em faixas de terra em geral com declividade longitudinal, separadas por diques ou taipas. A declividade transversal deve ser nula, uma vez que dessa forma haverá melhor distribuição de água. Esse método é bastante utilizado para irrigação de pastagens e para culturas que cobrem toda superfície do solo (MANTOVANI, 2006) (Figura 4).

Figura 4 - Sistema de irrigação por faixas



Fonte: Pereira *et al.* (2010)

3.6.1.3 Irrigação por inundação

Conforme Castro (2003), a irrigação por inundação consiste em inundar o solo com o efluente. Entre as vantagens estão a economia de energia, economia de mão de obra, e aproveitamento máximo da água da chuva. Contudo é o método com maior gasto de água, os terrenos propícios para esse tipo de irrigação apresentam declividade inferior a 2 % e as culturas devem ser tolerantes ao excesso de água.

3.6.2 Aspersão

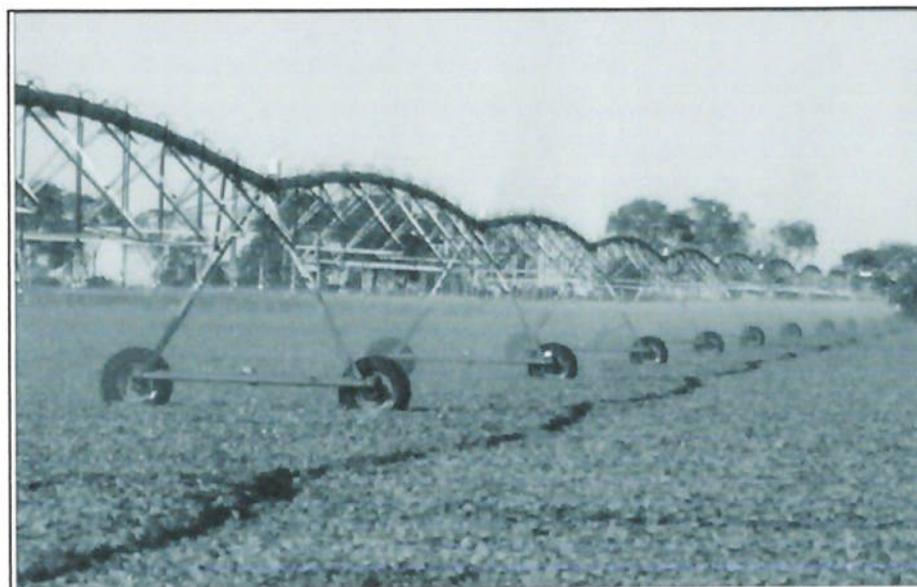
O sistema de irrigação por aspersão consiste na distribuição de água pelo terreno por meio de tubulações, seguida de pulverização no ar. O sistema apresenta vantagens como a não necessidade do preparo do terreno, a disponibilidade de maior área cultivável, o solo é menos propenso a erosão, não possui restrição quanto ao horário de aplicação e possui facilidade em relação ao controle do volume de água aplicado (BISCARO, 2009).

Ainda segundo Biscaro (2009), as desvantagens da aspersão estão relacionadas ao alto custo inicial, pois exige mão de obra especializada e manutenção do equipamento,

interferência dos ventos durante a aplicação, podendo ocasionar má distribuição da água, elevadas perdas por evaporação e possibilidade de eliminar produtos agrícolas como inseticidas e fungicidas. Além de gerar maus odores e provocar dispersão de patógenos.

De acordo com Mantovani (2006), o sistema de aspersão pode ser convencional, sendo este considerado um sistema básico, do qual derivaram todos os demais. Há também sistemas mecanizados, como o pivô central, o qual é composto por uma linha lateral suspensa por torres dotadas de rodas e motores que giram em volta de um determinado ponto (Figura 5). Outro tipo de aspersor é o canhão hidráulico, cuja função é aumentar o tamanho da área irrigada (Figura 6).

Figura 5 - Sistema de irrigação por Pivô Central



Fonte: Biscaro (2009)

Figura 6 - Sistema de irrigação por aspersor de impacto tipo canhão hidráulico



Fonte: Biscaro (2009)

3.6.3 Aplicação localizada

No sistema de irrigação localizada, a água é aplicada diretamente na região radicular com baixa vazão e alta frequência (MANTOVANI, 2006).

3.6.3.1 *Gotejamento*

A técnica de gotejamento dispõe da utilização de tubos com diâmetros inferiores a 25 mm, com furos ou dispositivos que admitem o gotejamento uniforme. Sua única desvantagem está relacionada ao entupimento dos orifícios, enquanto suas vantagens são redução do consumo de água, melhor uniformidade de distribuição de água e menor exposição do agricultor (RAINHO, 2011) (Figura 7).

Figura 7 - Sistema de irrigação por gotejamento



Fonte: Pereira *et al.* (2010)

3.6.3.2 Microaspersão

Os microaspersores são parecidos com os aspersores, no entanto, possuem tamanho reduzido e trabalham com baixas pressões e pequeno raio de alcance. Dessa maneira, possibilitam irrigar o solo, sem molhar a parte aérea da planta, reduzindo o risco de contaminação (TAVARES, 2007) (Figura 8).

Figura 8 - Sistema de irrigação por microaspersão



Fonte: Pereira *et al.* (2010)

A eficiência da irrigação depende de alguns condicionantes como o tipo de sistema utilizado, do estado de conservação e da presença ou ausência de ventos fortes (Tabela 14).

Tabela 14 - Eficiência média de irrigação em função do método

Método	Condicionante	Eficiência (%)
Sulcos	Sulcos longos e/ou solos arenosos	50
	Solos e comprimento de sulcos adequados	65
Inundação	Solo arenoso	40
	Solo argiloso	60
Aspersão convencional	Ventos fortes	60
	Ventos leves ou ausentes	75
Pivô central	Vento forte/condições razoáveis	75
	Em ótimas condições	90
Microaspersão	Condições razoáveis	75
	Em ótimas condições	90
Gotejamento	Condições razoáveis	85
	Em ótimas condições	95

Fonte: Engecorps (1998)

3.7 Legislações ambientais relativas ao tema

O Brasil não possui legislações específica para aplicação de água residuária no solo, uma vez que há somente recomendações da USEPA e da OMS já mencionadas anteriormente. Entretanto, países europeus como França, Dinamarca, Holanda, Áustria, Bélgica e Polônia, estabelecem limites para aplicação de nitrogênio e/ou fósforo, de modo que sua quantidade deve ser relacionada com a concentração disponível no solo e o tipo de cultura expressos na Tabela 15 (BATISTA, 2007).

Tabela 15 - Limites para aplicação de dejetos em países Europeus

País	Limite
França	Máximo de 170 Kg de nitrogênio total por hectare ao ano. Máximo de 43,8 kg de fósforo total por hectare ao ano.
Dinamarca	Máximo de 230 kg de nitrogênio total por hectare ao ano. Máximo de 250 kg de nitrogênio total por hectare ao ano.
Holanda	Máximo de 52,6 e 43,8 kg de fósforo total por hectare ao ano para pastagens e outras culturas, respectivamente.
Austria	Máximo de 230 kg de nitrogênio total por hectare ao ano.
Bélgica	Máximo de 250 e 170 kg de nitrogênio total por hectare ao ano para pastagens e outras culturas, respectivamente.
Polônia	Máximo de 170 kg de nitrogênio total por hectare ao ano.

Fonte: Batista (2007)

Apesar de não apresentar legislações específicas quanto à utilização de efluentes, há algumas legislações no Brasil, a nível federal e estadual, relacionadas ao lançamento de efluente, a valores de qualidade do solo e da água subterrânea.

As legislações federais alusivas à disposição de efluentes são basicamente a Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005). Além da Resolução CONAMA nº 430/2011, que também dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a Resolução CONAMA nº 357/2005. Em seu Art. 2º, abrange a disposição de efluentes no solo, que mesmo tratados, não poderão causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA nº 420/2009, alterada pela Resolução CONAMA nº 460/2013 dispõe sobre critérios e valores de qualidade do solo em relação à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas. De acordo com seu Art. 7º, a avaliação da qualidade de solo e da água subterrânea, quanto à presença de substâncias químicas, deve ser efetuada com base em Valores Orientadores de Referência de Qualidade (VRQ), que são utilizados para caracterizar a ocorrência natural de substâncias químicas, os Valores de Prevenção (VP) para indicar alterações da qualidade do solo que possam prejudicar sua funcionalidade e os Valores de

Investigação do solo e água subterrânea (VI) para definir ações de investigação e controle (BRASIL, 2013).

No que concerne às legislações estaduais, tem-se a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, a qual institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que determina as diretrizes para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas (MINAS GERAIS, 2010). A mesma também se baseia nos Valores Orientadores de Referência de Qualidade (VRQ), que serão definidos a nível estadual, e os Valores de Prevenção (VP) e de Investigação (VI), estabelecidos na própria legislação, sendo que em seu Art. 8º fica estabelecido que:

I - para os solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ não serão requeridas ações de gerenciamento;

II – para os solos com concentrações de no mínimo uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP, poderá ser requisitada uma avaliação a partir de dados existentes no órgão ambiental, com indicativos ou não de ações preventivas de controle;

III – para os solos com concentrações de no mínimo uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI, será requerida a identificação e controle das fontes potenciais de contaminação, a avaliação da ocorrência natural da substância e o monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea.

IV – para os solos e as águas subterrâneas que apresentam concentrações de no mínimo uma substância química maior que o VI, serão requeridas ações para o gerenciamento da área contaminada.

A Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº1/2008 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (MINAS GERAIS, 2008).

A Resolução CONAMA N ° 396/2008 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. As águas subterrâneas da Classe Especial deverão ter suas condições de qualidade naturais mantidas. Já para as águas subterrâneas classificadas como classes 1 a 4, são estabelecidos Limites de Quantificação Praticáveis (LQPs) conforme os Valores de Referência de Qualidade

(VRQ) que definem a qualidade natural da água subterrânea e os Valores Máximos Permitidos específico para cada uso da água subterrânea (BRASIL, 2008).

De acordo com o Art. 27 da Resolução CONAMA Nº 396/2008, a aplicação e disposição de efluentes e de resíduos no solo deverão seguir os critérios e exigências deliberados pelos órgãos competentes e não poderão conferir às águas subterrâneas características em desacordo com o seu enquadramento, não sendo permitidas nos casos em que as águas dos aquíferos estejam enquadradas na Classe Especial (BRASIL, 2008).

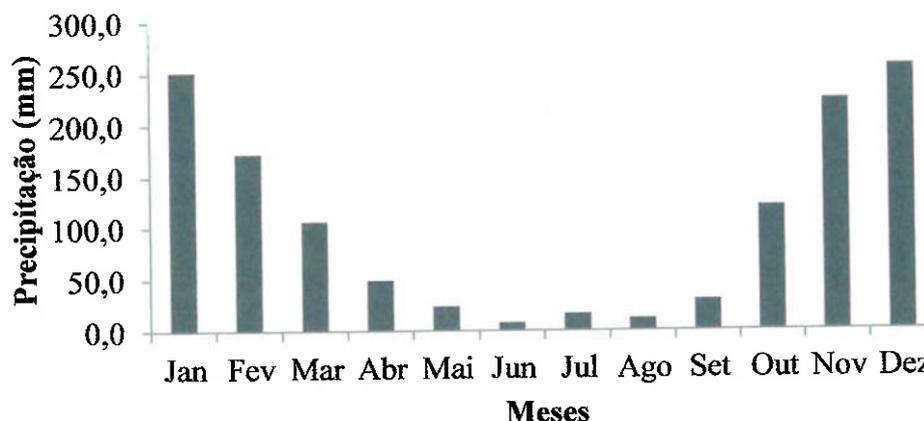
4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado na Granja Barreirinho, localizada nas coordenadas UTM, fuso 23k: X 581.000 Y 7.855.800, no município de Sete Lagoas (Minas Gerais). A fazenda ocupa área total de 133,6 ha, distribuída em pastagens (100,0 ha), cultivo de cana de açúcar (15,0ha), áreas de preservação permanente (6,5ha) e outras benfeitorias (12,1ha). O tipo de solo da propriedade é o latossolo vermelho (SUPRAM CM, 2009).

A região caracteriza-se por apresentar clima tropical semi-úmido, com duas estações bem definidas, representadas por inverno seco e verão chuvoso (SISEMA, 2013). O que pode ser verificado a partir de suas normais climatológicas (Figura 9).

Figura 9 - Normais Climatológicas para o município de Sete Lagoas: Precipitação Acumulada Mensal (1961-1990)



Fonte: Inmet (2017)

O bioma onde está inserido a propriedade é o Cerrado. Na hidrografia, destaca-se o Córrego Barreirinho, afluente do Rio das Velhas, Bacia do Rio São Francisco, de onde é retirada a água para irrigação. Além desta captação, a granja apresenta um poço tubular, o qual é utilizado para dessedentação animal e consumo humano (SUPRAM CM, 2009).

Segundo relatos do proprietário, a captação do poço funciona através de uma chave boia, que liga e desliga de acordo com o volume de água na caixa d'água central, da qual é distribuída para os locais de consumo. A água destinada ao consumo humano e dessedentação animal é armazenada em uma caixa d'água metálica com capacidade para 170 m³ e não passa por nenhum tratamento específico.

A propriedade destaca-se pela produção de suínos e criação de bovinos de corte (confinado e extensivo). A atividade de suinocultura é desenvolvida em sistema de confinamento total, abrangendo ciclo completo (maternidade, creche, cria, recria e setores de reprodução) (SUPRAM CM, 2009). Segundo o proprietário, a granja possui atualmente 6800 animais, distribuídos em 12 galpões.

Conforme o proprietário, no decorrer do processo operacional da granja suinícola, são gerados resíduos sólidos e efluentes líquidos. Com intuito de facilitar o gerenciamento desses resíduos, os mesmos são raspados e coletados por meio de ferramentas manuais (pás, enxadas), depositados em latões e colocados em carretinhas agrícolas (Figura 10), e em seguida, são destinados à compostagem. Posteriormente, o composto orgânico gerado do processo de compostagem é aproveitado como fertilizante orgânico em culturas agrícolas existentes na propriedade.

Figura 10 - Resíduos sólidos do processo produtivo da Granja Barreirinho

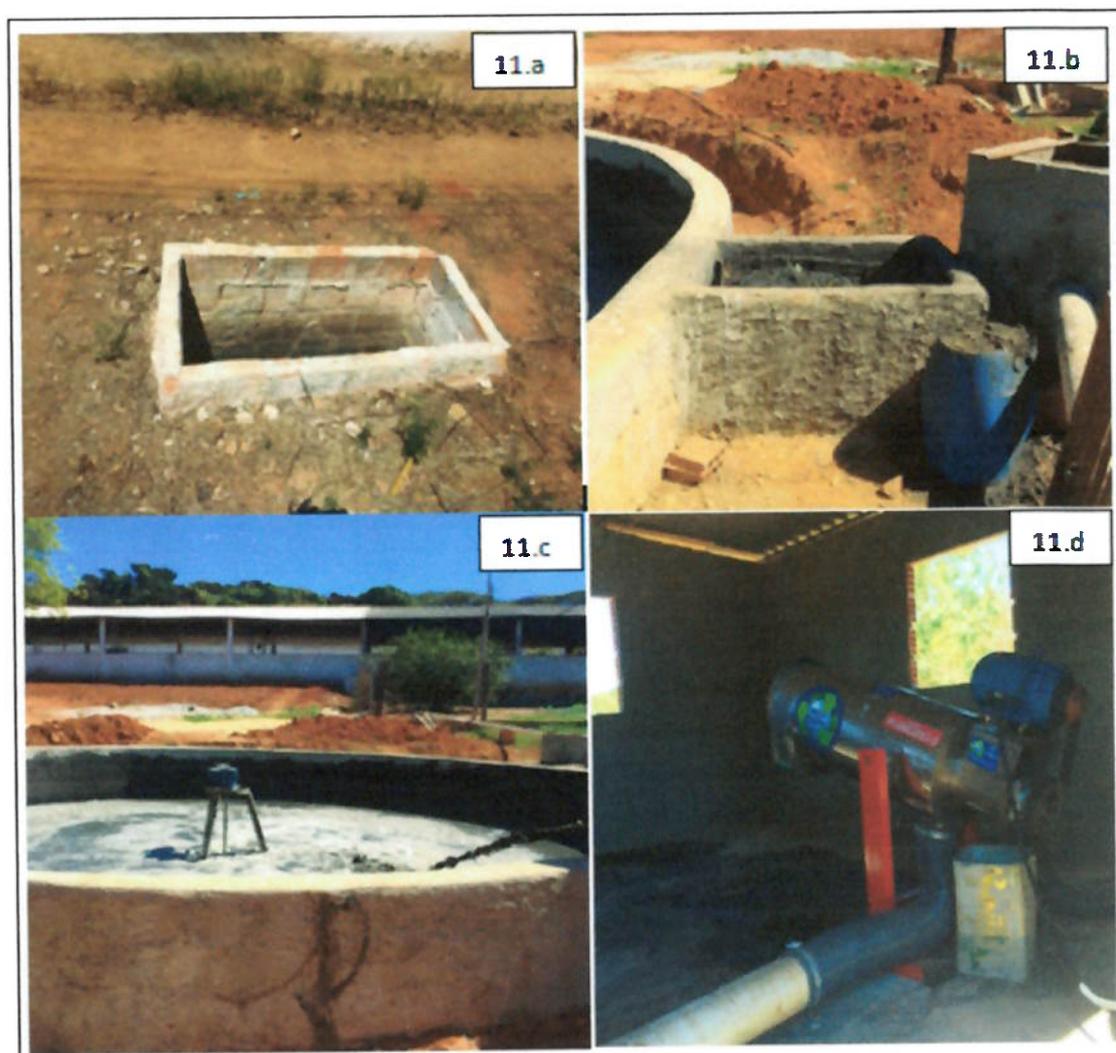


Fonte: Próprio autor (2016)

Os efluentes líquidos gerados na granja são coletados por meio de instalações hidráulicas convencionais, armazenadas em caixas coletoras, e direcionados ao sistema de tratamento, composto por uma grade, tanque de equalização e mistura, unidade de tratamento preliminar/primário (eco-filtro), unidade de tratamento primário/secundário (biodigestor), e então, os efluentes são coletados do biodigestor e armazenados em um tanque de alvenaria.

Em seguida, os efluentes são bombeados para uma lagoa de maturação, e posteriormente, aplicados no solo por um sistema de irrigação por aspersão utilizando canhões hidráulicos. Nas Figuras 11 e 12 são apresentadas imagens que ilustram o sistema de tratamento dos efluentes líquidos. As Figuras 13 e 14 representam a casa de bombas e a área fertirrigada, respectivamente.

Figura 11 - Caixa coletora do efluente líquido (a), gradeamento (b) tanque de equalização (c), eco-filtro (d) localizados na granja Barreirinho.



Fonte: Próprio autor (2016)

Figura 12 - Biodigestor (a), tanque de alvenaria (b), lagoa de maturação (c) localizados na Granja Barreirinho.



Fonte: Próprio autor (2016)

Figura 13 - Casa de bombas localizada na granja Barreirinho



Fonte: Próprio autor (2016).

Figura 14 - Área fertirrigada de pastagem na granja Barreirinho



Fonte: Próprio autor (2016).

Contudo, nem sempre o tratamento ocorreu dessa maneira. Conforme o proprietário, anteriormente, o efluente passava por um separador que retinha os sólidos grosseiros e em seguida, seguia para o tanque e para a lagoa, antes de ser utilizado na fertirrigação nas áreas de pastagens. Somente em 2006 foi instalado o biodigestor, com um tempo de retenção em torno de 28 dias, onde ocorre fermentação anaeróbica, com redução significativa de cargas orgânicas, bem como a captação e queima do gás metano.

Ainda de acordo com o proprietário, a granja passou por diversas mudanças no decorrer dos anos de 2015 e 2016 a fim de aumentar sua eficiência. Anteriormente o cocho era lavada quatro vezes por dia, e o gasto de água nesse processo era de 85 a 90 mil litros de água/dia, entretanto no final de 2015, os mesmos foram trocados por bebedouros tipo chupeta, reduzindo o consumo de água em aproximadamente 20 mil litro/dia.

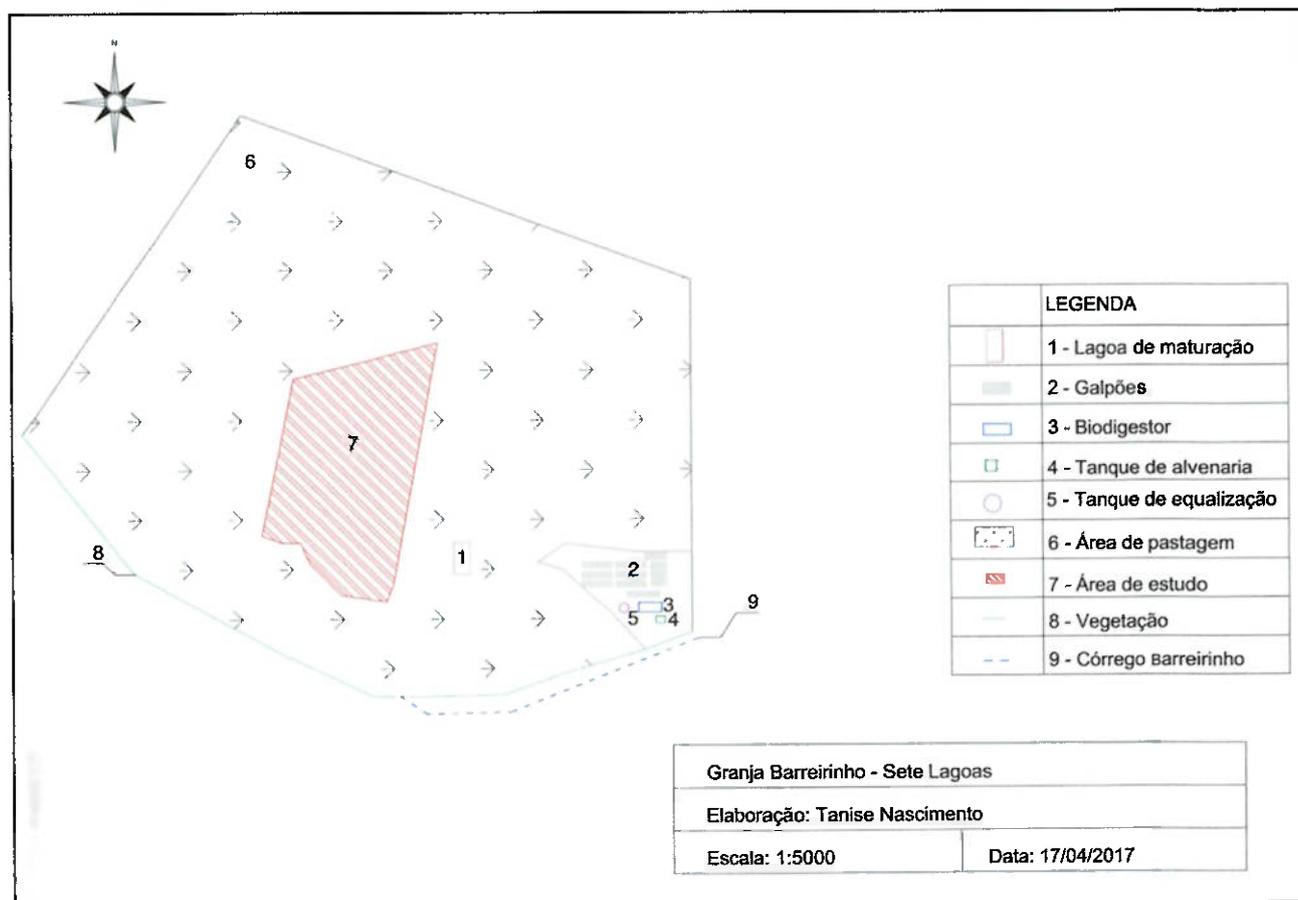
Com o intuito de reduzir o consumo de água, foram também instalados tanques para recolher a água da chuva que seria utilizada para abastecer a canaleta existente no fundo das baias. Também houve redução na incidência de lavação na creche, que anteriormente ocorria diariamente e passou a ser realizada em uma frequência de dois ou três dias. Dessa forma, o volume de água residuária também foi reduzido.

No que tange o tratamento, foi realizada a troca da lona superior de PEAD do biodigestor por uma de material mais flexível branco e foi adicionado o eco-filtro no decorrer do ano de 2016. O gás anteriormente queimado passou a ser utilizado no início de dezembro de 2016 para aquecer a creche.

Em relação ao sistema de irrigação, a mesma ocorre por meio de quatro canhões hidráulicos que aspergem dejetos líquidos em aproximadamente 2000 m² cada, com uma lâmina de 9 mm, aplicada uma vez a cada trinta dias. A bomba utilizada pelo sistema é da marca Thebe, com motor de 30 cv. A área total fertirrigada é de 50 ha e as culturas que recebem o efluente tratado são Capim Tanzânia, Capim Brachiaria Piatan e Capim Brachiaria Xaraes, sendo que nessa área é aplicado somente o efluente, não sendo aplicado adubo convencional. Além disso, são colocados seis a sete cabeças de bovino por ha na área de pasto.

Neste trabalho será realizado um estudo referente ao sistema de fertirrigação somente da região de pastagem de Capim Tanzânia, a qual corresponde a uma área de aproximadamente 15 ha. Dessa forma, pode-se observar na Figura 15, uma visão geral da propriedade e a demarcação da área de estudo.

Figura 15 - Visão geral da Granja Barreirinho



Fonte: Próprio autor (2017)

4.2 Diagnóstico da aplicação de efluentes no solo

4.2.1 Verificação dos dados fornecidos pelo proprietário em relação as legislações vigentes

Primeiramente, os dados das amostras fornecidas pelo proprietário, referentes ao efluente tratado (amostras do período seco e chuvoso de 2015) e ao solo (amostras anuais de 2006, 2007, 2009 e 2015) foram confrontados com as recomendações da USEPA, OMS, Resolução CONAMA nº 357/2005, alterada pela Resolução CONAMA nº 430/2011, Resolução CONAMA nº 420/2009, alterada pela Resolução CONAMA nº 460/2013, Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 02/2010 e Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/2008.

Segundo relatos do proprietário, esses dados são monitorados com a finalidade de cumprimento de condicionante, a qual se caracteriza pela necessidade de manter em operação o sistema de monitoramento do solo, com periodicidade anual, e do efluente da suinocultura,

com periodicidade semestral. Ressalta-se que essas análises foram realizadas pelo laboratório LIMNOS, localizado no centro de Vespasiano, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, o qual é acreditado pelo INMETRO.

4.2.2 Calculo da razão de adsorção de sódio (RAS)

Foi calculada a razão de adsorção de sódio, a partir dos dados fornecidos pelo proprietário, do efluente tratado tanto no período seco (junho) quanto no úmido (dezembro) de 2015, a fim de se verificar o risco de dispersão da argila no solo (Equação 1) (MATOS, 2007).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

em que,

RAS = razão de adsorção de sódio ((mmol L⁻¹)^{1/2});

Na⁺ = concentração de sódio da solução extraída do solo (mmol_c L⁻¹); e

Ca²⁺ + Mg²⁺ = concentração de Ca²⁺ + Mg²⁺ na água (mmol_c L⁻¹).

4.2.3 Determinação do elemento limitante e da taxa de aplicação de água residuária

Para se evitar a adição de nutrientes acima da capacidade de retenção do solo, Matos (2007) sugere que se equacione a dose do efluente a ser aplicado, tomando por base o nutriente cuja quantidade será satisfeita com a menor dose, a partir da Equação 2.

$$\text{Elemento referencial} = \frac{\text{Quantidade Absorvida pela cultura (kg. ha}^{-1}\text{)}}{\text{Concentração na água residuária (kg. m}^3\text{)}} \quad (2)$$

As quantidades absorvidas de N, P, K, Ca e Mg pela cultura de Capim Tanzânia (*Panicum maximu*) foram obtidas por meio da Tabela 16, considerando o rendimento médio de 23 t.ha⁻¹, visto que esse dado não foi fornecido pelo proprietário. Além disso, o valor máximo de sódio absorvido pela cultura foi considerado igual a 150 kg.ha⁻¹ (LARCHER, 2000). Já para a concentração na água residuária, foram utilizados os dados fornecidos pelo proprietário.

Tabela 16 - Remoção de nutrientes pela cultura do Capim Tanzânia

Cultura	Parte da planta	Rendimento (t.ha ⁻¹)	Remoção (kg.ha ⁻¹)				
			N	P	K	Ca	Mg
Guiné (<i>Panicum maximum</i>)	parte aérea	10	107	27	180	78	49
	parte aérea	23	288	44	363	149	99
	parte aérea	35	560	77	600	230	133

Fonte: Sanchez (1975).

Para a determinação da dose de aplicação da água residuária foi considerada a cultura de Capim Tanzânia e utilizada a Equação 3, desenvolvida por Matos (2007). Após a determinação da taxa, foi realizada uma comparação com o que é de fato aplicado pelo proprietário.

$$TA = \left[\frac{(N_{ABS} - N_{DISP-SOLO})}{N_{DISP-ARS}} \right] \quad (3)$$

Onde:

- TA = taxa de aplicação ou dose de aplicação (m³.ha⁻¹);
- N_{ABS} = absorção de N pela cultura para a obtenção da produtividade desejada (kg.ha⁻¹);
- N_{DISP-SOLO}: N aproveitável disponibilizado com a mineralização do material orgânico já contido no solo (kg.ha⁻¹) obtido através da Equação 4.

$$N_{Disp - Solo} = Tm_1 * MO * \rho_s * P * 10^7 * 0,05 * n/12 \quad (4)$$

Onde:

- Tm₁ = taxa anual de mineralização da matéria orgânica anteriormente existente no solo (0,01 kg.kg.kg⁻¹.ano⁻¹) (MATOS 2007);
- MO = conteúdo de MO orgânica do solo (Kg.Kg⁻¹) (Dado fornecido pelo proprietário);
- ρ_s = massa específica do solo (Latosolo vermelho) (t.m⁻³);
- P = profundidade do solo considerada (m), geralmente a camada orgânica se restringe aos primeiros 20 cm de solo;
- n/12 = fração do ano relativa ao período de cultivo (ano) (Será considerado o ano inteiro, portanto n=12).

- $N_{DISP-ARS}$ = N disponibilizado pelo resíduo em aplicações superficiais no solo ($mg.L^{-1}$), que pode ser calculado através da Equação 5.

$$N_{Disp} - ARS = Tm_2 * Norg + (Namon + Nnittrato) * TR \quad (5)$$

Onde:

- Tm_2 = taxa de mineralização do Norg ($kg.kg^{-1}.ano^{-1}$) para resíduos de suínos que varia com o tempo (Tabela 17).

Tabela 17 - Constante de decomposição anual de diferentes tipos de água residuária

Água residuária	Taxa anual de mineralização ($kg.kg^{-1}.ano^{-1}$)			
	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano
Galinha poedeira	0,90	0,10	0,05	0,05
Frango de corte	0,75	0,10	0,05	0,05
Suínos	0,90	0,10	0,04	0,03
Gado de leite (fresco)	0,50	0,15	0,05	0,05
Gado de corte (fresco)	0,75	0,15	0,10	0,05

Fonte: Loehr (1984)

- Norg = nitrogênio orgânico ($mg.L^{-1}$) (Dado fornecido pelo proprietário);
- Namon = nitrogênio amoniacal ($mg.L^{-1}$) (Dado fornecido pelo proprietário);
- Nnittrato = nitrogênio nítrato ($mg.L^{-1}$) (Dado fornecido pelo proprietário);
- TR = taxa de recuperação do N mineral pela cultura considerada igual a 0,7 $kg.kg^{-1}.ano^{-1}$ (MATOS, 2007).

Dessa forma, a taxa de aplicação foi calculada por meio da Equação 6.

$$TA = \frac{\left\{ 1000 * \left[N_{Abs} - \left(Tm_1 * MO * \rho_s * P * 10^7 * 0,05 * \frac{n}{12} \right) \right] \right\}}{[Tm_2 * Norg + (Namon + Nnittrato) * TR]}$$

(6)

Para calcular a taxa sucessiva a ser aplicada de água residuária em uma mesma área (período de 2015 a 2018), utilizou-se a Equação 7 e o software Excel.

$$TA = \frac{\left\{ 1000 * \left[N_{Abs} - \left(Tm_1 * MO * \rho_s * P * 10^7 * 0,05 * \frac{n}{12} \right) \right] \right\} * (1 - Tm_2Acum)}{[Tm_2 * N_{org} + (N_{amon} + N_{nitro}) * TR]} \quad (7)$$

Onde:

- Tm_2Acum : é a taxa de mineralização acumulada do resíduo ($kg\ kg^{-1}\ ano^{-1}$), que pode ser calculada pelas equações 8 e 9.

$$Tm_2Acum = \sum_{i=2}^n Res_{(i)} * Tm_{2(i)} \text{ para } i \text{ de } 2 \text{ a } 4 \quad (8)$$

$$Res_i = Res_{(i-1)} * [1 - Tm_{2(i-1)}] \text{ para } i \text{ de } 2 \text{ a } 4 \quad (9)$$

Em que:

- Res = Sobra do resíduo aplicado ($kg.kg^{-1}$)

4.2.4 Avaliação de fertilidade do solo

A avaliação da classe de fertilidade do solo da granja suinícola foi realizada seguindo a classificação da Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais (1999). Ainda que essa avaliação não considere o tipo de solo, o clima, a cultura e o manejo, a utilização destes critérios é capaz de diferenciar glebas que pertencem a diferentes classes de fertilidade do solo (CFSEMG, 1999).

É importante ressaltar que foi considerado para a classificação a análise da amostra de solo de 0 a 20 cm, uma vez que nessa camada se concentra o maior volume do sistema radicular da cultura de pastagem (CFSEMG, 1999). Dessa forma, houve a classificação dos macronutrientes, micronutrientes e também do pH do solo.

Em relação a metodologia de classificação, destaca-se que a análise do solo admite a determinação do grau de suficiência ou de deficiência da concentração de nutrientes no mesmo. Desse modo, o nível crítico foi definido como um valor que separa a zona de suficiência da zona de deficiência, uma vez que valores superiores a esse nível possuem probabilidade baixa de aumento na produção mesmo com acréscimo de nutrientes, enquanto que valores inferiores resultam em diminuição da taxa de crescimento, produção e qualidade da cultura (MARTINEZ, *et al.*, 2003).

4.2.4.1 Avaliação de fertilidade do solo em relação aos macronutrientes

A avaliação se deu pela classificação de fertilidade em muito baixa, baixa, média, boa e muito boa (Tabela 9), quanto a concentração de potássio disponível (K), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}), soma de bases (SB) (Equação 10), acidez potencial (H + Al), CTC a pH 7,0 (Equação 11) e saturação por bases (Equação 12) (CFSEMG, 1999).

$$SB = K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} \quad (10)$$

$$CTC_{\text{potencial}} = SB + (H + Al) \quad (11)$$

$$V = \frac{SB}{CTC_{\text{potencial}}} * 100 \quad (12)$$

Onde:

- SB = soma de bases ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$);
- K = concentração de K^+ ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$);
- Na = concentração de Na^+ ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$);
- $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ = concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$);
- H+Al = concentração de H+Al (acidez potencial) ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$);
- $CTC_{\text{Potencial}}$ = Capacidade de troca de cátions a pH = 7,0 ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$);
- V = saturação por bases (%);

Em relação ao fósforo, a classificação de fertilidade esta relacionada ao teor de argila no solo (Tabela 18).

Tabela 18 - Classes de interpretação para o fósforo

Característica	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
	------(mg.dm ⁻³)-----				
Argila (%)	Fósforo disponível (P)				
60-100	≤2,7	2,8-5,4	5,5-8,0*	8,1-12,0	>12,0
35-60	≤4,0	4,1-8,0	8,1-12,0	12,1-18,0	>18,0
15-35	≤6,6	6,7-12,0	12,1-20,0	20,1-30,0	>30,0
0-15	≤10,0	10,1-20,0	20,1-30,0	30,1-45,0	>45,0
P-rem (mg/L)	Potássio disponível (K)				
0-4	≤3,0	3,1- 4,3	4,4-6,0*	6,1- 9,0	>9,0
4-10	≤4,0	4,1-6,0	6,1- 8,3	8,4-12,5	>12,5
10-19	≤6,0	6,1-8,3	8,4-11,4	11,5-17,5	>17,5
19-30	≤8,0	8,1-11,4	11,5-15,8	15,9- 24,0	>24,0
30-44	≤11,0	11,1-15,8	15,9-21,8	21,9-33,0	>33,0
44-60	≤15,0	15,1-21,8	21,9-30,0	30,1-45,0	>45,0
	≤15	16-40	41-70*	71-120	>120

Fonte: CFSEMG (1999)

* O limite superior desta classe indica o nível crítico; P-rem = Fósforo remanescente.

4.2.4.2 Avaliação de fertilidade do solo em relação ao pH do solo

A avaliação do pH se deu pela classificação química e agrônômica do solo (Tabela 19).

Tabela 19 - Classes de interpretação para a acidez ativa do solo (pH)

Classificação química						
Ac. Muito elevada	Acidez elevada	Acidez média	Acidez fraca	Neutra	Alcalinidade fraca	Alcalinidade elevada
<4,5	4,5-5,0	5,1-6,0	6,1-6,9	7,0	7,1-7,8	>7,8
Classificação agrônômica*						
Muito baixo	Baixo	Bom	Alto	Muito alto		
<4,5	4,5-5,4	5,5-6,0	6,1-7,0	>7,0		

Fonte: CFSEMG (1999)

* A qualificação utilizada indica adequado (Bom) ou inadequado (muito baixo e baixo ou alto e muito alto).

4.2.4.3 Avaliação de fertilidade do solo em relação aos micronutrientes

Os micronutrientes ferro, manganês, cobre e zinco foram classificados de acordo com sua disponibilidade, nos níveis muito baixo, baixo, médio, bom e alto conforme a Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais (Tabela 20).

Tabela 20 - Classes de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes

Micronutriente	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio*	Bom	Alto
	----- (mg/dm ³)-----				
Zinco disponível (Zn)	≤0,4	0,5-0,9	1,0-1,5	1,6-2,2	>2,2
Manganês disponível (Mn)	≤2	3-5	6-8	9-12	>12
Ferro disponível (Fe)	≤8	9-18	19-30	31-45	>45
Cobre disponível (Cu)	≤0,3	0,4-0,7	0,8-1,2	1,3-1,8	>1,8
Boro disponível (B)	≤0,15	0,16-0,35	0,36-0,60	0,61-0,90	>0,90

Fonte: CFSEMG (1999)

* O limite superior desta classe indica o nível crítico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análises da caracterização da água residuária

Foram fornecidas pelo proprietário as análises físicas e químicas da água residuária de suinocultura, após passagem por biodigestor, dos meses de junho (período seco) e dezembro (período chuvoso) do ano de 2015 (Tabela 21 e Tabela 22).

Ao comparar os dados fornecidos pelo proprietário com as características físicas, químicas e bioquímicas geralmente apresentadas pela água residuária de suinocultura (Tabela 5), foi verificado que os valores obtidos por maior parte dos parâmetros analisados estavam dentro do esperado, excetuando-se as concentrações dos valores de potássio e sódio (superiores), e de ferro e sólidos sedimentáveis (inferiores). Entretanto, sabe-se que existe grande variação em relação à concentração desses elementos na água residuária, visto que a mesma está relacionada com diversos fatores, como por exemplo, o sistema de manejo realizado (DIESEL, 2002).

Tabela 21 - Parâmetros físico-químicos do efluente de granja suinícola tratado, em junho de 2015

Parâmetros Físico-Químicos	Unidade	Resultados
Cálcio	mg.L ⁻¹	245,99
Cobre Total	mg.L ⁻¹	4,22
DBO	mg.L ⁻¹	2085,31
DQO	mg.L ⁻¹	3140
Ferro Total	mg.L ⁻¹	25,96
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	99,69
Magnésio	mg.L ⁻¹	120,42
Manganês	mg.L ⁻¹	1,82
Matéria seca	g 100L ⁻¹	0,53
Nitrogênio (Total)	mg.L ⁻¹	1360
Óleos e graxas	mg.L ⁻¹	22,5
pH	-	7,58
Potássio	mg.L ⁻¹	993,85
Sódio	mg.L ⁻¹	436,24
Sólidos dissolvidos totais	g.L ⁻¹	7,44
Sólidos suspensos totais	mg.L ⁻¹	1685
Sólidos sedimentáveis	mL.L ⁻¹	2,5
Zinco total	mg.L ⁻¹	8,11

Fonte: Dados fornecidos pelo proprietário

Tabela 22 - Parâmetros físico químicos do efluente de granja suinícola tratado, em dezembro de 2015

Parâmetros Físico-Químicos	Unidade	Resultados
Cálcio	mg.L ⁻¹	151,16
Cobre Total	mg.L ⁻¹	1,08
DBO	mg.L ⁻¹	822
DQO	mg.L ⁻¹	1695
Ferro Total	mg.L ⁻¹	11,91
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	39,06
Magnésio	mg.L ⁻¹	58,02
Manganês	mg.L ⁻¹	0,4
Matéria seca	g 100L ⁻¹	0,16
Nitrogênio (Total)	mg.L ⁻¹	875
Óleos e graxas	mg.L ⁻¹	44,67
pH	-	8,1
Potássio	mg.L ⁻¹	593,75
Sódio	mg.L ⁻¹	448,28
Sólidos dissolvidos totais	g.L ⁻¹	5,58
Sólidos suspensos totais	mg.L ⁻¹	696,67
Sólidos sedimentáveis	mL.L ⁻¹	0,7
Zinco total	mg.L ⁻¹	2,42

Fonte: Dados fornecidos pelo proprietário

Ao analisar as Tabelas 21 e 22, foi possível constatar diminuição das concentrações da maior parte dos parâmetros analisados, excetuando-se óleos e graxas, pH e sódio, no mês de dezembro, o que pode estar relacionado à maior diluição das amostras no período chuvoso.

Ressalta-se que os valores encontrados de DBO (2085,31 e 822,14 mg.L⁻¹) e Sólidos Suspensos totais (1685 e 696,67 mg.L⁻¹) (Tabelas 21 e 22) estão acima das recomendações da USEPA (Tabela 9) para uso do esgoto sanitário em pastagens, uma vez que o efluente deve apresentar DBO e Sólidos Suspensos Totais iguais ou inferiores a 30 mg.L⁻¹. Destaca-se também que as análises fornecidas pelo proprietário não apresentam parâmetros biológicos, que são recomendados tanto pela USEPA quanto pela OMS, uma vez que o proprietário não realiza esse tipo de monitoramento.

As eficiências do tratamento referentes a remoção de DBO e DQO do efluente no ano de 2015 foram superiores a 85% (Tabelas 23 e 24). Dessa forma, encontram-se dentro do padrão estabelecido pela legislação, uma vez que a Resolução CONAMA 430/2011

recomenda que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor caso atinja remoção mínima de 60% de DBO, enquanto a Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº1/2008 exige redução de DBO em no mínimo 75% e média anual igual ou superior a 85% e tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 70% e média anual igual ou superior a 75%. Destaca-se que os valores encontrados para a eficiência de remoção foram muito próximos.

Tabela 23 - Eficiência de remoção de DBO no período seco e úmido de 2015

Período	DBO Efluente Bruto (mg.L ⁻¹)	DBO Efluente Tratado (mg.L ⁻¹)	Eficiência de remoção de DBO (%)
jun/15	17605,2	2085,31	88
dez/15	6922,51	822,14	88

Fonte: Dados fornecidos pelo proprietário

Tabela 24 - Eficiência de remoção de DQO no período seco e úmido de 2015

Período	DQO Efluente Bruto (mg.L ⁻¹)	DQO Efluente Tratado (mg.L ⁻¹)	Eficiência de remoção de DQO (%)
jun/15	26000	3140	88
dez/15	12700	1695	87

Fonte: Dados fornecidos pelo proprietário

A Resolução CONAMA 357/2005 e a Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº1/2008 estabelecem ainda limites para sólidos em amostras de água residuária. Para o parâmetro sólidos sedimentáveis, o resultado encontrado foi igual a 2,50 mL.L⁻¹ no mês de junho (Tabela 21), sendo o limite máximo de 1 mL.L⁻¹. Além disso, os resultados para sólidos suspensos em junho e dezembro (Tabelas 21 e 22) foram iguais a 1685,00 e 696,67 mg.L⁻¹, respectivamente, sendo esses valores superiores ao limite estabelecido de 100 mg.L⁻¹.

Dessa forma, foi possível observar, com bases nas Tabelas 21 e 22, problemas em relação aos sólidos suspensos e sedimentáveis nas amostras. Esses tipos de parâmetros podem ocasionar corrosão no equipamento, além de entupimento dos aspersores durante a aplicação da água residuária, via sistema de irrigação (SAMPAIO, 1999). Além disso, estudos observaram que o aumento da concentração de sólidos totais de águas residuárias é capaz de provocar redução na capacidade de infiltração do solo (OLIVEIRA, 2000). Todavia, de acordo com o proprietário, em 2016 foi instalada uma unidade de tratamento denominada eco-filtro, com intuito de diminuir a concentração de sólidos no efluente.

Foi encontrado na amostra de água residuária de junho (Tabela 21), concentração de 8,11 mg.L⁻¹ de zinco, sendo esse valor superior ao limite de 5 mg.L⁻¹ estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 e pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº1/2008. O zinco é um micronutriente essencial às plantas e sua falta provoca raquitismo, clorose e menor crescimento radicular (YOSHIDA; TANAKA, 1969). Entretanto, seu excesso torna-se tóxico e pode afetar diretamente o crescimento das plantas e a atividade fotossintética (CUYPERS, 2001). Dessa forma, esse elemento deve ser dosado corretamente na ração dos suínos.

Ressalta-se que os valores de pH encontrados nas amostras de água residuária foram 7,58 (junho) e 8,1 (dezembro) (Tabelas 21 e 22). De acordo com FAO (1992), os mesmos não constituem problema, pois encontram-se dentro da faixa de valores ideais, que varia entre 6,5 e 8,4.

5.2 Cálculo da razão de adsorção de sódio (RAS)

O cálculo da RAS é de grande importância, pois avalia o risco de dispersão de argila, de maneira que elevadas concentrações de Na⁺ na solução do solo em comparação com o Ca²⁺ e o Mg²⁺ podem deteriorar a estrutura do solo, por meio da dispersão dos colóides, seguido por entupimentos dos macroporos, resultando em decréscimo na permeabilidade à água e aos gases (ERTHAL, 2010). Dessa forma, calculou-se o valor da RAS tanto para o período seco (junho), quanto para o período chuvoso (dezembro) de 2015, utilizando os dados fornecidos pelo proprietário (Tabela 25) e a Equação 1.

Tabela 25 - Resultados da concentração de sódio, cálcio e magnésio

Parâmetros	Concentrações (mg L ⁻¹)	
	Período seco (2015)	Período úmido (2015)
Na	436,24	448,28
Ca	245,99	151,16
Mg	120,42	58,02

Fonte: Dados fornecidos pelo proprietário

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

Os resultados obtidos foram iguais a 5,68 e 7,83 ((mmol.L⁻¹)^{1/2}), respectivamente, para RAS no período seco e úmido.

Verificou-se, portanto, que o risco de dispersão de argila foi maior no período úmido de 2015 que no seco, o que pode ser explicado pelo fato de que com o aumento das chuvas, houve diluição da concentração de cálcio e magnésio, enquanto o sódio, pode ter tido aumento ocasionado por mudanças na alimentação e no tratamento sanitário dos animais (OLIVEIRA, 2000).

Almeida Neto (2007) realizou um estudo com três tipos de solos em Minas Gerais, entre eles o Latossolo Vermelho, e verificou que se a CE for elevada, ou seja, maior que 1500 µScm⁻¹ (o que geralmente ocorre em águas residuárias de criatórios animais), a dispersão de argila do solo será baixa, independentemente do valor da RAS. Contudo, a dispersão passa a ser muito alta se a RAS for maior que 18.

Tendo em vista as recomendações da Norma Técnica P4-002 da CETESB (2010), que trata sobre efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas, a razão de adsorção de sódio máxima permitida no efluente é 12, sendo que para efluentes com RAS entre 9 e 12, deve-se considerar o grau de tolerância ao sódio das espécies cultivadas.

Dessa forma, considerando que efluente é proveniente de águas residuárias de criatórios animais, e que portanto o mesmo deve apresentar valores de CE elevado, e além disso, considerando-se os valores encontrados para RAS iguais a 5,68 e 7,83 ((mmol.L⁻¹)^{1/2}), acredita-se que não há risco de dispersão de argila no solo da granja. Contudo, recomenda-se que o proprietário continue realizando o monitoramento da água residuária, visto que águas de suinocultura possuem uma grande variação em relação à concentração de elementos. É importante que seja realizada também análises de condutividade elétrica.

5.3 Determinação da taxa de aplicação da água residuária

A Equação 2, desenvolvida por Matos (2007), permite encontrar o elemento referencial para a cultura de Capim Tanzânia, a fim de se evitar a aplicação de nutrientes acima de sua capacidade de retenção.

$$\text{Elemento referencial} = \frac{\text{Quantidade Absorvida pela cultura (kg. ha}^{-1}\text{)}}{\text{Concentração na água residuária (kg. m}^3\text{)}} \quad (2)$$

As concentrações dos elementos na água residuária foram obtidas por meio das médias dos dados referentes a junho e dezembro de 2015 fornecidos pelo proprietário (Figuras 21 e 22). Já para a quantidade absorvida pela cultura, foi considerada a Tabela 16. Ressalta-se que o valor máximo de sódio absorvido pelas plantas foi considerado igual a 150 kg.ha⁻¹, conforme recomendado por Larcher (2000).

O resultado indica que a menor dose calculada foi a do nitrogênio (257,7 m³.ha⁻¹), portanto ele deve ser tomado como elemento referencial (Tabela 26).

Tabela 26 - Cálculo do elemento referencial do efluente proveniente de suinocultura

Elemento	QTDA absorvida pela cultura (kg.ha ⁻¹)	Média anual da concentração na água residuária (mg.L ⁻¹)	Dose (m ³ .ha ⁻¹)
N	288	1117,5	257,7
P	44	69,375	634,2
K	363	793,8	457,3
Ca	149	198,575	750,3
Mg	99	89,22	1490,9
Na	150	442,26	338,8

Fonte: Próprio autor (2017)

A determinação da taxa de aplicação de água residuária de suinocultura para fertirrigação de Capim Tanzânia, considerando o nitrogênio como nutriente referencial, foi obtida por meio da Equação 7.

$$TA = \frac{\left\{ 1000 * \left[N_{Abs} - \left(Tm_1 * MO * \rho_s * P * 10^7 * 0,05 * \frac{n}{12} \right) \right] \right\} * (1 - Tm_2Acum)}{[Tm_2 * Norg + (Namon + Nnitrito) * TR]} \quad (7)$$

Onde:

- N_{ABS} = absorção de N pela cultura de capim Tanzânia (*Panicum maximum*) igual a 288kg.ha⁻¹, considerando o rendimento médio de 23 t.ha⁻¹ (Tabela 16).
- Tm₁ = taxa anual de mineralização da matéria orgânica anteriormente existente no solo igual a 0,01 kg.kg⁻¹.ano⁻¹ (MATOS, 2007);
- MO = conteúdo de MO orgânica do solo igual a 0,0276 Kg.Kg⁻¹ (Dado fornecido pelo proprietário);

- ρ_s = massa específica do solo (Latossolo vermelho) igual a $1,2 \text{ (t.m}^{-3}\text{)}$ (Dado fornecido pelo proprietário);
- P = profundidade do solo considerada igual a $0,2 \text{ m}$ (MATOS, 2007);
- $n/12$ = fração do ano relativa ao período de cultivo igual a todo ano, ou seja, $n = 12$;
- Tm_2 = taxa de mineralização do Norg ($\text{kg.kg}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) para resíduos de suínos que varia com o tempo, sendo de acordo com Loehr (1984) (Tabela 17):

1° ano = $0,9 \text{ kg.kg}^{-1}.\text{ano}^{-1}$;

2° ano = $0,1 \text{ kg.kg}^{-1}.\text{ano}^{-1}$;

3° ano = $0,04 \text{ kg.kg}^{-1}.\text{ano}^{-1}$;

4° ano = $0,03 \text{ kg.kg}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Conforme Pena Naval (2005), o nitrogênio encontra-se presente em águas residuárias nas formas amoniacal, orgânica, de nitrito e nitrato, sendo que em águas residuárias domésticas, o nitrogênio amoniacal e o nitrogênio orgânico correspondem a aproximadamente 60 e 40%, respectivamente. Já o nitrito e o nitrato representam menos de 1% do nitrogênio total. Desse modo, essa proporção será considerada para o cálculo da taxa de aplicação, visto que nas análises fornecidas pelo proprietário foi apresentada apenas a concentração de nitrogênio total, portanto, tem-se que:

- Nitrogênio Total = $1117,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (Dado fornecido pelo proprietário em análise de 2015);
- Nitrogênio Org = 447 mg.L^{-1} (40% do nitrogênio total);
- Nitrogênio Amon = $670,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (60% do nitrogênio total);
- Nitrogênio Nitrato = 0 mg.L^{-1} (Irrelevante em relação ao nitrogênio orgânico e amoniacal);
- TR = taxa de recuperação do N mineral pela cultura considerada igual a $0,7 \text{ kg.kg}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (MATOS, 2007);
- Tm_{2Acum} = Taxa de mineralização acumulada do resíduo, que encontra-se na Tabela 27.

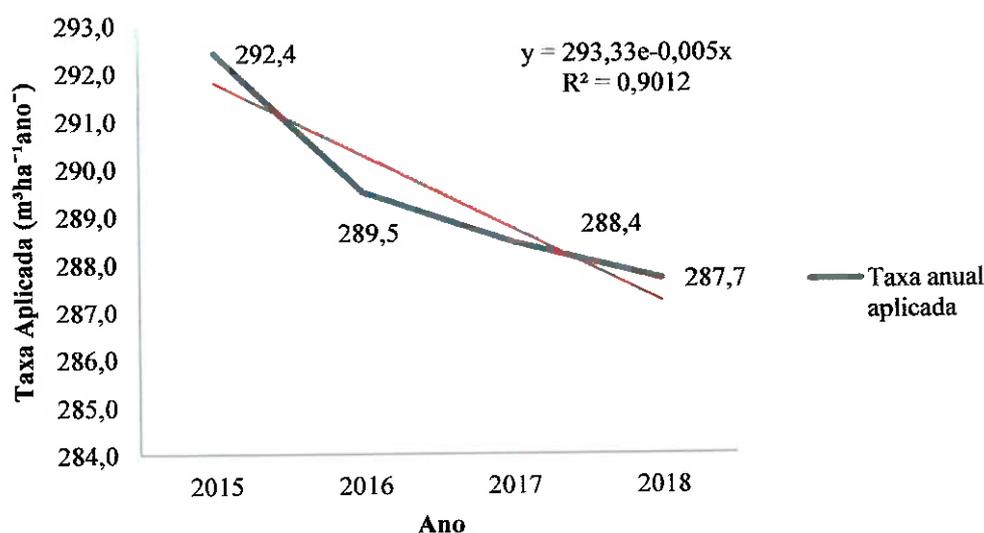
Tabela 27 - Aplicação sucessiva de água residuária de suinocultura em uma mesma área durante 4 anos

	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano
Taxa de degradação* (kg.kg ⁻¹ .ano ⁻¹)	0,9	0,1	0,04	0,03
Sobra do resíduo aplicado no primeiro ano (kg.kg ⁻¹)				
$Res_i = Res_{(i-1)} * [1 - Tm_{2(i-1)}]$	1	$1,0 \times (1-0,9) = 0,1$	$0,1 \times (1-0,1) = 0,09$	$0,09 * (1-0,04) = 0,0864$
$Tm_2 Acum (kg kg^{-1} ano^{-1})$				
$= \sum_{i=2}^n Res_{(i)} * Tm_{2(i)}$	0	$0,1 \times 0,1 = 0,01$	$(0,09 \times 0,04) + (0,1 \times 0,1) = 0,0136$	$(0,0864 \times 0,03) + (0,09 \times 0,04) + (0,1 \times 0,1) = 0,0162$

* Loehr (1984)

Dessa forma, obteve-se os valores das doses de aplicação de água residuária ao longo de quatro anos, sendo a dose encontrada para o ano de 2015 igual a 292,4 m³.ha⁻¹ e no ano de 2018, igual a 287,7 m³.ha⁻¹. Isso indica necessidade de diminuição nas taxas ao longo de sucessivas aplicações, uma vez que os nutrientes se acumulam no perfil do solo com o passar do tempo (Figura 16). Ressalta-se que no cálculo foram considerados o rendimento médio da cultura de Capim Tanzânia.

Figura 16 - Doses de aplicação sequenciadas calculada pelo método de Matos (2007)



Fonte: Próprio autor

Tendo em vista que a dose recomendada para o ano de 2015 seria igual a $292,4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e considerando a concentração de nitrogênio na água residuária igual a $1117,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, a carga indicada para aplicação de nitrogênio seria equivalente a $326,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Sabendo-se que o proprietário aplica uma lamina de 9 mm a cada 30 dias, o que corresponde a 108 mm/ano, e considerando a concentração média de nitrogênio igual a $1117,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, tem-se que a lamina aplicada de nitrogênio foi $1206,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ em 2015 (Apêndice A), ou seja, aproximadamente quatro vezes maior que a recomendada, considerando a cultura de Capim Tanzânia ($326,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$).

Dessa forma, o proprietário deve diminuir a dose de aplicação anual por meio da diminuição da frequência de aplicação, podendo ser aplicada uma lâmina de 9 mm a cada 4 meses, o que resultaria em uma aplicação anual igual a $301,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Apêndice B).

Diminuir a dose de aplicação é extremamente importante, visto que o nitrogênio na forma de nitrato, torna-se muito móvel, uma vez que não é adsorvido pelo solo, sendo repellido pelas cargas negativas, o que facilita sua lixiviação, ocasionando risco de contaminação da água subterrânea (MATOS, 2007).

A lixiviação de nitrato pode ocorrer quando o mesmo estiver presente em grandes quantidades no solo antes do plantio, caso a cultura não esteja utilizando esse nutriente com rapidez necessária ou quando a irrigação ou a chuva excederem a capacidade de retenção do solo e a necessidade de água pela cultura (OLIVEIRA, 1993).

Outro problema relacionado ao nitrogênio é a perda por erosão, uma vez que a maior parte deste nutriente encontra-se na superfície do solo, ou seja, na camada mais susceptível ao carreamento provocado por águas de escoamento superficial, sendo carreado para as partes topográficas mais baixas, como cursos d'águas, lagoas e reservatórios, resultando em contaminação (MATOS, 2007).

Alta concentração de nitrato em água potável pode ocasionar também danos à saúde humana, como a metahemoglobinemia, conhecida por síndrome do bebê azul, em crianças abaixo de três meses de idade, que se caracteriza por provocar redução dos níveis de oxigenação das células, podendo levar a criança a óbito, e câncer, especialmente o gástrico, em adultos (SILVA, 2009).

O excesso de nitrogênio pode ser prejudicial à planta, uma vez que provoca maior crescimento da parte aérea em relação ao sistema radicular, tornando a mesma suscetível ao déficit hídrico e a deficiência de nutrientes, sobretudo fósforo e potássio. Além disso, com o desenvolvimento foliar exagerado, o efeito positivo do nitrogênio na fotossíntese diminui pelo

sombreamento, o que pode potencializar o aparecimento de infecções por fungos (RAIJ, 1991; ENGELS; MARSCHENER, 1995; SALES, 2005).

5.4 Análises das amostras de solo

No que concerne aos ensaios de solo, os resultados encontrados (Tabela 28) foram comparados com a Resolução CONAMA 420/2009, alterada pela Resolução CONAMA 460/2013, que trata da qualidade do solo e com a Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG 02/2010, relacionada a áreas contaminadas. Contudo, puderam ser comparadas somente as concentrações de cobre e zinco, uma vez que os outros parâmetros não foram orientados pelas referidas normas.

Tabela 28 - Relatório de ensaio do solo após receber efluente tratado em 2006, 2007, 2009 e 2015

	0 a 20 cm				20 a 40 cm				40 a 60 cm			
	2006	2007	2009	2015	2006	2007	2009	2015	2006	2007	2009	2015
MO (dag.kg ⁻¹)	2,92	3,1	-	2,76	1,97	2,07	-	2,71	1,54	1,31	-	2,73
P (mg.dm ⁻³)	13	29	3,8	4,74	3	2	1,7	7,52	1	1	0,7	5,83
K (mg.dm ⁻³)	350	311	552	-	120	129	302	-	56	29	164	-
H+Al (cmolc.dm ⁻³)	5,09	3,1	3,7	-	9,48	4,22	3,06	-	6,5	3,31	3,1	-
Ca (cmolc.dm ⁻³)	3,7	5,22	3,02	11,8	1,59	0,51	1,26	11,1	0,9	1,57	0,74	10,85
Mg (cmolc.dm ⁻³)	1,23	1,5	1	-	0,54	0,16	0,49	-	0,22	0,4	0,32	-
Na (cmolc.dm ⁻³)	0,01	-	0,15	1,07	0,01	-	0,1	1,3	0,01	-	0,06	1,8
Cu (mg.dm ⁻³)	14,2	-	4,8	21,8	8,5	-	1,6	18,7	1,8	-	0,8	18,3
Zn (mg.dm ⁻³)	13,5	-	10,8	28,9	5,5	-	1,8	22,5	4	-	0,5	20,9
Mn (mg.dm ⁻³)	13	-	34,9	72,2	4,5	-	1,8	64,6	3,2	-	0,5	64,1
Fe (mg.dm ⁻³)	49,3	-	148,7	-	49	-	42,3	-	28,1	-	22,7	-
pH (mg.dm ⁻³)	5,3	5,6	6	5,66	5	5,6	5,9	5,8	4,9	5,6	5,5	5,47
Soma de bases (cmolc.dm ⁻³)*	5,84	-	5,59	-	2,45	-	2,62	-	1,27	-	1,54	-
CTC potencia (cmolc.dm ⁻³)*	10,93	-	9,29	-	11,93	-	5,68	-	7,77	-	4,64	-
V (%)*	53,42	-	60,15	-	20,52	-	46,17	-	16,38	-	33,20	-

Fonte: Dados fornecidos pelo proprietário

*Valores calculados pelo autor, com base nas equações 10, 11 e 12.

As maiores preocupações em relação aos metais pesados são o cobre (Cu) e o zinco (Zn), pois estes são utilizados como componentes das rações e na formulação de antibióticos de suínos, e embora sejam encontrados em baixas concentrações nos dejetos desses animais, aplicações com doses excessivas resultam em acúmulo no solo, ocasionando intoxicação as

plantas e aos demais níveis da cadeia alimentar por meio do consumo de carnes e águas contaminadas (SCHERER, 1996).

Considerando-se que os resultados das concentrações referentes ao cobre e ao zinco variaram entre 0,8 e 21,8 mg.dm⁻³ e 0,5 e 28,9 mg.dm⁻³ respectivamente (Tabela 28), foi possível concluir que o resultado está abaixo dos valores de prevenção recomendados pela Resolução CONAMA 420/2009 e Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG 02/2010, que são iguais a 60 mg.kg⁻¹ para o cobre e iguais a 300 mg.kg⁻¹ para o zinco.

Ao analisar o relatório de ensaio do solo (Tabela 28), foi possível verificar também que os níveis de potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) no solo aumentaram em todas as profundidades com a aplicação de águas residuárias da suinocultura de 2006 a 2015. Esse comportamento era esperado e foi encontrado também por Freitas *et al.* (2004), ao estudar o efeito de aplicação de águas residuárias sobre a produção do milho para silagem, em decorrência de aplicações contínuas de altas cargas de águas residuárias da suinocultura.

Desta forma, para evitar a adição de nutrientes em quantidades superiores às exigidas pelas culturas e, muitas vezes, até superiores a capacidade de retenção do solo, recomenda-se que o proprietário diminua a dose de aplicação de efluentes e realize aplicações baseadas na taxa calculada anteriormente neste trabalho.

Ressalta-se ainda que o relatório de ensaio do solo não apresentou valores da concentração de nitrogênio (Tabela 28), e tendo em vista sua importância relacionada a potencial contaminação da água subterrânea ocasionada pela lixiviação do nitrato, recomenda-se que o proprietário realize a análise desse parâmetro.

5.4.1 Avaliação de fertilidade do solo em relação ao pH do solo

Segundo a Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais (Tabela 19) a classificação química do solo analisado em relação ao pH variou entre acidez elevada (4,5 a 5) e acidez média (5,1 a 6). Já em relação a classificação agrônômica, o pH foi considerado baixo (4,5 a 5,4) e bom (5,5 a 6) (Tabela 28).

Ressalta-se conforme a Tabela 28, que o pH do solo, variou entre 4,9 a 6, por isso, o proprietário deve se atentar quanto ao risco de contaminação, realizando a correção do mesmo, uma vez que esse parâmetro influencia significativamente na dinâmica dos íons metálicos catiônicos, sendo estes mais móveis em condições de pH baixo (RIEUWERTS *et al.*, 2006).

Por outro lado, o aumento do pH no solo favorece a capacidade de adsorção dos metais e posterior precipitação, reduzindo a sua biodisponibilidade às plantas e diminuindo sua mobilidade no solo (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

O solo retém maior concentração de cobre e zinco entre o pH 7,0 e 8,7, diminuindo progressivamente as quantidades retidas à medida que o meio torna-se mais ácido. Entretanto, quando se reduz o pH do solo, esses metais são lixiviados e podem atingir o lençol freático e os corpos de águas superficiais (MATOS; SEDIYAMA, 1995).

A redução do pH aumenta também a solubilidade do alumínio, que solúvel provoca efeitos como redução do desenvolvimento do sistema radicular das plantas, resultando em raízes retorcidas com capacidade menor de absorção, o que desencadeia redução no desenvolvimento da parte aérea e compromete a produtividade da cultura (GONÇALVES, 2003).

5.4.2 Avaliação de fertilidade do solo em relação aos macronutrientes

A amostra de solo de 0 a 20 cm (Tabela 28) apresentou concentrações de matéria orgânica entre 3,1 (2007) e 2,76 (2015) (dag.kg^{-1}). Portanto, conforme a classificação da CFSEMG (Tabela 9), o solo apresenta-se com média fertilidade em relação a esse parâmetro.

Sabe-se que a elevação de matéria orgânica no solo é capaz de aumentar a condutividade hidráulica, diminuindo o risco de dispersão de argila, além de aumentar a capacidade de retenção de água e a porosidade do solo, sendo considerado um fator de suma importância (FELTON, 1992).

A amostra de solo de 0 a 20 cm (Tabela 28) apresentou concentrações de potássio variando de 0,79 (2007) a 1,41 (2009) $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. Segundo a classificação sugerida pela CFSEMG (Tabela 9), pode-se dizer que em relação ao potássio, todos os anos apresentaram solo de muito boa fertilidade. Ressalta-se que valores acima de 0,18 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ são considerados como nível crítico para esse elemento no solo.

Considerando-se a Tabela 28, pôde-se observar também que a concentração de potássio foi maior na camada mais superficial do solo, diminuindo com o aumento da profundidade. Este comportamento era previsto, uma vez que conforme SCHERER (2002), o potássio acumula-se nas camadas mais superficiais, pois é fortemente fixado e adsorvido pelas

partículas do solo, não apresentando grande mobilidade. Da mesma maneira, Silva *et al.* (2004), ao estudar o efeito da aplicação de dejetos suínos nas características de um solo cultivado com gramíneas, observou incrementos na concentração de potássio nas camadas superficiais.

Os valores encontrados para os conteúdos de Ca^{2+} e Mg^{2+} nas amostras de 0 a 20 cm de solo (Tabela 28) variaram entre 3,02 (2009) a 11,8 (2015) $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e de 1,23 (2006) a 1,5 (2007) $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ respectivamente. Pode-se dizer que esses solos podem ser classificados entre solos de boa (2009) e muito boa fertilidade (2015) em relação ao cálcio (Tabela 9). Para o elemento magnésio, o solo apresentou boa fertilidade conforme classificação sugerida pela CFSEMG (Tabela 9). Ressalta-se que valores superiores a 2,40 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para o cálcio e 0,90 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para o magnésio são considerados críticos.

O cálcio e o magnésio foram obtidos em maiores concentrações na camada de 0 a 20 cm (Tabela 28), uma vez que são retidos nas superfícies negativamente carregadas da argila e da matéria orgânica e são menos móveis no solo que o K^+ (CFSEMG,1999).

Os valores encontrados para a Soma de Bases (SB) (Tabela 28) para as amostras de solo de 0 a 20 cm calculada por meio da Equação 10, foram de 5,84 (2006) e 5,59 (2009) $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, respectivamente. Portanto, esse solo pode ser classificado como solo de boa fertilidade para esse parâmetro, conforme classificação sugerida pela CFSEMG (Tabela 9). Salienta-se que valores acima de 3,6 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ são considerados críticos.

$$SB = K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} \quad (10)$$

Para a acidez potencial (H+Al), o solo, na camada de 0 a 20 cm variou de 5,09 (2006) a 3,07 (2009) $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (Tabela 28) ou seja, pode ser classificado como média fertilidade (Tabela 9).

Já para o valor da CTC a pH 7,0, ou CTC potencial, que é calculado somando-se as bases e a acidez potencial (SB + (H+ Al)), o solo variou na camada de 0 a 20 cm de 10,93 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (2006) a 9,29 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (2009) (Tabela 28), sendo classificado nesse quesito como solo de boa fertilidade, conforme classificação sugerida pela CFSEMG (Tabela 9). Destaca-se que valores acima de 8,6 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ são considerados críticos.

A saturação por base calculada com base na Equação 12, foi 53,42% (2006) e 60,15% (2009) (Tabela 28), podendo ser classificada como média e boa respectivamente, conforme a classificação da CFSEMG (Tabela 9). Salienta-se que valores maiores a 60% são considerados críticos.

$$V = \frac{SB}{CTC_{potencial}} * 100 \quad (12)$$

Considerando a Tabela 28 em relação a concentração de fósforo, as amostras de solo de 0 a 20 cm ressaltaram que nos últimos anos avaliados, ou seja, 2009 e 2015, a concentração desse elemento foi 3,8 mg.dm⁻³ e 4,74 mg.dm⁻³, respectivamente. Considerando o teor de argila entre 35-60%, o solo pôde ser classificado como muito baixo (Tabela 18). Foi possível observar que houve uma diminuição da concentração de fósforo na camada superficial, enquanto que nas camadas mais profundas, observou-se um aumento entre os anos de 2006 a 2015.

A diminuição da concentração de fósforo na camada superficial, e o aumento nas camadas mais profundas não era esperado, visto que em geral, o mesmo se movimenta muito pouco na maioria dos solos, devido à adsorção e à precipitação do P com constituintes do solo (CFSEMG, 1999). Contudo, sua movimentação pode ter sido aumentada com a percolação de águas da chuva ou de irrigação e, além disso, grandes quantidades de fósforo adicionados ao solo podem ocasionar aumento da concentração em solução, estando sujeito a ser perdido por meio de lixiviação no perfil do solo ou por escoamento superficial (MATOS, 2007).

5.4.3 Avaliação de fertilidade do solo em relação aos micronutrientes

A amostra de solo de 0 a 20 cm (Tabela 28) apresentou concentrações de ferro, manganês, cobre e zinco variando de 49,3 (2006) a 148,7 (2009) mg.dm⁻³, 13 (2006) a 72,2 (2015) mg.dm⁻³, 4,8 (2009) a 21,8 (2015) mg.dm⁻³ e 10,8 (2009) a 28,9 (2015) mg.dm⁻³, respectivamente. Dessa maneira, segundo a classificação sugerida pela CFSEMG para interpretar a disponibilidade de micronutrientes na fertilidade do solo (Tabela 20), pode-se dizer que em relação aos micronutrientes, o nível é crítico, uma vez que as concentrações encontram-se superiores a classe média.

O ferro, manganês, zinco e cobre são micronutrientes que foram obtidos em maiores concentrações na camada de 0 a 20 cm (Tabela 28). Sabe-se que estes possuem baixa mobilidade no solo decorrente de adsorção não específica, específica à fração sólida ou à complexação (imobilização de íon em algum sítio de troca) e quelação (imobilização de íon em todos os sítios de troca) à matéria orgânica do solo, e por isso, se encontram concentrados na superfície (MATOS, 2007).

Entretanto, ainda que a mobilidade desses micronutrientes no solo seja baixa, o proprietário deve realizar ensaios de monitoramento da água do poço existente na propriedade para evitar contaminação.

5.5 Parâmetros microbiológicos

Enfatiza-se que o proprietário não realiza análises dos parâmetros microbiológicos da água residuária e do solo. Entretanto, sabe-se que o monitoramento microbiológico é de grande importância, visto que patógenos como vírus, bactérias, ovos de helmintos e protozoários presentes em águas residuárias, sem tratamento adequado, podem estar relacionados à transmissão de doenças para agricultores, pessoas que manipulam os produtos cultivados, moradores próximos ao campo de cultivo e animais expostos ao efluente (FEIGIN *et al.*, 1991). Dessa forma, é recomendado que o proprietário realize essas análises.

Tendo em consideração a questão sanitária do tratamento da água residuária realizado na granja, sabe-se que a digestão anaeróbia é capaz de reduzir significativamente os coliformes totais e de remover ovos de helmintos (AMARAL *et al.*, 2004).

Além disso, a lagoa de maturação tem como principal objetivo a remoção de organismos patogênicos, uma vez que o ambiente ideal para esses microrganismos estão relacionados a fatores como temperatura, insolação, pH, escassez de alimento, entre outros. Dessa forma, por apresentarem menor profundidade, essas lagoas favorecem a penetração da radiação solar e as condições ambientais desfavoráveis, ocasionando elevada mortalidade de bactérias e vírus. No caso de cistos de protozoários e ovos de helmintos, o mecanismo principal de remoção é a sedimentação (VON SPERLING, 2014).

Em relação à disposição no solo, este é considerado um meio capaz de inativar organismos patogênicos (PEREIRA *et al.*, 2014), uma vez que diversos mecanismos de ordem física (sedimentação, filtração, radiação, volatilização e desidratação), química (oxidação e reações de precipitação, adsorção, troca iônica e complexação) e biológica

(biodegradação e predação) operam na remoção de poluentes no solo (VON SPERLING, 2014).

Entretanto, deve-se frisar que a USEPA exige para irrigação de cultura de pastagem (Tabela 10) tratamento secundário e desinfecção, além de concentração de coliformes termotolerantes menor ou igual a 200/100 mL. Ressalta-se que lagoas de estabilização podem alcançar o critério de qualidade sem necessidade de desinfecção (USEPA, 2001).

Considerando-se a irrigação para atingir as diretrizes de reúso restrito (utilização de efluentes com restrições impostas às culturas a serem irrigadas e aos métodos de irrigação a serem empregados) e agricultura com baixo nível tecnológico e uso intensivo de mão de obra, resultando em elevada exposição, a OMS recomenda remoção de quatro unidades \log_{10} no tratamento, concentração de coliformes termotolerantes menor ou igual a $10^4/10\text{mL}$, além de concentração menor que 1 ovo de helminto L^{-1} (Tabela 13) (WHO, 2006a).

É recomendado também que o proprietário adote um conjunto de medidas mitigadoras que garantam o controle da exposição humana aos riscos de contaminação (MANCUSO, 2003). Dentre elas, tem-se:

- imunização dos operários contra febre tifóide e hepatite A e B;
- promoção de campanhas de educação sanitária para os operários;
- estimular padrões de higiene nos operários;
- exigir utilização de calçados e luvas apropriados por parte dos operários, a fim de reduzir a infecção por helminto;
- cessar a aplicação do efluente no mínimo duas semanas antes de liberar o gado no pasto, para evitar contaminação por cisticercose;
- manter uma distância mínima de 100 metros entre os campos irrigados e casas e estradas, a fim de proporcionar uma margem de segurança e minimizar problemas de odores.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

De posse das análises físico-químicas do efluente proveniente da produção de suínos da granja suinícola Barreirinho, foi possível constatar que o efluente não atende as recomendações da USEPA em relação à concentração de DBO e aos sólidos suspensos totais, nem ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 e pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG n°1/2008 no que tange a concentração de sólidos suspensos e sedimentáveis e zinco.

Entretanto, ao analisar a eficiência do tratamento em relação a remoção de DBO e DQO constatou-se que o efluente encontra-se dentro dos padrões estabelecido pela Resolução CONAMA 430/2011 e pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 1/2008, uma vez que o tratamento obteve eficiência de redução de DBO e DQO superior a 85%

No que se refere à concentração de sólidos o proprietário instalou uma unidade de tratamento denominada eco-filtro, com intuito de diminuir a concentração desse elemento no efluente. Em relação ao zinco, deverá ser realizada uma dosagem na ração dos animais, a fim de evitar contaminação.

Ressalta-se que não foi verificado, para as amostras de 2015, risco de dispersão de argila no solo e conseqüente diminuição da permeabilidade do solo, visto que os valores calculados baseados nas concentrações de sódio, magnésio e cálcio obtidos por meio da análise da água a ser aplicada, foram 5,68 ((mmol.L⁻¹)^{1/2} no período seco e 7,83 ((mmol.L⁻¹)^{1/2} no úmido em 2015. Contudo, sugere-se que o proprietário realize análises de condutividade elétrica, visto que esse fator também está relacionado ao risco de dispersão.

O elemento limitante quanto à aplicação de água residuária da granja suinícola na cultura de pastagem foi o nitrogênio e a taxa de aplicação de nitrogênio calculada para o ano de 2015 foi igual a 326,8 kg.ha⁻¹.ano⁻¹. Contudo, efetivamente foi aplicada uma taxa de 1206,9 kg.ha⁻¹. Desse modo, constatou-se que o proprietário tem aplicado uma taxa superior a absorção da cultura e, portanto deve diminuir a frequência de aplicações, ou seja, ao invés de aplicar uma vez por mês, recomenda-se que ocorram aplicações a cada quatro meses.

Além disso, verificou-se aumento nos níveis de potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) no solo em decorrência da aplicação em elevadas doses no decorrer dos anos analisados. Por outro lado, foram encontradas maiores disponibilidades desses nutrientes na camada superficial, indicando baixa mobilidade no solo.

Em relação à classificação da fertilidade do solo sugerida pela CFSEMG, a maioria dos parâmetros apresentaram nível crítico no solo, excetuando-se a matéria orgânica e a acidez potencial e a saturação por base (ano de 2006). Por outro lado, o fósforo apresentou baixa concentração na camada mais superficial e aumento nas camadas mais profundas, que pode ter ocorrido devido a sua lixiviação no perfil do solo.

Conclui-se, portanto que é necessária a realização da diminuição da dose anual aplicada, uma vez que os nutrientes em excesso nos efluentes, especialmente o nitrogênio e metais pesados, podem resultar em problemas ambientais, principalmente por sua lixiviação e a contaminação da água superficial.

O pH do solo apresentou variação entre 4,9 a 6. Dessa forma, o proprietário deve se atentar para o risco de contaminação, visto que o pH influencia na dinâmica dos íons metálicos no solo, de modo que valores baixos são capazes de tornar alguns íons mais móveis apresentando risco de contaminação das águas subterrâneas. Desse modo, ressalta-se que há necessidade de correção do pH.

Recomenda-se que o proprietário continue realizando análises do solo e passe a monitorar também a água subterrânea em sua propriedade, visto que a mesma é utilizada para o consumo humano sem nenhum tipo de tratamento. Destaca-se que deve haver um maior cuidado para a utilização desse tipo de água, uma vez que é recomendado pela Resolução CONAMA 357/2005 que mesmo a classe especial de água destinada ao abastecimento deve passar por desinfecção, além disso, a água para consumo deve estar em conformidade com o padrão de potabilidade expresso na Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. É aconselhável também realização de análises da concentração de nitrogênio no solo, visto sua importância em relação a possível contaminação por nitrato.

Por fim, adverte-se para a necessidade de monitoramento de parâmetros microbiológicos, uma vez que esses são recomendados pela OMS e pela USEPA e podem estar relacionados à transmissão de doenças aos trabalhadores que manipulam os produtos cultivados, moradores próximos a área de fertirrigação e animais expostos ao efluente.

Conclui-se que a fertirrigação é uma técnica que apresenta inúmeras vantagens como, por exemplo, controle de poluição e de impactos ambientais, economia de fertilizantes e aumento da produção agrícola. Contudo, a técnica deve ser adequadamente administrada e planejada a fim de que sejam minimizados os riscos de comprometimento da saúde pública, contaminação da água e do solo e aumento significativo de salinidade do solo.

Deve se ressaltar ainda a necessidade de que haja legislações, normas e leis específicas no país referentes ao reúso agrícola, direcionando valores limites de aplicação de efluentes, uma vez que essa técnica constitui um importante elemento de gestão dos recursos hídricos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA NETO, O. B. **Dispersão da argila e condutividade hidráulica em solos com diferentes mineralogias, lixiviados com soluções salino-sódicas**. 2007. 83 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. S.; MACHADO, M. R. F. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 6, p.1897-1902, Nov e Dez. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPM. **Relatório Anual de Atividades 2016**. Disponível em: <<http://abpa.br.com.br>>. Acesso em 27 ago. 2016.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande, PB, 1991. 218 p.

BATISTA, R. O. **Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento utilizado na aplicação de água residuária de suinocultura**. 2007. 146p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 7ª Edição. Viçosa – MG, Editora da Universidade Federal de Viçosa. 1995. 611 p. ISBN 85-7269-198-7.

BISCARO, G. A. **Sistemas de irrigação por aspersão**. Dourados, MS. Editora da UFGD, 2009.

BRANDÃO, V. S. **Tratamento de águas residuárias de suinocultura utilizando filtros orgânicos**. 1999. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em : 20 jul. 2016.

_____. Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Brasília, 2008. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em : 20 jul. 2016.

_____. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

_____. Resolução nº. 460, de 30 de dezembro de 2013. **Altera a Resolução CONAMA n o 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências.** Brasília, 2013. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br>>. Acesso em : 20 jul. 2016.

CASTRO, N. **Apostila de Irrigação (IPH 02 207)**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul-RS, Instituto de Pesquisa Hidráulica, 2003.

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª aproximação)**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1999. 359p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de água residuárias: tratamentos anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1997.

COELHO, A. M.; MARTINS, C. E. **Estado da arte da fertirrigação em pastagens no Brasil**. In: Simpósio Sobre Manejo da Pastagem, 21. 2004, Piracicaba. Fertilidade do solo para pastagens produtivas: anais. Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 401-424.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **NORMA TÉCNICA P4-002: Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas - Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. Maio de 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/servicos/normas-tecnicas-cetesb/normas-tecnicas-vigentes>>. Acesso em: 15 de março 2017.

CUYPERS, A.; VANGRONSVELD, J.; CLIJSTER, H. **The redox status of plant cells (AsA and GSH) is sensitive to zinc imposed oxidative stress in roots and primary leaves of Phaseolus vulgaris**. Plant Physiology and Biochemistry, Paris, V. 39, n. 8, p. 657-664, July/Aug. 2001.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMEERO, I. L. **Manejo de dejetos suínos**. Boletim informativo Embrapa, CNPSA, 31 p., Concórdia, 1998.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos de suínos**. Concórdia, SC: EMPRAPA - CNPSA/EMATER-RS, 2002. 31 p. (Boletim informativo, 14).

DUARTE, S. N.; DIAS, N. da S.; TELES FILHO, J. F. **Recuperação de um solo salinizado devido a excesso de fertilizantes em ambiente protegido**. Irriga, Botucatu, v.12, n.3, p.422-428. 2007.

ENGEORPS. **Manual de Outorga**. In: Relatório 210 – SRH-MAO-RT-006/98. Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente. Fundação Arthur Bernardes, Brasília, 1998.

ENGELS, C.; MARSCHENER, H. **Plant uptake and utilization of nitrogen**. In: BACON, E. P. Nitrogen fertilization in the environment. New York: Marcel Dekker, 1995, p.41-71.

ERTHAL, V.J.T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. D.; PEIREIRA, 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, PB, UAEA/UFCG, v.14, n.5, p.467-477, 2010.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Roma: FAO, 1992. 125p. Irrigation and Drainage, 47.

FEACHEM, R. G.; BRADLEY, D. J.; GANELICK, H.; MARA, D. D. **Sanitation and Disease - Health Aspects of Wastewater Management**. World Bank Studies in Water Supply and Sanitation 3, John Wiley & Sons, 1983.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Sources, treatment, processes and uses of sewage effluent. Irrigation with treated sewage effluent**. Berlin: Springer-Verlag, 224p. 1991.

FELTON, G. K. **Hydraulic parameter response to incorporated organic mater in the B-horizon**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.35, n. 4, p. 1153-1160, 1992

FERREIRA, P. A. **Manejo de água-planta em solos salinos**. Apostila da disciplina ENG 744 – Manejo de água-planta em solos salinos. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 122 p, 2008.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: PROSAB 4, ABES, 247 p, 2006.

FREITAS, W. D. S.; OLIVEIRA, R. A.; CECON, P. R.; PINTO, F. A.; GALVÃO, J. C. C.. **Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura em solo cultivado com milho**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 95-102, 2004.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biogestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na Região de Toledo-PR**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

GONÇALVES, R. F. **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismo patogênicos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquacultura e hidroponia**. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB, v. 3, 2003.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa da Pecuária Municipal**. 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2015/default.shtm>>. Acesso em 13 jan. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em 3 abr. 2017.

INOUE, K. R. A. **Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante obtido na digestão da manipueira**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Ed. Agronômica "CERES", 1985. 492 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p

LIMA, D. M. **Influência da mineralogia e da concentração de eletrólitos na dispersão da fração argila de latossolos**. 1992. 59f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1992.

LOEHR, R. C. **Pollution control for agriculture**. New York; Academic Press. 1984. 467p.

LO MONACO, P. A. **Influência da granulometria do material orgânico filtrante na eficiência de tratamento de águas residuárias**. 2001. 115 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2001.

MAIA, E. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. **Classificação da água utilizando quatro metodologias de cálculo para a razão de adsorção de sódio – II**. Região do Baixo Açu, Rio Grande do Norte. Revista Caatinga, v. 11, n. 1/2, p. 47-52, 2002.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. 1.ed. São Paulo: Manole, 2003. 576p.

MANTOVANI, E. C.; ZINATO, C. E.; SIMÃO, F. R. **Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da goiabeira**. UFV: Viçosa, 2006.

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; VENEGAS, V. H. A.;

GUIMARÃES, P. T. G. **Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais**. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, jun. 2003.

MATOS, A.T.; SEDIYAMA, M. A. N. **Riscos potenciais ao ambiente pela aplicação de dejetos líquido de suínos ou compostos orgânicos no solo**. Seminário Mineiro sobre Manejo e Utilização de Dejetos de Suínos, v. 1, p. 45-54, 1996.

MATOS, A. T. **Poluição e seus efeitos**. Brasília: ABEAS/DEA-UFV, 2001. 121 p. (Curso de Uso Racional de Recursos Naturais e seus Reflexos no Ambiente, Módulo 6).

_____. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa. Caderno Didático nº 38, Viçosa – MG. Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, 2007.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. **O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo.** Biossólidos na agricultura. São Paulo: SABESP, p. 289-363, 2001.

MINAS GERAIS. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL/CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS - COPAM/CERH. Deliberação Normativa nº 01 de 05 de maio de 2008. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências.** Minas Gerais. 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

_____. Deliberação Normativa nº 02 de 08 de setembro de 2010. **Institui o programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas.** Minas Gerais. 2010. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

NEADLER, A.; FRENKEL, H. **Determination of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity measurements by the four electrode method.** Soil Science Society Of American Journal, v. 44, n 5, p 1216- 1221, 1980.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. **Relação Solo-planta.** In: NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. 1ª Edição. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Capítulo 4, p. 151-205.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ABREU JUNIOR, C. H. **Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 4, p. 529-538, 2002.

OLIVEIRA, P. A. V. de. (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA. 188p. 1993.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Produção e aproveitamento do biogás.** In: OLIVEIRA, P. A. V. de *et al.* Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: Manual de boas práticas. Concórdia: Gestão Integrada de Ativos Ambientais, 2004. Cap. 4, p. 42-55.

OLIVEIRA, R. A.; CAMPELO, P.L.G.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M.A.; CECON, P.R. **Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico vermelho-amarelo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 2, p. 263-267, 2000.

PENA NAVAL, L.; CLEMENTE COUTO, T. I. **Remoção de nitrogênio amoniacal em efluentes de sistemas anaeróbios.** In: Congresso Regional, IV Región, 5. AIDIS Paraguay, 2005. p. 1-5.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A. **Sistemas de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003.

PEREIRA, L. S.; DE JUAN, J. A.; PICORNELL, M. R.; TARJUELO, J. M. **El riego e sus tecnologías**. Albacete: CREA-UCLM, 2010, 296p.

PEREIRA, M. S.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; AGUIAR, P. L. **Decaimento de Bactérias do Grupo Coliformes em Solos com Cobertura Vegetal e Nu**. Revista engenharia na agricultura, Viçosa, v. 22, n.6. p. 575-582, nov./dez. 2014.

QUEIROZ, F. M. **Avaliação de gramíneas forrageiras para o tratamento de águas residuárias de suinocultura**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2000.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronomica Ceres/Potafos, 1991, 343p.

RAINHO, J. **Pós-tratamento de Ete composta por Ralf e Lagoa de Polimento, empregando reservatório profundo de estabilização, visando a fertirrigação**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

RIEUWERTS J. S.; ASHMORE, M. R.; FARAGO, M. E.; THORNTON, I. **The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils**. Science of the total Environment, v.366, p.64-875, 2006.

RONQUIM, C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2010.

SALES, H. B. **Efeito do equilíbrio nutricional na severidade de doenças de plantas**. Divulgação técnica Manah, Ano 23, n. 168, 2005. Disponível em: <<http://www.manah.com.br/informativoAbril2005.asp>>. Acesso em: 04 mar. 2017.

SANCHEZ.P. A. **Properties and management of sols in the tropics**. New York:John Wiley and Sons. 1975, 618 p.

SAMPAIO, C. S. **Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo águas residuárias de bovinocultura e suinocultura**. 1999. 158f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

SANTOS, A. P. R. **Efeito da irrigação com efluentes de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim-tifton 85**. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SCHERER, E. E.; AITA, C.; BALDISSERA, I. T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região oeste catarinense para fins de utilização como fertilizante.** Florianópolis: Epagri, 1996. p 46.

SCHERER, E. E. Aproveitamento do esterco de suínos como fertilizante. **CURSO DE CAPACITAÇÃO EM PRÁTICAS AMBIENTAIS SUSTENTÁVEIS: treinamentos.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, p. 91-101, 2002.

SEGANFREDO, M. A. **A questão ambiental na utilização de dejetos de suínos como fertilizante do solo.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. 35p.

SGANZERLA, E. **Biodigestor: Uma solução.** Porto Alegre. Editora Agropecuária. 1983.
SILVA, A.A. *et al.* **Avaliação de atributos químicos do solo sob pastagem de *Brachiaria Decumbens* após aplicação de dejetos líquidos de suínos e fertilizantes minerais 2-Fósforo e Potássio.** In: X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Universidade do Vale do Paraíba. 2004, p. 2821-2824.

SILVA, A. C.; DOURADO, J. C.; KRUSCHE, A. V.; GOMES, B. M. **Impacto físico-químico da deposição de esgotos em fossas sobre as águas de aquífero freático em Ji-Paraná-RO.** REA: Revista de Estudos Ambientais, Blumenau, v. 11, n. 2, p. 101- 112, 2009.

SIQUEIRA, L. M. **Influência da taxa de carregamento orgânico na degradação anaeróbia da vinhaça em reator de leito fluidizado.** 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, 2008.

SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS – SISEMA. **Análise comparativa dos Planos Diretores de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Rio das Velhas e do Rio Pará com os Planos Diretores Municipais dos cinco municípios com condição crítica de qualidade de água destas bacias.** Belo Horizonte, dez. 2013. 117 p.

SOUZA, C. F.; JÚNIOR, J. L.; FERREIRA, W. P. M. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dos níveis de agitação do substrato - considerações sobre a partida.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.2, p. 530-539. 2005.

SOUZA, J. A. R. de. **Efeitos da fertirrigação com efluente do tratamento primário da água residuária da suinocultura no solo e na produtividade e qualidade do tomate.** 2009. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SPEIR, T. W.; SCHAİK, A. P. VAN; KETTLES, H. A.; VINCENT, K. W.; CAMPBELL, D. J. **Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land.** Journal of Environmental Quality, v.28, p.1105-1114, 1999.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. **Eficiência de irrigação: conceitos e avaliação.** 1. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2007.

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE MEIO AMBIENTE - CENTRAL METROPOLITANA - SUPRAM CM. **Parecer único 379/2009 SUPRAM CM.** Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/Robson/Velhas/14.7_pu_jose_arnaldo_cardoso.pdf>. Acesso em: 19 maio. 2017.

TAVARES, V. E. Q. **Sistemas de irrigação e manejo de água na produção de sementes.** 2007. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2007.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Guidelines for water reuse.** Washington DC: USEPA, 2004a.

_____. **National primary drinking water regulations.** Washington DC: USEPA, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION-WHO. **Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture.** Geneva: WHO, 1989 (Technical Report Series, 778).

_____. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.** Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO. 2006a. 213p

VAN RAIJ, B. **Propriedades eletroquímicas de solos.** In: Simpósio Avançado de Química e Fertilidade do Solo, Piracicaba, Fundação Cargil, p. 9-41, 1986.

_____. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba - São Paulo, 343 p, 1991.

VILLAS BOAS, R. L.; BOARETO, A. E.; VITTI, G. C. **Aspectos da fertirrigação.** In: VITTI, G.C.; BOARETO, A. E. (Coord.) Fertilizantes fluidos. Piracicaba: Potafôs, 1994. p. 284 - 308.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

YOSHIDA, S.; TANAKA, A. **Zinc deficiency of the rice plant in calcareous soils.** Soil Science & Plant Nutrition, Tokyo, v. 15, n. 2, p. 75-80, Apr. 1969.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil.** 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

APÊNDICE A – Memorial de cálculo da taxa aplicada de nitrogênio em 2015

Considerando que o proprietário realiza uma aplicação de água residuária igual a 9 mm a cada mês no solo, ou seja, 0,108 m por ano. Tem-se que:

$$Volume = Lâmina * Área$$

Onde:

Lâmina = 0,108 m;

Área = 1 ha = 10.000 m²;

Portanto:

$$Volume = 0,108 * 10.000 = 1080m^3 = 1080 * 10^3L$$

De acordo com dados fornecidos pelo proprietário, a concentração média de nitrogênio no ano de 2015 foi igual a 1117,5 mg/L.

Dessa forma, se em cada litro de água residuária existem 1117,5 mg de nitrogênio, logo, em 1080000 litros, há 1206,9 kg de nitrogênio.

Portanto, a taxa aplicada de nitrogênio em 2015 foi equivalente a 1206,9 kg.ha⁻¹.

APÊNDICE B – Memorial de cálculo da taxa recomendada para aplicação de nitrogênio no ano de 2015

Considerando que a taxa aplicada de nitrogênio no solo tem sido quatro vezes superior a taxa recomendada, sugeri-se que o proprietário diminua a lâmina de aplicação para 9 mm a cada quatro meses. Desse modo, será aplicada uma lâmina anual igual a 27 mm, ou seja, 0,027 m.

Sabe-se que:

$$Volume = Lâmina * Área$$

Onde:

Lâmina = 0,027 m;

Área = 1 ha = 10.000 m²;

Portanto:

$$Volume = 0,027 * 10.000 = 270m^3 = 270 * 10^3L$$

De acordo com dados fornecidos pelo proprietário, a concentração média de nitrogênio no ano de 2015 foi igual a 1117,5 mg/L.

Dessa forma, se em cada litro de água residuária há 1117,5 mg de nitrogênio, logo, em 270000 litros, há 301,72 kg de nitrogênio.

Portanto, a taxa recomendada para a aplicação de nitrogênio seria equivalente a 301,72 kg.ha⁻¹.