

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Juliana de Oliveira Kassis

**Caracterização quali-quantitativa do efluente agroindustrial: Estudo de caso na fazenda
Experimental da Embrapa**

Juiz de Fora
2019

Juliana de Oliveira Kassis

**Caracterização quali-quantitativa do efluente agroindustrial: Estudo de caso na fazenda
Experimental da Embrapa**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista. Área de concentração: Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Sue Ellen Costa Bottrel
Co-orientador: Marcelo Henrique Otênio

**Juiz de Fora
2019**

Juliana de Oliveira Kassis

**Caracterização quali-quantitativa do efluente agroindustrial: Estudo de caso na fazenda
Experimental da Embrapa**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista. Área de concentração: Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovada em (dia) de (mês) de (ano)

BANCA EXAMINADORA

Marcelo Henrique Otênio – Co-orientador

Embrapa Gado de Leite

Jonathas Batista Gonçalves Silva- Membro da Banca

Universidade Federal de Juiz de Fora

Renata de Oliveira Pereira- Membro da Banca

Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Após esses anos de batalha, de incerteza, de ansiedade, de preocupação e de muita dedicação todos os dias, chego ao final mais uma etapa na minha vida. E, toda essa conquista só foi possível com o apoio das seguintes pessoas, e a elas meu agradecimento:

Primeiramente a minha família, especialmente meus pais, Ana e Paulo, por sempre me apoiarem em todas minhas decisões, por sempre me incentivarem ao meu melhor, pelo carinho, amor e dedicação que vocês depositaram em mim sempre.

As minhas irmãs, Ana Paula e Mariana, pela paciência em todas semanas de provas e entregas de trabalho. Por aguentarem dos meus sorrisos as minhas lágrimas, e sempre me apoiarem em todas as decisões.

Aos meus amigos, em especial a Nayara, Daniel, Fernanda e Camila, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas. Obrigada por compartilharem junto a mim os momentos difíceis e principalmente os momentos de alegria, que não foram poucos! Tenho certeza, que com vocês, fizemos nossa jornada mais leve e prazerosa.

Aos professores do departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, por todo aprendizado transmitido e por contribuírem na minha formação profissional e pessoal.

Aos professores, especialmente a minha orientadora Sue Ellen, e ao professor Jonathas, pela confiança depositada em mim para a realização desse trabalho. Agradeço a vocês pelo apoio nos últimos meses, sem vocês não estaria aqui hoje.

A EMBRAPA, especialmente ao Marcelo Otênio e a Vanessa Romário, pela confiança conferida a mim para a realização do presente trabalho, e pela disponibilidade e apoio na confecção do mesmo.

“Não sou obrigado a vencer, mas tenho o dever de ser verdadeiro. Não sou obrigado a ter sucesso, mas tenho o dever de corresponder à luz que tenho”
(Abraham Lincoln)

RESUMO

A importância da agropecuária no PIB brasileiro, principalmente da pecuária, provocou um aumento na busca de maior produtividade nesse ramo. No setor leiteiro, visando a produtividade, foi realizado o confinamento total ou parcialmente do gado. Para a questão ambiental são estudadas formas de minimizar os impactos causados e técnicas de aproveitamento do resíduo gerado no confinamento, como o uso do biodigestor canadense, que possibilita aproveitamento do biogás e do biofertilizante gerados. O presente trabalho tem como objetivo a caracterização físico-química do efluente e da lagoa de armazenamento dos dejetos da pecuária bovina leiteira da fazenda experimental da Embrapa Gado de Leite, situada no município de Coronel Pacheco, Zona da Mata Mineira. Também será realizada, a quantificação do efluente gerado na lavagem hidráulica das pistas, onde há o confinamento dos animais, visando o cálculo da economia de água, proporcionado pela reutilização do líquido armazenado na lagoa. A caracterização qualitativa foi realizada semanalmente durante trinta dias da estação chuvosa e trinta dias da estação seca, analisando os parâmetros pH, DBO, DQO, condutividade, potássio, fósforo total, nitrogênio total e COT. Já na segunda caracterização, de caráter quantitativo, foi realizado o teste de vazão da bomba utilizada na lavagem das pistas. Com isso, o efluente estudado foi caracterizado como rico em material orgânico e nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio). Além disso, o efluente da lagoa de armazenamento apresentou possibilidades de uso como biofertilizante na prática da fertirrigação, gerando uma melhora nas características do solo, como por exemplo, aumento do pH, estruturação do solo, aumento da CTC, da porosidade e da retenção de nutrientes. Já, a partir da vazão da bomba, estimou-se uma economia de água, proporcionada pela recirculação, de 95,00% a 99,61%.

Palavras-chave: agroindustrial, dejetos, fertirrigação e reuso.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1- Foto do biodigestor modelo canadense alocado na Fazenda Experimental da Embrapa em Coronel Pacheco.....	14
Figura 4.1 Imagem de satélite do local específico do estudo. Os retângulos demarcam duas áreas distintas (a) currais e sala de ordenha e (b) sistema de tratamento.	20
Figura 4.2- Foto do curral da Genizinha da Fazenda Experimental da Embrapa- Gado do Leite.	21
Figura 4.3 - Pista rolamento e baia curral da Fazenda Experimental da Embrapa- Gado do Leite.	21
Figura 4.4- Sistema de tratamento preliminar.	22
Figura 4.5- Foto de parte do sistema de tratamento: biodigestor (ao fundo) e lagoa de armazenamento (à frente).	22
Figura 4.6- Modelo da planilha de monitoramento.	23
Figura 4.7- Representação do corte longitudinal da lagoa de armazenamento.	24
Figura 4.8- Especificação dos pontos de coleta no layout da estação de tratamento da ARB. (A) ponto de coleta anterior a entrada do biodigestor; (B) ponto de coleta na saída do biodigestor; (C) ponto de coleta na lagoa de armazenamento.	26
Figura 5.1- Fluxograma entrada de água externa. Legenda: círculos: entrada AP, quadrado: entrada AL, h: entrada água limpa, P: precipitação, l: lâmina precipitada.	28
Figura 5.2- Gráfico de box-plot dos valores pH obtidos durante o monitoramento nos períodos chuvosos (A) e seco (B) nos pontos amostrados.	30
Figura 5.3- Variação temporal da DBO (A) e da DQO (B) durante todo período de monitoramento (2018).	31
Figura 5.4- Gráfico de box-plot dos valores DBO obtidos durante o monitoramento das estações chuvosa (A) e seca (B) nos pontos amostrados.	32
Figura 5.5- Gráfico de box-plot dos valores DQO obtidos durante o monitoramento das estações chuvosa (A) e seca (B) nos pontos amostrados.	33
Figura 5.6- Gráfico de eficiência de remoção de DBO para o período avaliado.	34
Figura 5.7- Gráfico eficiência de remoção de DQO para o período avaliado.	34
Figura 5.8- Gráfico de barras da relação DQO/DBO, afluente e efluente ao biodigestor, em todas as amostras analisadas.	35
Figura 5.9- Gráfico de box-plot dos valores de Nitrogênio Total obtidos durante o monitoramento nos períodos de chuva e de seca nos pontos amostrados.	36
Figura 5.10- Gráfico de box-plot dos valores de Fósforo Total obtidos durante o monitoramento nos períodos de chuva (A) e de seca (B) nos pontos amostrados.	36
Figura 5.11- Gráfico de box-plot dos valores de Potássio obtidos durante o monitoramento nos períodos de chuva e de seca nos pontos amostrados.	37
Figura 5.12- Gráfico box-plot para valores de condutividade elétrica para as estações chuvosa e seca no período amostrado.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Produção e características de estrume de vacas leiteiras.....	12
Tabela 3.2 - Variação dos dejetos produzidos por vacas leiteiras.	13
Tabela 3.3 - Principais contaminantes do biogás.....	15
Tabela 3.4 - Diretrizes OMS para o uso de água residuária na irrigação.	16
Tabela 3.5 - Regulamentações de países para o uso de águas residuárias.....	17
Tabela 3.6 - Impactos ambientais da disposição de águas residuárias no solo.	18
Tabela 4.1 - Detalhamento das campanhas de coletas realizadas para caracterização físico-química do ARB.	25
Tabela 4.2 - Parâmetros caracterização físico-química.	26
Tabela 5.1 - Medidas do tempo obtidas no procedimento para determinação da vazão da bomba.	27
Tabela 5.2 - Entrada de água externa ao sistema.	27
Tabela 5.3 - Volume de entrada de água externa.....	28
Tabela 5.4 - Compilação de dados para determinação da economia de água.....	29
Tabela 5.5 - Lâmina recomendada aproximadamente do biofertilizante para as culturas do milho, cana-de-açúcar e capim elefante, para estação chuvosa e estação seca.	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1	CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES DA PECUÁRIA LEITEIRA.....	12
3.2	TRATAMENTO DE EFLUENTES DA PECUÁRIA LEITEIRA.....	13
3.2.1	BIODIGESTORES.....	13
3.3	REUSO DE EFLUENTES NA AGROPECUÁRIA E FERTIRRIGAÇÃO.....	15
3.3.1	INSTRUMENTOS LEGAIS PARA O USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	16
3.3.2	FERTIRRIGAÇÃO.....	18
4	METODOLOGIA.....	20
4.1	LOCAL DO ESTUDO.....	20
4.2	ECONOMIA DE ÁGUA.....	22
4.2.1	VAZÃO DA BOMBA.....	23
4.2.2	IDENTIFICAÇÃO DE ENTRADA DE ÁGUA EXTERNA.....	23
4.2.3	DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ENTRADA DE ÁGUA EXTERNA.....	24
4.2.4	DETERMINAÇÃO DA ECONOMIA DE ÁGUA NO SISTEMA.....	25
4.3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO- QUÍMICA.....	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.1	ECONOMIA DE ÁGUA.....	27
5.1.1	VAZÃO DA BOMBA.....	27
5.1.2	IDENTIFICAÇÃO DA ENTRADA EXTERNA.....	27
5.1.3	DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ENTRADA DE ÁGUA EXTERNA.....	28
5.1.4	ECONOMIA.....	28
5.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO- QUÍMICA.....	29
5.2.1	pH.....	29
5.2.2	DBO e DQO.....	31
5.2.3	RELAÇÃO DQO E DBO.....	35
5.2.4	NUTRIENTES.....	35
5.2.5	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	38
6	CONCLUSÃO.....	40
	REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o setor da agropecuária apresenta grande relevância para o crescimento da economia, devido a extensão do território brasileiro e ao clima do país, fatores que proporcionaram o aumento do agronegócio (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2019).

A agropecuária subdivide em agricultura e pecuária, a primeira está relacionada ao conjunto de técnicas utilizadas para cultivar plantas com o objetivo de obter produtos. Já a segunda, relaciona-se a criação de animais para corte ou para a produção de leite ou de outros produtos, subdividindo-se em bovinocultura, suinocultura, entres outros.

No Brasil, a bovinocultura apresenta destaque por apresentar o segundo maior rebanho bovino do mundo, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Em 2017, o país tinha 226 milhões de cabeça, o que corresponde a 22,64% do total mundial. O segundo lugar ocorre porque a Índia apresenta 303 milhões de animais (30,39% do total), porém seu rebanho não é destinado ao corte, por questão cultural (IBGE, 2019). Nesse mesmo ano, de acordo com o coordenador geral de Estudos e Análises do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, José Garcia Gasques, na pecuária há destaque para suínos e leite (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2019).

Esse destaque no setor leiteiro pode ser representado pela quinta posição do Brasil no ranking dos maiores produtores de leite do mundo, contando com um setor produtivo de 1,3 milhões de propriedades leiteiras distribuídas em todo território nacional (VILELA & RESENDE, 2014).

A partir desse crescimento e objetivando um ambiente melhor em termos de conforto térmico, para diminuir o estresse animal e, conseqüentemente, aumentar o seu bem-estar e sua capacidade produtiva, foi realizado o confinamento total ou parcial dos rebanhos (MOTA *et al.*, 2017).

No Brasil, especificamente, no setor leiteiro, nos anos 1980, a Embrapa Gado de Leite desenvolveu sistemas de produção de leite objetivando disponibilizar metodologias orientadas para a instalação e avaliação de modelos físicos como instrumento de pesquisa. Assim, cerca de 20 sistemas de produção de leite foram instalados nas cinco regiões fisiográficas do país. No início de 1990, a mesma empresa, instalou um modelo físico de sistema de produção, utilizando um rebanho de gado Holandês em confinamento total, em Coronel Pacheco (MG). Esse sistema contava com animais de alto potencial genético para produção de leite e confinados em galpões do tipo free-stall (MOTA *et al.*, 2017).

No confinamento parcial ou total, a concentração de dejetos produzidos pelos próprios animais se torna um problema para a disposição final, quando mal manejado, pois eles podem ser a principal fonte de poluição dos recursos hídricos, superando os índices industriais, consideradas, até então, causadoras da degradação ambiental (CAMPOS *et al.*, 2003).

Sabe-se que uma vaca elimina o equivalente a 9% do seu peso por dia, do eliminado, 60% são fezes com teor de água de 85% (OTÊNIO *et al.*, 2017). A partir da higienização dos galpões, que comportam os animais, é formado o efluente alvo de tratamento: água residuária da bovinocultura de leite. Esse rico em material orgânico, sólidos totais e nutrientes (RICARDO, 2016). Assim, torna-se necessário o tratamento e/ou a disposição adequada desses resíduos.

Algumas técnicas de tratamento de fácil operação e baixo custo são as lagoas de estabilização, biodigestores, Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendentes e de Manta de Lodo (UASB) e *wetlands* construídos. Para melhores eficiências na redução da carga orgânica do efluente é recomendada a conjugação das técnicas apresentadas (RICARDO, 2016). Somando a essas formas de tratamento, a utilização das águas residuárias em áreas agricultáveis se torna uma solução. Esse aproveitamento na fertirrigação de culturas agrícolas pode proporcionar o aumento da produtividade e qualidade dos produtos colhidos, redução da poluição ambiental e dos custos de produção, além de promover melhorias no solo, nas esferas química, física e biológica, quando realizado o uso correto (SILVA *et al.*, 2012).

Na Fazenda Experimental da Embrapa, localizada na cidade de Coronel Pacheco (MG), é empregado para o tratamento dos dejetos bovinos os biodigestores conjugados as lagoas de armazenamento. A primeira forma de tratamento envolve processos anaeróbios para reduzir a carga orgânica, produzindo o biofertilizante e o biogás. A partir da produção desse insumo agrícola pode-se reduzir a dependência do uso de fertilizantes químicos, resultando em uma economia na produção, além de benefícios ao solo (OTÊNIO *et al.*, 2018).

Nessa mesma fazenda, além de se fazer o reuso de águas residuárias, faz-se a recirculação da água da lagoa de armazenamento. Sendo que essa é empregada em limpezas menos exigentes (lavagem das pistas do curral), proporcionando uma gestão sustentável dos recursos hídricos. Com isso, há uma redução da demanda sobre os recursos hídricos, contribuindo para sua conservação (OTÊNIO *et al.*, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi a caracterização quali-quantitativa do efluente agroindustrial da Fazenda Experimental da Embrapa em Coronel Pacheco (MG), sendo esse do local em que há o confinamento parcial dos animais, além de quantificar a economia de água proporcionada pela reutilização da água da lagoa de armazenamento, que compõe o tratamento da água residuária do local.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Tratar os dados da caracterização físico-química.
- Realizar o cálculo da economia de água no sistema de recirculação da água de lavagem.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES DA PECUÁRIA LEITEIRA

Os dejetos gerados na criação de bovinos são caracterizados pelas altas concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio (OTÊNIO *et al.*, 2018). Nos sistemas de manejo extensivo, os resíduos são mais bem distribuídos no solo, quando há uma pequena concentração de animais nesse regime, e assim, a matéria orgânica sofre mineralização completa pela atividade biológica do solo, o que acarreta uma diminuição da contaminação do ambiente (CAMPOS *et al.*, 2003).

Já nos sistemas intensivos, os dejetos são gerados, diariamente, em grande quantidade em uma área reduzida. E, se lançados para o meio ambiente sem tratamento adequado, podem causar prejuízos ambientais, como a contaminação do solo, de águas superficiais e de lençóis freáticos (OTÊNIO *et al.*, 2018).

Além disso, se esses resíduos atingirem os cursos d'água, os prejuízos ambientais se tornam maiores devido, principalmente, a sua alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a presença relevante de nutrientes. O primeiro parâmetro impacta na redução do teor de oxigênio dissolvido na água, provocando a morte da biota aquática. Já os nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), estimulam o crescimento de algas, podendo acarretar a eutrofização dos corpos d'água (CAMPOS *et al.*, 2003).

Assim, torna-se necessário a quantificação desses resíduos produzidos. Porém, existem muitos fatores que podem afetar o volume e a composição dos dejetos (POHLMANN, 2000), como modelo de confinamento e seu regime, peso do animal, tipo de alimento consumido, quantidade de água ingerida e a estação do ano (CAMPOS *et al.*, 2003).

Através de estudos realizados por pesquisadores da Embrapa, mensurou-se que a produção diária de dejetos frescos (sólidos e líquidos), por animais de raças leiteiras, é da ordem de 8 a 11% do seu peso vivo. A produção e as características dos dejetos desses, em função da sua carga poluidora, encontra-se na Tabela 3.1 (CAMPOS *et al.*, 2003; OTÊNIO *et al.*, 2017).

Tabela 3.1 - Produção e características de estrume de vacas leiteiras.

Características	Vacas de leite
Peso vivo, kg	450
Dejeções (sólidas + líquidas), kg/dia	45
Quantidade por peso vivo, %	9-11
Matéria seca, %	10-12
DBO₅, g/dia	1350
DBO₅, g/L	17
Equivalente populacional	17,6
DQO, g/L	20
Sólidos em suspensão no esterco líquido, g/L	65

Fonte: CAMPOS *et al.*, 2003.

Na Tabela 3.2 estão compilados dados de caracterização, de acordo com vários estudos, dos dejetos produzidos por vacas leiteiras. Observa-se que pode haver grandes variações, que dependem da quantidade de matéria seca ingerida, concentração de nutrientes e da digestibilidade da dieta (POHLMANN, 2000).

Tabela 3.2- Variação dos dejetos produzidos por vacas leiteiras.

Unidade	mg/L	mg/L	Kg/dia ¹	mg/L
Parâmetro	Silva <i>et al.</i> (2012) ²	Mendonça (2017) ³	Van Horn <i>et al.</i> (1994) ⁴	Erthal <i>et al.</i> (2010) ⁵
pH	6,54	7,50	(-)	7,12
ST	16351	10954	(-)	13045
DQO	16802	10828	7	50487
DBO	2380	2822	1	(-)
Ntotal	2245	(-)	0,286	1162,99
P	89,35	(-)	0,06	289,25
K	102,33	(-)	0,184	507,92

Fonte: Autoria própria.

Legenda: 1- Peso dos animais estudados: 635kg, 2- Água residuária de bovinocultura de leite (ARB) do estábulo do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA)- Seropédica (RJ). 3- ARB da Embrapa de Coronel Pacheco (MG). 4- Estimativa diária de dejetos pela ASAE: American Society of Agricultural Engineers (Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas). 5- ARB do estábulo do Setor de Bovinocultura de Leite do Departamento de Zootecnia da UFV. (-) parâmetro não analisado.

A partir da observação dos dados da Tabela 3.2, no que se refere as características qualitativas da ARB, pode-se afirmar que esta é rica em material orgânico, sólidos totais e nutrientes, como nitrogênio e potássio (RICARDO, 2016).

3.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES DA PECUÁRIA LEITEIRA

Os efluentes orgânicos oriundos da bovinocultura leiteira confinada, quando lançados em corpos receptores, provocam alterações em suas esferas físicas, químicas e biológicas, oferecendo riscos à saúde pública e ao abastecimento. Assim, a produção intensiva enfrenta desafios para estabelecer o equilíbrio entre sua produção, a saúde e a sustentabilidade ambiental (SILVA & ROSTON, 2010).

Um dos passos para atingir esse equilíbrio é a implementação de sistemas de tratamento da água residuária formada no processo produtivo da bovinocultura. Há técnicas de tratamento de fácil operação e baixo custo, como os biodigestores.

3.2.1 BIODIGESTORES

Os biodigestores são reatores que viabilizam o processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica. Esses são caracterizados pelo regime de alimentação (batelada ou contínuo), forma de alimentação (ascendente ou laminar), concentração de sólidos no reator (digestão sólida, semissólida e úmida) e sistema de agitação (mistura completa, parcial ou sem mistura) (KUNZ, STEINMETZ, AMARAL, 2019).

O biodigestor é um sistema fechado em que é feita a degradação da matéria orgânica por ação microbiológica, que geralmente conta com um sistema de entrada da matéria orgânica, um tanque onde ocorre a digestão e um mecanismo de retirada de subprodutos (ROCHA, 2016), sendo esses, o biogás e o biofertilizante (CASTANHO & ARRUDA, 2008). Há três modelos de biodigestores sendo esses o indiano, o chinês e o canadense.

O biodigestor canadense (Figura 3.1), ou biodigestor de lagoa coberta (BLC) é um tanque escavado no solo, impermeabilizado e coberto com material geossintético (PVC, PEAD)

caracterizado pela baixa permeabilidade a fluídos e gases, e flexível para o acúmulo de biogás (KUNZ, STEINMETZ, AMARAL, 2019).

Figura 3.1- Foto do biodigestor modelo canadense alocado na Fazenda Experimental da Embrapa em Coronel Pacheco.



Fonte: Arquivo pessoal.

O BLC tem sido amplamente utilizado no meio rural no gerenciamento de efluentes oriundos da produção animal. Esse biodigestor é considerado de baixo nível tecnológico, apresentando facilidade na sua construção e operação (KUNZ, STEINMETZ, AMARAL, 2019).

Como citado anteriormente, dentro dos biodigestores ocorre o processo de digestão anaeróbia. Essa é um processo de degradação da matéria orgânica pela ação de microrganismos, na ausência de oxigênio. Assim, nesse processo, há produção de dois produtos de grande valor: o biogás (formado pela mistura dos gases metano e dióxido de carbono) e o biofertilizante. Esse, é um efluente líquido utilizado, geralmente, como um fertilizante, pois contém minerais e nutrientes essenciais para as plantas e para o solo na agricultura (RESENDE *et al.*, 2015).

O biogás é uma mistura gasosa, composta principalmente por CH_4 e CO_2 , com potencial combustível, que pode ser empregado na geração de energia elétrica. Essa fonte energética é considerada limpa e apropriada ao uso em propriedades rurais, reduzindo os seus custos de produção (CALZA *et al.*, 2015).

Para a determinação do potencial calorífico do biogás, deve-se analisar o seu grau de pureza e a concentração de metano. Dentre os principais contaminantes (Tabela 3.4) que podem afetar a capacidade energética do biogás, ressalta-se o sulfeto de hidrogênio (H_2S), o dióxido de carbono (CO_2) e a amônia (NH_3).

Tabela 3.3- Principais contaminantes do biogás.

Contaminante	Símbolo	Características
Sulfeto de hidrogênio	H ₂ S	Gás que confere mau odor, além de ser corrosivo e tóxico, o que pode promover corrosão nos tanques de armazenamento, tubulações metálicas e motores de combustão, resultando na deterioração da infraestrutura do biogás.
Dióxido de carbono	CO ₂	Interfere no potencial energético do biogás por ser inerte em termos de combustão e ocupar volume.
Amônia	NH ₃	Apresenta propriedades corrosivas e tóxicas.
Água	H ₂ O	Se essa não for removida, pode-se acumular nos dutos via processos de condensação, resultando em processos de corrosão e entupimento (em caso de congelamento).

Fonte: KUNZ, STEINMETZ, AMARAL (2019).

A partir dessa “impureza” do biogás, é preciso a implantação de tecnologias de tratamento deste para a geração de um combustível de qualidade, visando a conversão em energia elétrica, térmica e mecânica (KUNZ, STEINMETZ, AMARAL, 2019).

Ressalta-se que na utilização desses sistemas de tratamento (biodigestores), é necessário o recebimento do efluente praticamente livres de sólidos. Ou seja, torna-se imprescindível uma etapa de separação de fases, direcionando para o tratamento somente líquidos. O tratamento preliminar atende esses requisitos (PROBIOGÁS, 2015).

Com isso, pode-se inferir que os sistemas de biodigestão anaeróbia com geração de energia, principalmente a partir dos resíduos animais, apresentam-se como uma alternativa capaz de contribuir positivamente na busca por um desenvolvimento mais sustentável, já que são capazes de solucionar vários problemas: poluição ambiental, viabilização de empreendimentos econômicos em pequenas e médias propriedades rurais e geração de energia renovável (AIRES *et al.*, 2014).

3.3 REUSO DE EFLUENTES NA AGROPECUÁRIA E FERTIRRIGAÇÃO

A expansão das áreas urbanas, como a sua ocupação e adensamento populacional, juntamente com a falta de tratamento de esgotos e de efluentes industriais e agroindustriais, e o desperdício de água na irrigação agrícola gera maior competição pelo uso da água (BERTONCINI, 2008).

No Brasil, com a lei nº9433/1997, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos, que se baseia em fundamentos como a água é recurso natural limitado, dotado de valor econômico e a gestão do recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas. Assim, o uso eficiente da água com conhecimento adequado e a utilização de alternativas que otimizem o seu uso podem contribuir para uma gestão do recurso (FAGGION *et al.*, 2009). Existem diversas opções que atendem essa proposta, como o reuso da água em usos menos exigentes e o emprego na irrigação de culturas agrícolas.

No meio agropecuário, a água residuária é a água descartada após utilização em diversas etapas do processo produtivo. Nos sistemas de produção em confinamento, há uma grande utilização de água para limpeza do local. Com isso, a reutilização de águas residuárias deve ser considerada no planejamento e gestão sustentável dos recursos hídricos de uma propriedade rural, para limpeza e irrigação (OTÊNIO *et al.*, 2017).

Assim, segundo Otênio *et al.* (2017), em usos menos nobres pratica-se a reutilização, como por exemplo, na limpeza dos locais de confinamento, e nos usos mais exigentes, emprega-se água de boa qualidade. Com isso, há uma redução da demanda hídrica, economia do consumo de água e produção mais sustentável econômica e ambientalmente.

Como supracitado, o consumo de água para limpeza dos sistemas de confinamento, dependem do tipo de manejo empregado. Nos sistemas que utilizam o método *flush* para remoção dos dejetos, estima-se o consumo de 380L por vaca por dia, ou 70L por m² (POHLMANN, 2000). Outros estudos mostram que, na maioria dos sistemas de confinamento que possuem limpeza hidráulica dos pisos do curral, se consome de 200L a 250L por vaca por dia. E se implementado o sistema de reuso, pode-se ter uma economia de água de 82,5% a 86%, em relação aos processos que não utilizem essa técnica (OTÊNIO *et al.*, 2017)

3.3.1 INSTRUMENTOS LEGAIS PARA O USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA

Para uma utilização correta da água residuária para plantações deve-se ocorrer uma orientação da sua reutilização, visando uma gestão dos riscos que pode impactar a saúde e o meio ambiente. A Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2006, publicou um guia para garantir uma aplicação das águas residuárias na irrigação, seja feita de forma segura e que os riscos para saúde sejam mínimos (LAMARCA, 2018). As diretrizes apresentadas pela OMS de 2006 (Tabela 3.4) estipula a quantidade tolerável de dejetos presentes em águas residuárias no uso agrícola, ou seja, através de modelos matemáticos estimasse a carga máxima aceitável para que não ocorra transmissão de doenças.

Tabela 3.4- Diretrizes OMS para o uso de água residuária na irrigação.

Categoria	Condições de reuso	Grupo exposto	Nematoide intestinais (Nº de ovos/Litros)	Coliformes de fecais (Nº/100mL)	Tratamento requerido
A	Irrigação de alimentos de consumo crus	Trabalhadores e consumidores	≤1	≤1000	Lagoas de estabilização em série
B	Irrigação de cereais, alimentos e industrializados	Trabalhadores	≤1	Sem padrão recomendado	Retenção em lagoas de estabilização de 8 a 10 dias
C	Irrigação localizada na categoria B e que não haja exposição dos trabalhadores	Nenhum	Sem aplicação	Sem aplicação	Pré-tratamento requerido pela tecnologia empregada na irrigação, com sedimentação primária

Fonte: LAMARCA (2018).

No Brasil, já é empregado o reuso de águas residuárias para fins agrícolas, porém a legislação para essa prática é deficiente, existindo poucos estudos de utilização dessa água de forma segura. Assim, não há controle adequado de impactos ambientais e de saúde pública, podendo expor as pessoas a riscos.

A Resolução CONAMA 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, mas não estabelece critérios para o reuso. A Resolução nº 54/2005 do CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos), estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, tratando esse mecanismo como um exercício racional e de contribuição para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Além desses instrumentos legais, no Brasil, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), em 2006, lançou a Instrução Técnica nº31, que define procedimentos internos e critérios mínimos para disciplinar o reuso de água proveniente de estação de tratamento de esgoto sanitário.

Porém, além do Brasil, muitos países apresentam legislações sobre reuso inexistente, muito branda ou muito restritiva. Faltam estudos que evidenciam quais as taxas seguras de aplicação da água residuária para cada cultura e os danos reais que cada contaminante podem ocasionar ao sistema solo-água-planta (LAMARCA, 2018). Algumas regulamentações de países encontram-se na Tabela 3.5:

Tabela 3.5- Regulamentações de países para o uso de águas residuárias.

Países	Regulamento	Aplicação da água residuária	Critérios e/ou Padrões
França	Artigo 24-Decreto 94/469, 3 de junho de 1994 Circular DGS/SDI.D/ 91/ nº 51	Irrigação	Ambos se referem à reutilização de águas residuais tratadas fins agrícolas; segue a OMS / 1989, com a adição de restrições para técnicas de irrigação e distâncias entre locais de irrigação e áreas residenciais e estradas
Israel	Regulamento pelo ministério da saúde	Irrigação irrestrita	Há critérios e padrões para 4 tipos diferentes de cultura
Itália	Decreto do meio ambiente 185/2003	Agricultura, uso urbano não potável e uso industrial	Possibilidade de as autoridades regionais adicione alguns parâmetros ou implemente mais normas regionais
Jordânia	Base técnica Jordânia nº893/2006	Irrigação e recargas artificial de aquíferos para uso não potável	Os parâmetros incluem uma variedade de constituintes químicos, propriedades físicas e constituintes microbianos. Proposta semelhante aos regulamentos da OMS
Espanha	Lei 29/1985 Decreto real 2473/1985	Proposta com 14 diferentes tipos de uso	Nenhuma regulamentação específica seguida, embora o reuso possa ser feito

Fonte: LAMARCA (2018).

3.3.2 FERTIRRIGAÇÃO

A técnica de fertirrigação é um procedimento de disposição/ tratamento em que se prioriza os nutrientes contidos no efluente, objetivando fornecer água residuária em quantidades compatíveis com a necessidade de nutrientes para as culturas. Para determinar a taxa de aplicação de ARB é necessário quantificar a disponibilidade dos nutrientes no solo, a exigência da cultura e ainda a concentração dos nutrientes nos resíduos. Essas doses aplicadas podem ser definidas através da concentração de nitrogênio, já que este é o constituinte encontrado em maiores concentrações relativas nos efluentes provenientes da criação de animais (RICARDO, 2016).

Com isso, a disposição de águas residuárias no sistema solo-planta, quando realizada sem critérios ambientais e agrônomos, pode impactar o meio ambiente, através da contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e toxicidade as plantas. Porém, se ocorrer o manejo corretamente, a aplicação pode proporcionar benefícios, como fonte de nutrientes e água para as plantas, diminuição da dependência do uso em fertilizantes químicos e, conseqüentemente, do seu potencial poluidor (Tabela 3.6) (ERTHAL, *et al.*, 2010).

Tabela 3.6- Impactos ambientais da disposição de águas residuárias no solo.

Impactos positivos	Impactos negativos
Porosidade do solo	Selamento superficial (aplicação em taxas e frequências inadequadas)
Estruturação e estabilização do solo	Risco de contaminação de águas superficiais
Fonte de nutrientes	Salinização do solo (relacionada a sólidos dissolvidos)
Neutralização de substâncias tóxicas	Contaminação do solo com agentes patogênicos
Efeitos sobre características físico-química e biológicas do solo	

Fonte: MATOS (2007).

E para se fazer o uso adequado na fertirrigação, segundo Silva *et al.* (2012), é necessário ter sua caracterização físico-química para supor o comportamento do efluente no solo, nas culturas e, até se ocorreu um tratamento e/ou disposição final adequada. Por exemplo, quantificar o pH (potencial de hidrogênio) no efluente que será usado na fertirrigação é conhecer um indicador de qualidade do solo e do desenvolvimento dos vegetais superiores. Ou seja, o pH influencia na solubilidade, a concentração em solução e a forma iônica dos nutrientes e, assim, sua absorção e utilização pelas plantas. Portanto, o pH tem influência direta na produção agrícola (SILVA *et al.*, 2012).

A taxa de aplicação de água residuária na fertirrigação deve ser determinada adotando-se uma ou mais variáveis constituintes do efluente como referencial. Segundo Freitas *et al.*, (2005), as taxas de aplicação de águas residuárias usadas na produção agrícola devem ser suficientes para suprir, adequadamente, a demanda das plantas por nutrientes. De acordo com Matos (2007) os teores de nitrogênio, salinidade, elementos fitotóxicos e metais pesados poderão ser utilizados como referenciais.

Há vários critérios para a classificação da água de irrigação. No modelo apresentado por Ayers e Westcot, a água é classificada quanto ao grau de restrição de uso em: sem restrição ao uso,

com restrição variando de baixa a moderada e com restrição severa. Os principais parâmetros avaliados são: salinidade da água, tendo em vista que esta afeta a disponibilidade de água para a cultura; e a razão de adsorção de sódio – RAS que, conjuntamente com a salinidade da água de irrigação, influencia a taxa de infiltração de água no solo e a toxicidade de íons específicos como Na^+ , Cl^- , B^{3+} , os quais podem afetar o rendimento das culturas mais sensíveis (Freitas et al., 2005).

Após a caracterização da água residuária, é necessário caracterizar o solo, no local de implantação da cultura agrícola, e a determinação da dosagem de ARB que substituirá parte da adubação convencional. Além disso, é preciso determinar a demanda nutricional da cultura agrícola utilizada (OTÊNIO *et al.*, 2018). Por exemplo, para a cultura do milho, emprega-se o nitrogênio como nutriente de referência.

Ainda em relação às exigências nutricionais do milho, estudos estimam que são necessários $135\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrogênio para se obter uma produção eficiente (OTÊNIO *et al.*, 2018). Esses autores sugerem, que para a substituição da adubação convencional por ARB ocorra de forma segura, a utilização de $30\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N proveniente da ARB, sendo necessária, portanto, a suplementação de $105\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N de fertilizante químico para que se atinja a produtividade desejada.

Outros estudos, da aplicação do biofertilizante em capineira de cana-de-açúcar, verificou-se que em comparação com a utilização de doses de $60\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, na forma de ureia, a utilização do biofertilizante proporcionou o mesmo crescimento vegetal na mesma dosagem de nitrogênio no efluente aplicado (OTÊNIO *et al.*, 2017).

4 METODOLOGIA

4.1 LOCAL DO ESTUDO

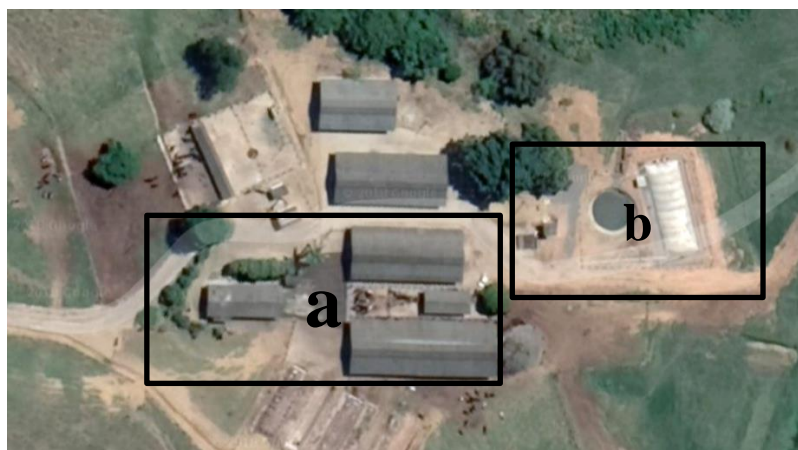
A área de estudo do presente trabalho foi a Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Leite, localizada no município de Coronel Pacheco, Zona da Mata Mineira, latitude 21° 33' 22'' sul e longitude 43° 06' 15'' oeste.

A área da fazenda, segundo o site da Embrapa, apresenta 1037 hectares, abrigando uma infraestrutura para experimentação em campo e em laboratório, além de diferentes sistemas de produção de leite e espaço para treinamentos. Este campo experimental apresenta um rebanho de 1100 animais (incluindo bovinos, caprinos e ovinos). São realizadas, no espaço, pesquisas para o melhoramento de forrageira e de raças para leite, assim como, reprodução e sanidade dos animais, com qualidade de leite e do meio ambiente. Os resultados obtidos na fazenda são relevantes no conhecimento que faz do Brasil referência mundial na produção de leite em regiões tropicais (Embrapa, 2019).

Além disso, os sistemas de produção da Fazenda Experimental envolvem três vertentes: integração da lavoura, pecuária e floresta; produção de leite a pasto com animais da raça Girolando e produção de leite em confinamento com animais da raça Holandesa.

Na Figura 4.1 apresenta-se o local em que foi realizado o presente trabalho na Fazenda, conhecido como Genizinha. Também na Figura 4.1 é possível observar o curral e o sistema de tratamento.

Figura 4.1 Imagem de satélite do local específico do estudo. Os retângulos demarcam duas áreas distintas (a) currais e sala de ordenha e (b) sistema de tratamento.



Fonte: Google Maps. Acesso em 21/01/2019.

A Genizinha, é composta por currais, mostrados nas Figuras 4.2 e 4.3, cada um com duas pistas de rolamento (local que os dejetos se encontram em maioria) e duas pistas que compõem as baias dos animais (modelo *free stall*), além da sala de ordenha.

Figura 4.2- Foto do curral da Genizinha da Fazenda Experimental da Embrapa- Gado do Leite.



Figura 4.3 - Pista rolamento e baia curral da Fazenda Experimental da Embrapa- Gado do Leite.



Fonte: OTÊNIO *et al.*,2017.

No mesmo local, há o sistema de tratamento da água residuária, mostrado nas Figuras 4.4 e 4.5, composto por um tratamento preliminar, um biodigestor anaeróbio modelo canadense e uma lagoa de armazenamento.

Figura 4.4- Sistema de tratamento preliminar.



Figura 4.5- Foto de parte do sistema de tratamento: biodigestor (ao fundo) e lagoa de armazenamento (à frente).



O tratamento preliminar é composto por um sistema de gradeamento, após a lavagem das pistas, para separar as partículas maiores, antes do tanque de equalização, e depois para uma caixa de areia, seguida de uma peneira, em que ocorre a separação de sólidos. Esses são destinados para a compostagem e a parte líquida segue para o biodigestor.

No biodigestor, se dá a remoção de parte da matéria orgânica e, conseqüentemente, a produção do biogás e do biofertilizante, ambos empregados na fazenda. Já o efluente da lagoa de armazenamento é utilizado para promover o acúmulo de água tratada (advinda do biodigestor).

A partir do líquido da lagoa, é realizada a recirculação para lavagem hidráulica das pistas de rolamento que compõem o curral. Essa limpeza é feita uma vez ao dia em cada pista, e dura, em média, 31 minutos.

4.2 ECONOMIA DE ÁGUA

A quantificação da economia de água consumida na lavagem das pistas está relacionada com a recirculação do efluente da lagoa de armazenamento, ou seja, é realizado um reuso do efluente tratado no biodigestor armazenado na lagoa para a lavagem das pistas. Com isso, é proporcionada uma economia de água limpa que seria demandada rotineiramente na limpeza dos currais.

Para o cálculo dessa economia foi necessário obter os seguintes dados:

- Vazão da bomba empregada no processo de recirculação da água tratada;
- Identificação de entrada de água externa (ou seja, que não faça parte do sistema de tratamento, isto é, água limpa e água da chuva);
- Determinação do volume de entrada de água externa.

4.2.1 VAZÃO DA BOMBA

A determinação da vazão da bomba, que direciona a água acumulada da lagoa para a lavagem das pistas, foi necessária para se determinar o volume (Equação 4.1) de água empregado na limpeza hidráulica do piso do curral, realizado rotineiramente pelos colaboradores da Embrapa.

$$V = Q \times t_{bomba} \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde:

V: volume de água tratada pelo biodigestor para lavagem das pistas, em m³;

Q: vazão da bomba, em m³/min;

t_{bomba}: tempo de funcionamento da bomba para limpeza das pistas, em min;

Para a determinação da vazão da bomba, foi realizado um procedimento na própria fazenda, no dia 05/05/2018. O procedimento foi realizado utilizando um recipiente de mil litros (1000L) e um cronômetro. Com isso, foi medido o tempo que era necessário para o preenchimento total do recipiente. Foram realizadas cinco replicações desse procedimento.

A partir dos valores encontrados, calculou-se a vazão através da Equação 4.2 para cada tempo. Posteriormente, determinou-se a vazão média.

$$Q = \frac{V \text{ (volume)}}{t \text{ (tempo)}} \quad \text{Equação 4.2}$$

4.2.2 IDENTIFICAÇÃO DE ENTRADA DE ÁGUA EXTERNA

A partir de dados de monitoramento (realizados de janeiro de 2017 a julho de 2018) da altura da lâmina d'água da lagoa, medida rotineiramente pelos colaboradores da Embrapa, foi possível o tratamento dos dados para a identificação de entrada externa de água ao sistema. O modelo da planilha preenchida pelos colaboradores consta na Figura 4.6.

Figura 4.6- Modelo da planilha de monitoramento.

MONITORAMENTO DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO								
MÊS:								
DIA	Leitura da régua (cm)		Ocorrência de chuva	Entrada de água limpa (rio)	Funcionamento da bomba	Nº de vacas no sistema	Limpeza do free stall	
	Manhã	Tarde			Tempo total/dia		Nº de vezes	Nº de pistas

Fonte: Arquivo Pessoal.

Essa entrada de água externa está relacionada a duas tipologias:

Entrada de água limpa (AL): ocorre quando há o esvaziamento parcial da lagoa de armazenamento e, posteriormente, o seu enchimento com água limpa.

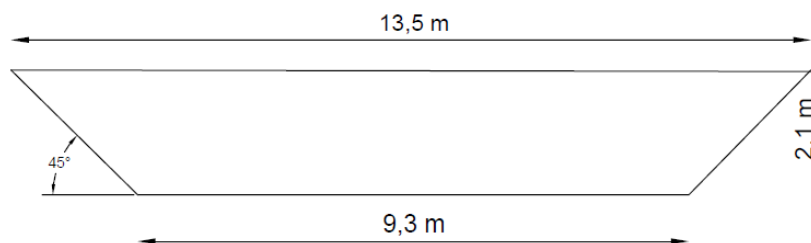
Entrada por precipitações (AP): a lagoa situa-se em local aberto e, segundo os dados de monitoramento, percebe-se que quando ocorre um excesso de precipitação no local há uma liberação de parte da água da lagoa pelos colaboradores.

Com isso, foi possível construir um fluxograma representando a entrada de água externa ao sistema.

4.2.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ENTRADA DE ÁGUA EXTERNA

Como supracitado, os cálculos foram realizados de forma separada para cada uma das fases. Para a determinação dos volumes dessas entradas, foi necessário conhecer as dimensões da lagoa de armazenamento, que possui a geometria de um tronco de cone (Figura 4.7).

Figura 4.7- Representação do corte longitudinal da lagoa de armazenamento.



Entradas de AL: o volume foi determinado pela altura da régua de monitoramento da lagoa de armazenamento, obtidas através dos dados de monitoramento da Embrapa, como previamente mencionado. Considerando a geometria da lagoa, a fórmula utilizada para obtenção do acréscimo de volume advindo da fase AL é mostrado na Equação 4.3.

$$V = \frac{\pi \times h}{12} \times (D^2 + (D \times d) + d^2) \quad \text{Equação 4.3}$$

Onde:

D: diâmetro superior da lagoa (13,5m);

d: diâmetro inferior da lagoa (9,3m);

h: altura água (m).

Entradas de AP: com base nos dados da estação meteorológica de Coronel Pacheco, extraída do site do INMET (2018), determinou-se a lâmina precipitada (em mm), durante os eventos de excesso de chuva, como citados anteriormente, no ano de 2018. A partir do valor da altura da lâmina precipitada, foi possível determinar o volume de entrada da chuva, relacionado a área de captação da lagoa (Equação 4.4):

$$V = \frac{\pi \times D^2 \times l}{4} \quad \text{Equação 4.4}$$

Onde:

D: diâmetro superior da lagoa (13,5m);

l: lâmina precipitada (m).

Ressalta-se que para fase AP só foi possível realizar os cálculos para o ano de 2018, devido a indisponibilidade dos dados de precipitação de 2017 na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

4.2.4 DETERMINAÇÃO DA ECONOMIA DE ÁGUA NO SISTEMA

A partir dos dados de monitoramento, previamente citados, foi possível obter o tempo (em minutos) em que a bomba foi utilizada para realizar a limpeza hidráulica das pistas rotineiramente, durante o período avaliado.

Juntamente com a vazão da bomba e os dias de duração a cada nova entrada das fases AL e AP, foi possível determinar o volume total requerido da água tratada, em cada uma das fases, utilizando a Equação 4.5.

$$V_{tr} = \Sigma(Q \times t_{bomba}) \quad \text{Equação 4.5}$$

Onde:

V_{tr} : volume total requerido, somatório do produto da vazão com o tempo, de cada dia de duração da fase;

Q : vazão bomba (m^3/min);

t_{bomba} : tempo de funcionamento da bomba em cada dia (min).

Assim, partindo da premissa que se não há o reuso, o volume de água, obtido no item 4.2.3, representaria a água limpa requerida para limpeza, o que possibilitou o cálculo da economia de água proporcionada pela reutilização através da equação:

$$\text{Economia} = \frac{V_{tr} - V_{entrada}}{V_{tr}} \quad \text{Equação 4.6}$$

Onde:

$V_{entrada}$: volume correspondente a cada nova entrada de cada uma das fases (AL e AP).

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO- QUÍMICA

A caracterização quali-quantitativa baseou-se no sistema de tratamento da água residuária apresentado na área experimental. Durante o período de avaliação, o número de bovinos leiteiros confinados parcialmente no *free stall* variou entre 72 a 135 animais.

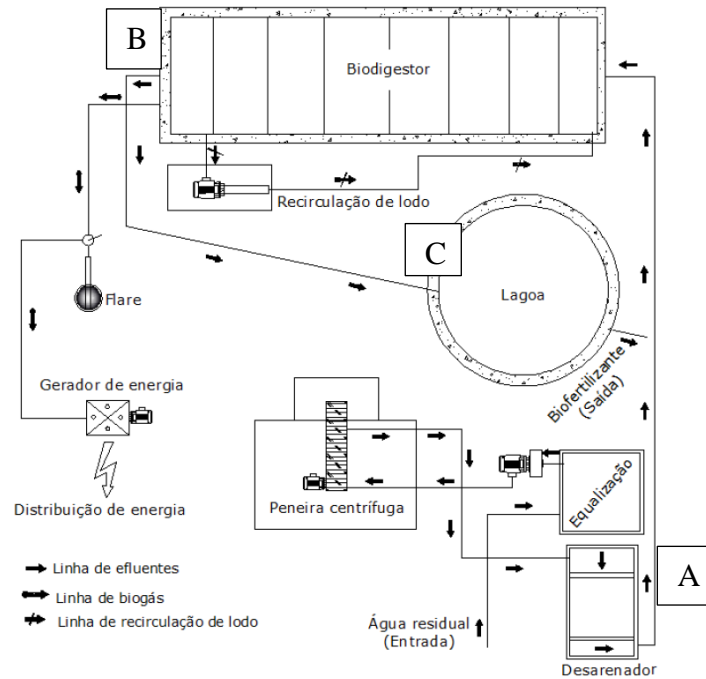
As amostras para a caracterização físico-química do efluente da água residual da bovinocultura (ARB) foram coletadas em duas campanhas, mostradas na Tabela 4.1. Foram realizadas coletas semanalmente, no período de trinta dias para as estações chuvosa e seca.

Tabela 4.1- Detalhamento das campanhas de coletas realizadas para caracterização físico-química do ARB.

Campanha	Estação	Meses	Total de amostras
1	Chuvosa	Fevereiro e Março 2018	4
2	Seca	Julho e Agosto 2018	5

Os pontos de coleta foram: antes de entrar no biodigestor, na saída do mesmo e na lagoa de armazenamento (Figura 4.8). Após as coletas, as amostras foram devidamente preservadas e enviadas para o laboratório terceirizado, CSL- Laboratório de Análise Ambiental, localizado em São Paulo (Americana).

Figura 4.8- Especificação dos pontos de coleta no layout da estação de tratamento da ARB. (A) ponto de coleta anterior a entrada do biodigestor; (B) ponto de coleta na saída do biodigestor; (C) ponto de coleta na lagoa de armazenamento.



Fonte: MENDONÇA, H.V, 2017.

A caracterização físico-química foi realizada através da análise dos seguintes parâmetros, mostrados na Tabela 4.2:

Tabela 4.2- Parâmetros caracterização físico-química.

Parâmetro	Unidade	Método de Referência
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	SM 4500H+B
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L	SM 5120B
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	mg/L	SM 5220D
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	SM 2510B
Potássio	mg/L K	SM 3120B
Fósforo Total	mg/L P	SM 4500P I
Nitrogênio Total	mg/L N	SM 4500 C
Carbono Orgânico Total (COT)	mg/L	USEPA 415:3:2009

A partir da quantificação dos nutrientes na caracterização foi realizado a estimativa da lâmina recomendada para aplicação do biofertilizante em três culturas: milho, cana-de-açúcar e capim elefante. Essa estimativa foi baseada por um balanço de massa, ou seja, qual a necessidade da cultura dos nutrientes e qual demanda do biofertilizante para satisfazer essa demanda nutricional.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ECONOMIA DE ÁGUA

5.1.1 VAZÃO DA BOMBA

Como citado anteriormente, foram realizadas cinco medições do tempo para se completar uma caixa d'água de 1000L, como mostrado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1- Medidas do tempo obtidas no procedimento para determinação da vazão da bomba.

Tempo	Valor (s)	Vazão (L/s) - Equação 2	Vazão (m³/min)
t1	44,32	22,56	1,35
t2	43,70	22,88	1,37
t3	42,81	23,36	1,34
t4	44,53	22,46	1,34
t5	44,70	22,37	1,34

Calculando a vazão média, encontra-se o valor 1,35 m³/min ($\pm 0,01$).

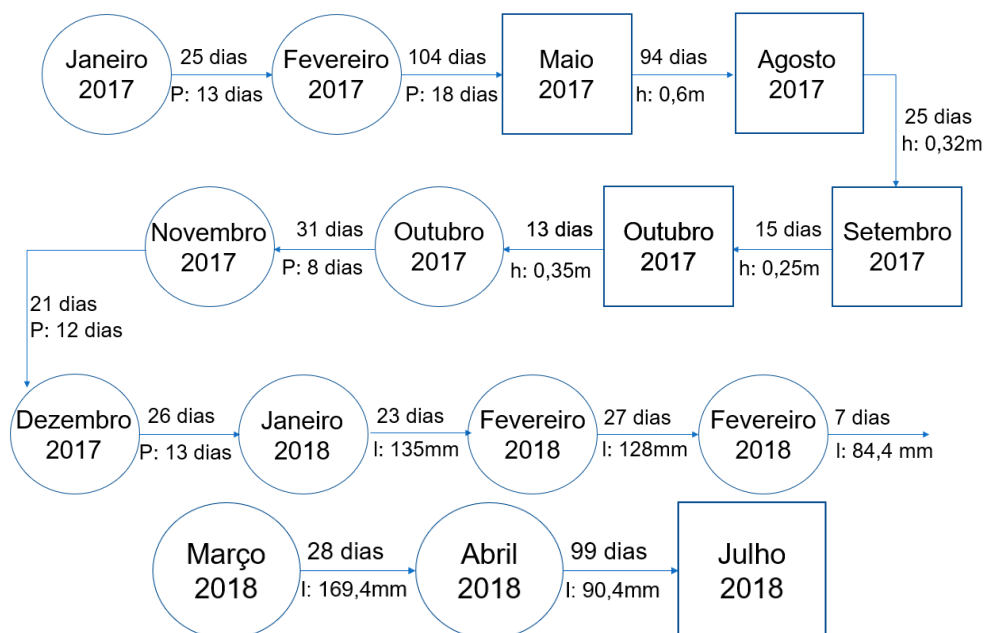
5.1.2 IDENTIFICAÇÃO DA ENTRADA EXTERNA

A partir da identificação da entrada externa, foi possível caracterizar cada uma das duas tipologias e suas durações. Assim, foi possível a construção da Tabela 5.2 e da Figura 5.1.

Tabela 5.2- Entrada de água externa ao sistema.

Ordem do evento	Entrada de água	Duração (dias)	Meses duração
1	AP	25	Jan/ Fev 2017
2	AP	104	Fev/ Mai 2017
3	AL	94	Mai/ Ago 2017
4	AL	25	Ago/ Set 2017
5	AL	15	Set/ Out 2017
6	AL	13	Out/ Out 2017
7	AP	31	Out/ Nov 2017
8	AP	21	Nov/ Dez 2017
9	AP	26	Dez 2017/ Jan 2018
10	AP	23	Jan/ Fev 2018
11	AP	27	Fev/ Fev 2018
12	AP	7	Fev/ Mar 2018
13	AP	28	Mar/ Abr 2018
14	AP	99	Abr/ Jul 2018

Figura 5.1- Fluxograma entrada de água externa. Legenda: círculos: entrada AP, quadrado: entrada AL, h: entrada água limpa, P: precipitação, l: lâmina precipitada.



5.1.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ENTRADA DE ÁGUA EXTERNA

A partir das Equações 4.3 e 4.4 foi possível determinar o volume de cada entrada de cada tipologia caracterizada anteriormente (Tabela 5.3). Ressalta-se que para entrada AP só foi possível determinar os volumes de entrada dos meses de 2018, devido a indisponibilidade dos dados no site do INMET dos meses de 2017.

Tabela 5.3- Volume de entrada de água externa.

Ordem do evento	Quantidade de entrada que entrou no sistema (m)	Volume de água correspondente- Equações 4.3 e 4.4
3	0,6	61,9
4	0,32	33,0
5	0,25	25,8
6	0,35	36,1
10	0,135	19,3
11	0,128	18,3
12	0,0844	12,1
13	0,1694	24,2
14	0,0904	12,9

5.1.4 ECONOMIA

A partir dos dados das planilhas dos colaboradores foi possível verificar que, em média são necessários 31 minutos para a limpeza de todas as pistas de rolamento que compõem o curral. Diante dessa premissa e, juntamente com os dados anteriores, foi possível calcular o volume utilizado para lavagem das pistas (volume total requerido) utilizando a Equação 4.5.

Entretanto, como há o processo de recirculação da água residuária, a economia de água (Tabela 5.4) foi calculada através da Equação 4.6.

Tabela 5.4- Compilação de dados para determinação da economia de água.

Ordem do evento	Volume de entrada de água correspondente (m³)	Volume total requerido (m³) - Equação 4.5	Economia (%) - Equação 4.6
3	61,9	4268,70	98,55
4	33,0	807,30	95,91
5	25,8	756,00	96,59
6	36,1	434,70	91,70
10	19,3	704,70	97,26
11	18,3	932,85	98,04
12	12,1	220,05	94,50
13	24,2	853,20	97,16
14	12,9	2536,65	99,49

A partir dos resultados obtidos, o reuso da água residuária apresenta uma economia de água de 95% a 99,49% em relação aos empreendimentos que não possuem essa prática. Além disso, analisando os dados de entrada pode-se concluir, como esperado, que quanto maior o período promovendo a recirculação, maior é a economia de água proporcionada.

Supondo que a bomba funcione todos os dias a média de 31 minutos, seriam necessários 41,85m³ para a limpeza das pistas. Essas apresentam área de 108 m², sendo necessário, então, 387,5L por m². Conclui-se que se não realizado a recirculação, os gastos com água seriam bem maiores comparados com a literatura, 70L por m² (POHLMANN, 2000). Porém ressalta-se que há custos para o funcionamento da bomba e gastos com energia.

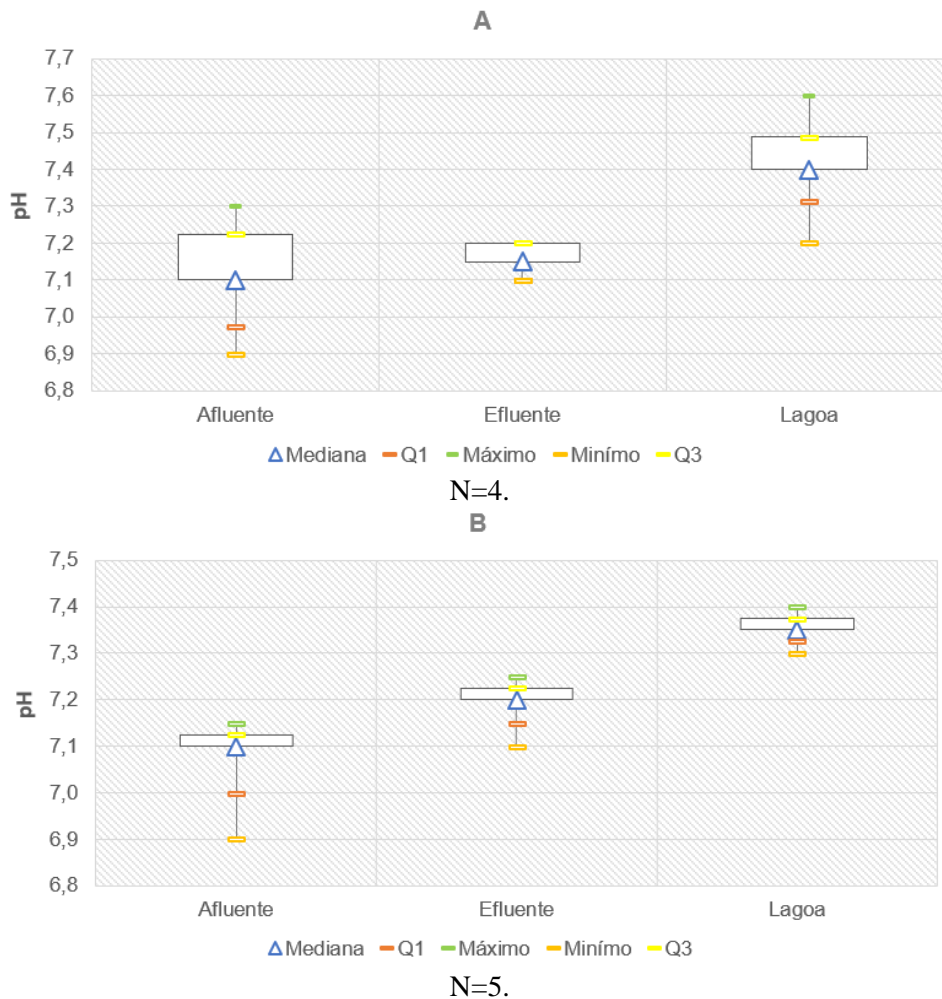
Com isso, o reuso da água residuária mostra-se como alternativa para a diminuição da sobrecarga nos recursos hídricos. O que proporciona uma gestão sustentável desse recurso em empreendimentos que demandam grandes necessidades desse recurso.

5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO- QUÍMICA

5.2.1 pH

Os valores de pH, na estação chuvosa e na estação seca encontram-se nas Figuras 5.2A e 5.2B.

Figura 5.2- Gráfico de box-plot dos valores pH obtidos durante o monitoramento nos períodos chuvosos (A) e seco (B) nos pontos amostrados.



Pode-se observar pelas Figuras 5.2A e 5.2B, que os valores de pH se mantêm na faixa de 6,9-7,6, nas duas estações estudadas, durante todo o processo de tratamento. Assim, foi mantida uma faixa ótima de crescimento da microbiota (MENDONÇA, 2017).

Após a passagem pelo biodigestor, o pH apresentou-se próximo da neutralidade nas duas estações, sendo um indicativo que ácidos graxos voláteis formados no processo de digestão anaeróbia foram devidamente neutralizados e provavelmente convertidos a gás metano e dióxido de carbono, uma vez que o pH distante da neutralidade na saída seria indicativo da inibição da metanogênese, com prejuízos na remoção da carga orgânica durante o tratamento (MENDONÇA, 2017).

Os solos brasileiros naturalmente são ácidos, o que pode limitar o crescimento e o desenvolvimento de culturas agrícolas, devido à baixa disponibilidade de nutrientes e uma elevada acidez. Com isso, torna-se necessário o uso de corretivos (por exemplo, o calcário) que elevam o pH em água do solo para valores ao redor de 5,5 e 6,5, faixa em que ocorre a neutralização de componentes tóxicos e a solubilização dos nutrientes essenciais (PRADO, 2018). Assim, se empregado o biofertilizante (efluente da lagoa de armazenamento), na prática de fertirrigação das culturas, esse pode trazer benefícios ao solo. O que é explicado pelo pH mediano ($7,4 \pm 0,1$) encontrar-se próximo a neutralidade, assim quando incorporado ao solo há

uma correção da acidez, uma neutralização de elementos tóxicos, aumento da solubilidade dos nutrientes essenciais e aumento da produtividade.

5.2.2 DBO e DQO

Nas Figuras 5.3A e 5.3B são representadas a evolução temporal dos valores obtidos para DBO e DQO, respectivamente, nas duas estações.

Figura 5.3- Variação temporal da DBO (A) e da DQO (B) durante todo período de monitoramento (2018).



Pode-se observar variações amplas de concentração de DBO e DQO, principalmente, nas amostras do afluente do biodigestor. Isso pode ser explicado por variações operacionais verificadas, como por exemplo, variação do número de animais confinados ao longo dos meses, tempo de confinamento, tipo de alimentação fornecida para o gado e a forma e tempo de lavagem dos currais de confinamento.

Analisando o comportamento de DBO e DQO na série temporal, foi possível verificar que ocorre redução do valor desses parâmetros na lagoa e no afluente durante o período chuvoso. Isso ocorre porque a lagoa, de onde advém a água de lavagem, encontra-se em um local aberto,

e a ocorrência de chuvas pode ter ocasionado em uma diluição tanto do efluente presente na lagoa quanto do efluente bruto (que é proveniente da água da lagoa e material carregado durante a limpeza hidráulica das pistas).

A fim de compilar todos os dados para a verificação da caracterização do sistema em todo período avaliado, as Figuras 5.4 e 5.5 mostram gráficos de box-plot dos parâmetros DBO e DQO nas duas estações avaliadas.

Figura 5.4- Gráfico de box-plot dos valores DBO obtidos durante o monitoramento das estações chuvosa (A) e seca (B) nos pontos amostrados.

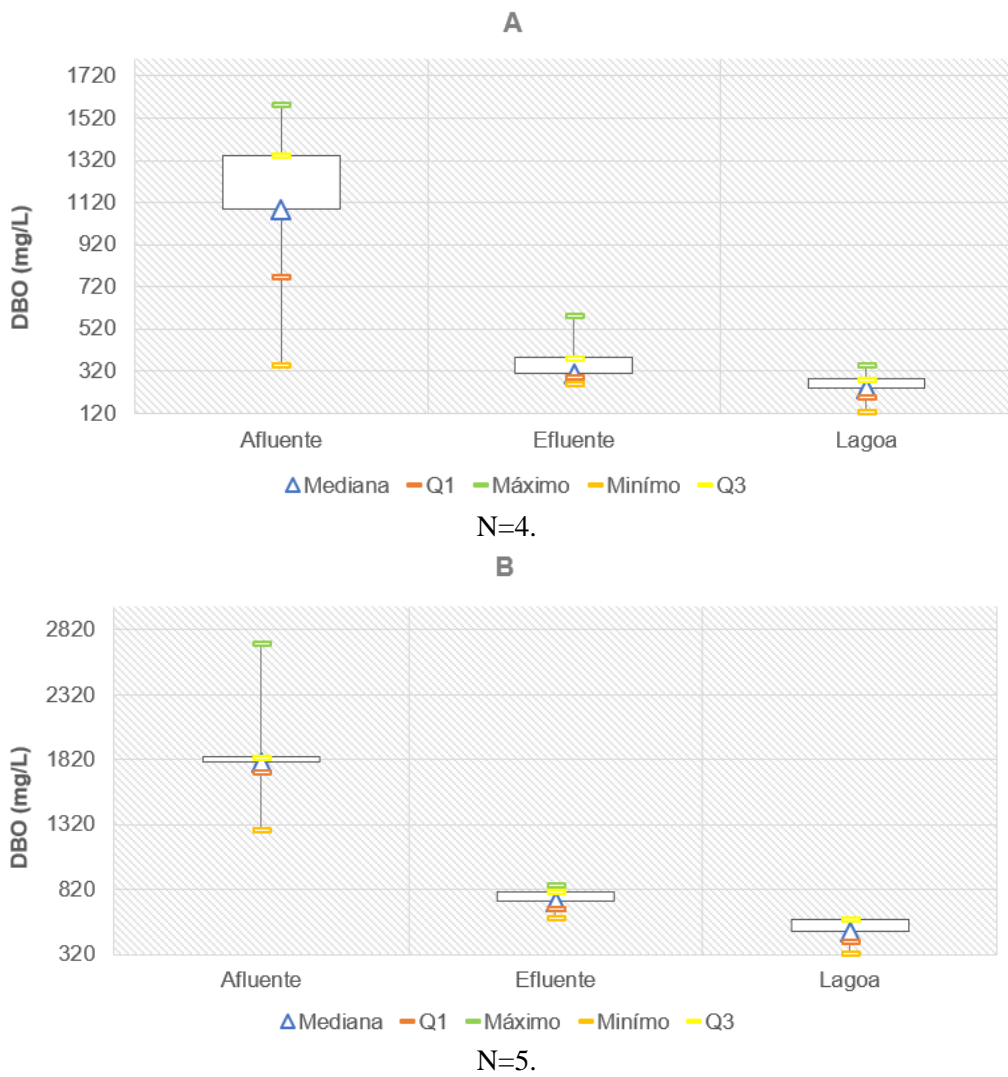
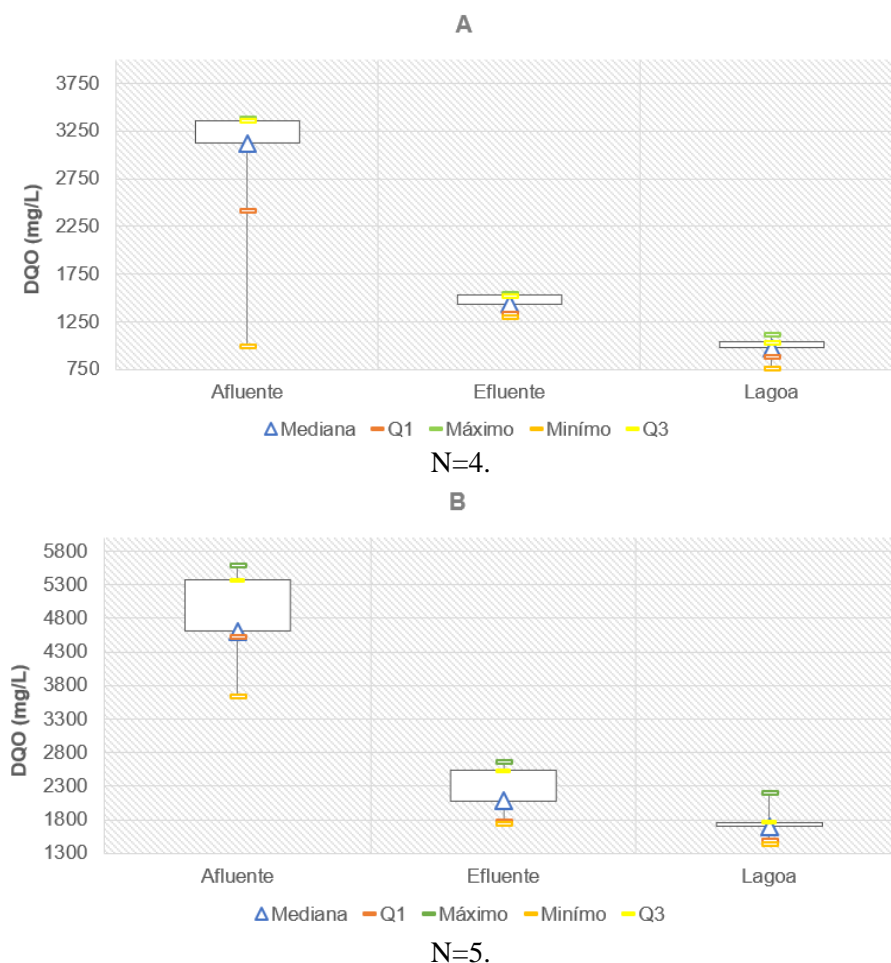


Figura 5.5- Gráfico de box-plot dos valores DQO obtidos durante o monitoramento das estações chuvosa (A) e seca (B) nos pontos amostrados.



Podemos observar que os valores de DBO e DQO nas amostras da lagoa de armazenamento são menores no mês chuvoso, o que pode ser resultado de um processo de diluição promovido pela precipitação (como previamente citado, a lagoa encontra-se em local aberto).

Além disso, essa diluição pode influenciar nos menores valores de DBO e DQO das amostras do afluente e do efluente ao biodigestor, devido ao reúso da água da lagoa para limpeza das pistas dos currais.

A partir das Figuras 5.6 e 5.7, podemos observar a eficiência de remoção de DBO e DQO no biodigestor e no tratamento total (tratamento preliminar, biodigestor e lagoa de armazenamento). A partir dos gráficos e pela CONAMA 430/2011, considerando o tratamento total, os padrões de lançamento seriam atendidos se realizado o lançamento em corpos hídricos, pois ocorreu uma remoção mínima de 60% da DBO. Ressalta-se que no dia 26 de fevereiro não há atendimento do padrão.

Figura 5.6- Gráfico de eficiência de remoção de DBO para o período avaliado.

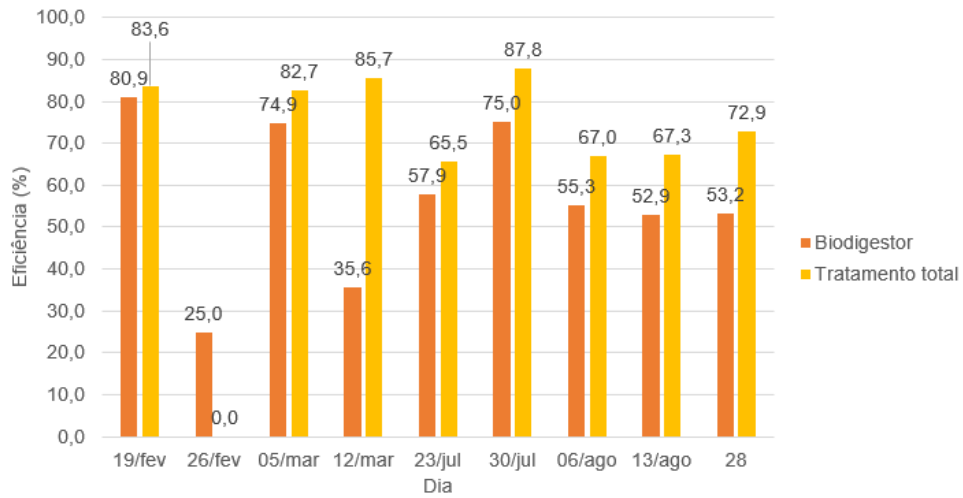
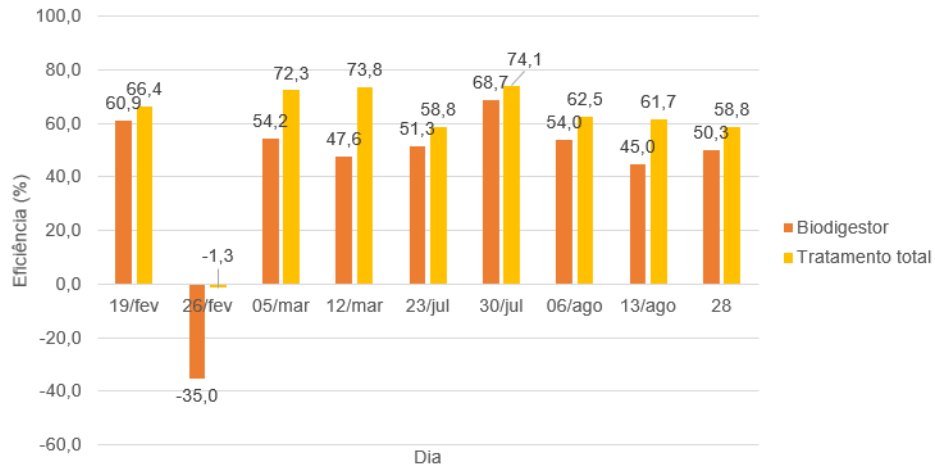


Figura 5.7- Gráfico eficiência de remoção de DQO para o período avaliado.



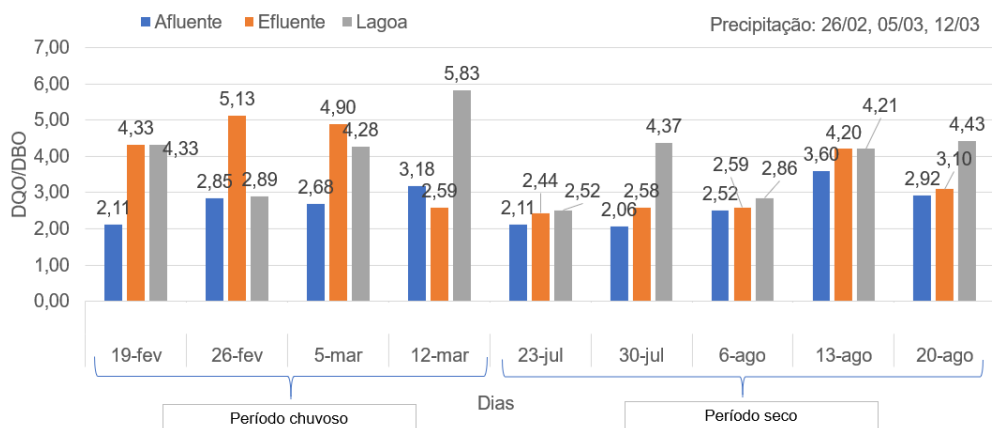
Pela Figura 5.7, podemos observar que o sistema, se empregado somente o biodigestor, não segue valores da literatura. Estudos com o tratamento por meio do biodigestor dos dejetos bovinos em confinamento, mostraram uma eficiência de 83% de DQO (MENDONÇA, 2009) e, entre 71% a 79% de DQO (VIDAL, 2015). O que pode ser explicado pelo tempo de detenção hidráulica (TDH), que foi menor nos estudos de caso, 20 dias, e de 1 a 3 dias, respectivamente, frente ao sistema empregado na Embrapa.

Considerando o uso do efluente armazenado na lagoa para a fertirrigação, a matéria orgânica, que funciona como agente ligante do solo, ou seja, contribui para agregação e estruturação dos agregados que compõem o solo, pode proporcionar maior resistência ao esboroamento e aumento da porosidade do solo (MATOS, 2007). Assim, se utilizado esse biofertilizante na prática da fertirrigação, esse pode promover a estabilização e agregação das partículas do solo, melhorias no armazenamento e fluxo de água e ar no solo e aumento da Capacidade de Troca Catiônica (CTC), influenciando na retenção de nutrientes, como cálcio, magnésio e potássio.

5.2.3 RELAÇÃO DQO E DBO

A relação DQO/DBO, segundo Von Sperling (2014), é um bom indicativo da fração biodegradável dos compostos orgânicos que compõem uma amostra. A Figura 5.8 evidencia a relação entre esses parâmetros nas amostras afluente e efluente ao biodigestor:

Figura 5.8- Gráfico de barras da relação DQO/DBO, afluente e efluente ao biodigestor, em todas as amostras analisadas.



A partir do gráfico, pode-se observar que a biodegradabilidade é reduzida após o tratamento pelo biodigestor, ou seja, a fração inerte (não biodegradável) é elevada.

A adição de um biofertilizante com baixa taxa de decomposição é mais recomendada para a manutenção dos teores de matéria orgânica dos solos, pois quando apresentado alta taxa de decomposição estimula-se a redução dos estoques de matéria orgânica nativa dos solos (GONÇALVES, 2016). Assim, a redução da biodegradabilidade observada neste efluente, corrobora a incorporação da matéria orgânica no solo, como discutido no item 5.2.2. Proporcionando assim, benefícios ao solo, como estruturação do mesmo, aumento da porosidade e da CTC.

5.2.4 NUTRIENTES

Através das Figuras 5.9, 5.10A, 5.10B e 5.11, é possível observar que os valores medianos das concentrações de nitrogênio total, fósforo total e potássio aumentaram após a passagem pelo tratamento biológico (biodigestor). Isso pode ser explicado pelo fato desse tratamento não objetivar a remoção de nutrientes. Além disso, esse incremento pode estar associado a conversão de espécies químicas desses elementos, ou, por existir excesso de biomassa no digestor, assim a concentração de nitrogênio pode ter aumentado devido a respiração endógena.

Figura 5.9- Gráfico de box-plot dos valores de Nitrogênio Total obtidos durante o monitoramento nos períodos de chuva e de seca nos pontos amostrados.

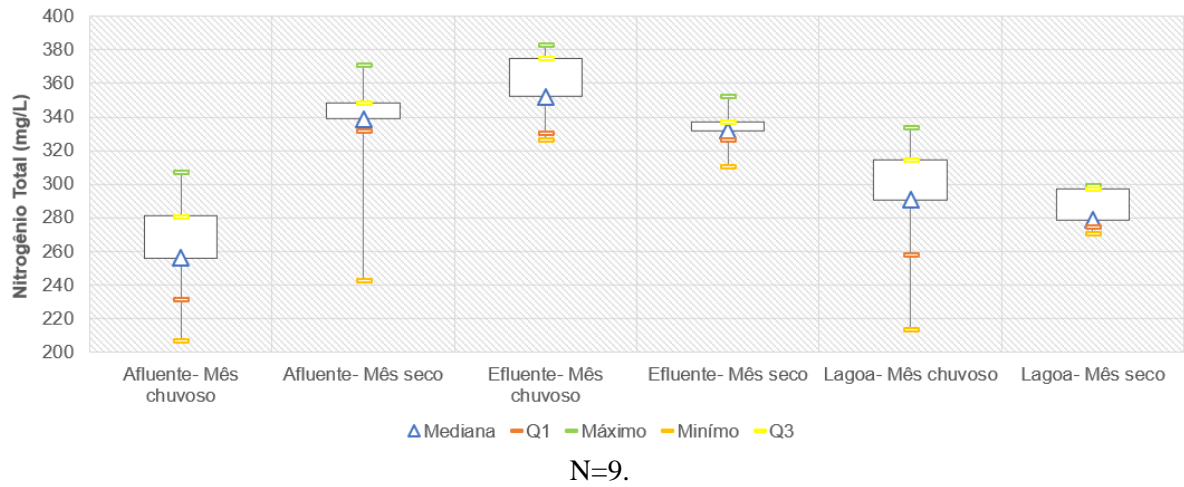


Figura 5.10- Gráfico de box-plot dos valores de Fósforo Total obtidos durante o monitoramento nos períodos de chuva (A) e de seca (B) nos pontos amostrados.

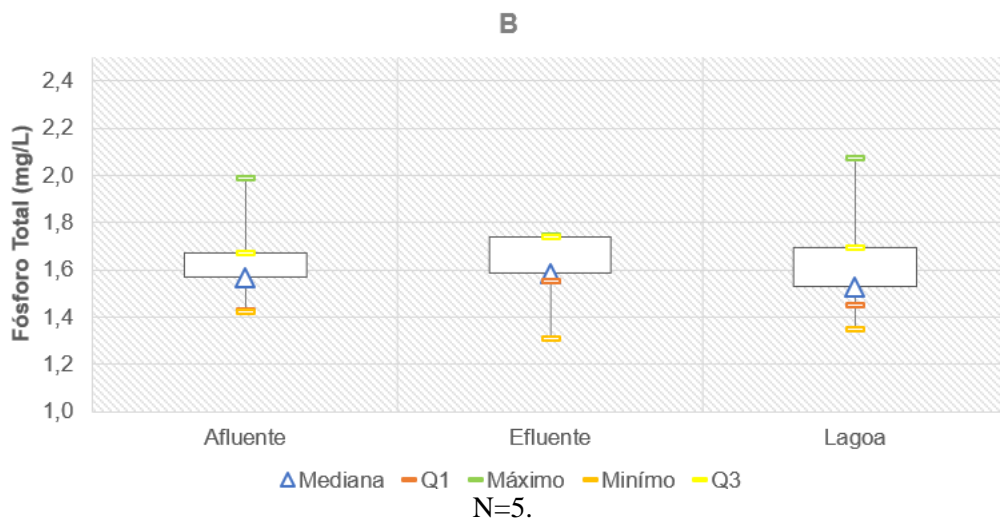
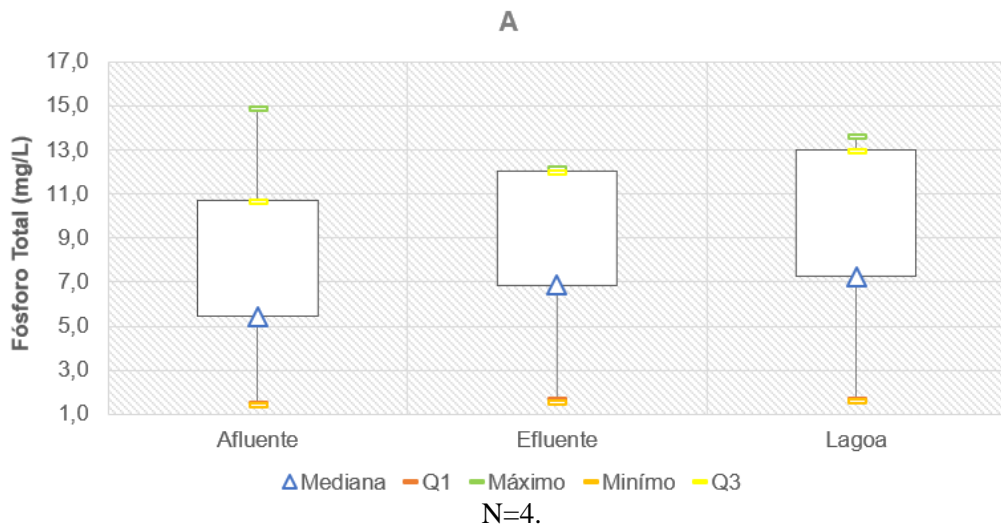
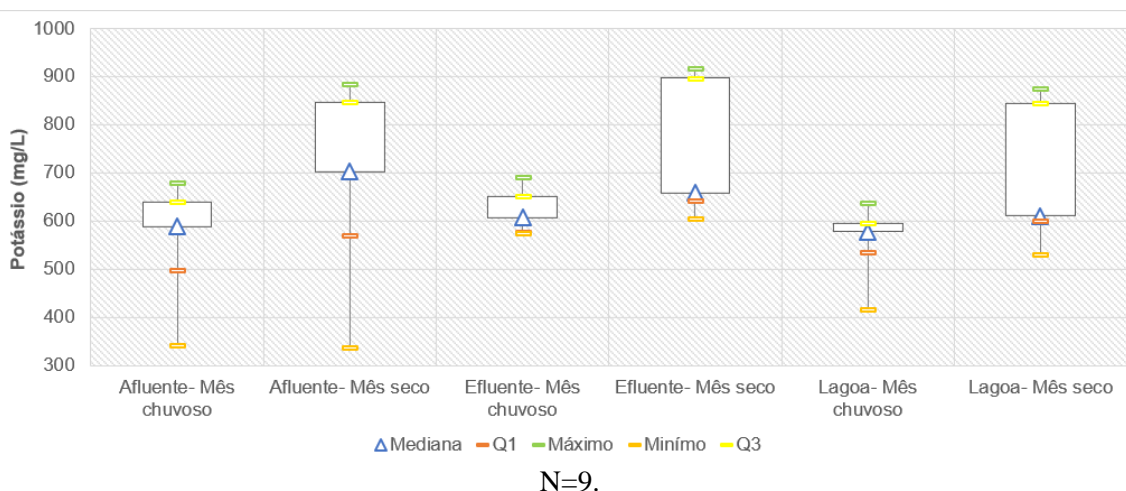


Figura 5.11- Gráfico de box-plot dos valores de Potássio obtidos durante o monitoramento nos períodos de chuva e de seca nos pontos amostrados.



Naturalmente no solo, sem adição de fertilizantes, os nutrientes citados anteriormente, são considerados macronutrientes (juntamente com o enxofre, cálcio e magnésio). Esses são elementos básicos necessários, em maior volume, para a nutrição das plantas. Porém, grande parte desses nutrientes (juntamente com os micronutrientes) são disponibilizados apenas com a mineralização de algum material orgânico que for disposto no solo (MATOS, 2007). Assim, se aplicado no solo, o biofertilizante, será proporcionado um incremento dos macronutrientes, o que diminui a utilização de fertilizantes químicos, acarretando benefícios ao solo e em uma economia na produção. Além disso, correlacionando com os parâmetros citados nos itens anteriores, a partir do aumento do pH do solo, juntamente com maior estruturação e agregação deste, e aumento da sua CTC, os nutrientes serão melhores absorvidos pelas plantas.

Segundo Matos e Matos (2017), para empregar o uso de águas residuárias na fertirrigação deve-se avaliar suas características microbianas e bioquímicas (segundo normas de saúde pública), tendo em consideração o tipo de cultura, o solo, o sistema de irrigação e a forma em que será consumido o produto colhido. Sugere-se o uso em culturas de crescimento rápido, grande massa, radicular e grande capacidade de absorção de nitrogênio (como, pastos e capineiras) ou em culturas perenes (cafeeiro, laranjeiras, por exemplo).

A partir da caracterização do biofertilizante (mediana dos valores), foi possível estimar a lâmina recomendada, através de um balanço de massa, para as seguintes culturas: milho, cana-de-açúcar e capim elefante (Tabela 5.5) (MATOS & MATOS, 2017).

Tabela 5.5- Lâmina recomendada aproximadamente do biofertilizante para as culturas do milho, cana-de-açúcar e capim elefante, para estação chuvosa e estação seca.

Estação chuvosa									
Cultura	Quantidade Recomendada (kg/ha)			Caracterização mediana do biofertilizante (mg/L)			Lâmina recomendada aproximadamente (mm)		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)						
Milho *	200	34	130				68,8	472,2	22,5
Cana-de-açúcar **	254	35	400	290,6	7,2	578,5	87,4	486,1	69,1
Capim Elefante***	800	92	900				275,3	1277,8	155,6
Estação seca									
Milho *	200	34	130				71,8	2266,7	21,3
Cana-de-açúcar **	254	35	400	278,7	1,5	610,5	91,1	2333,3	65,5
Capim Elefante***	800	92	900				287	6133,3	147,4

Legenda: (*) considerando produtividade de 14t/ha; (**) considerando produtividade de 300t/ha; (***) considerando produtividade de 46t/ha.

Através da tabela apresentada, observa-se que na época de seca a lâmina recomendada de nitrogênio e fósforo é maior que na época chuvosa. O que pode ser explicado pelos menores valores medianos na caracterização do biofertilizante.

Além disso, infere-se que o elemento de referência para uso desse biofertilizante é o potássio, já que ele demanda uma menor dose de aplicação para satisfazer as necessidades das culturas apresentadas. A partir disso, será necessário uma adubação complementar dos demais elementos para atender as necessidades nutricionais de cada cultura.

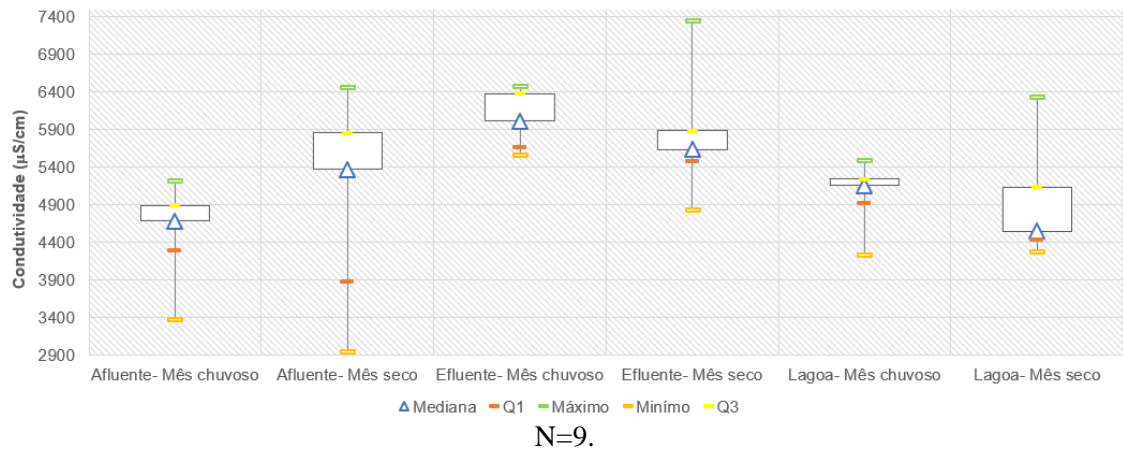
Ressalta-se que nos cálculos anteriores não foi considerado elementos importantes do solo, como CTC, matéria orgânica, nutrientes presentes no solo, condutividade hidráulica, entre outros.

5.2.5 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica está relacionada a concentração de sais solúveis que podem afetar o desenvolvimento e a produção de cultura, e conseqüentemente, um efeito de salinidade sobre os vegetais (SILVA *et al.*, 2012). Pela Figura 5.12 foi possível observar que os valores medianos, de condutividade elétrica, encontram-se na faixa de 4400 a 6400 μ S/cm, o que pode influenciar em uma salinização se incorporado ao solo, pois a condutividade permaneceu acima de 4000 μ S/cm.

Porém, se aplicado o biofertilizante de maneira adequada e consciente, e ocorrer o monitoramento desse parâmetro no solo, os riscos de salinização podem diminuir.

Figura 5.12- Gráfico box-plot para valores de condutividade elétrica para as estações chuvosa e seca no período amostrado.



6 CONCLUSÃO

A caracterização físico-química dos efluentes gerados no estudo mostrou que esses são ricos em matéria orgânica e nutrientes (nitrogênio, potássio e fósforo). Também foi possível constatar diferenças nas características do efluente na estações chuvosa e seca, podendo ser influenciada pela diluição provocada na lagoa de armazenamento.

O biofertilizante quando incorporado ao solo pode melhorar as características desse. Como aumento do pH do solo, agregação e estruturação dos agregados que o compõem, aumento da porosidade, da CTC e da retenção dos nutrientes. O que acarreta uma redução da necessidade de adição de fertilizantes químicos.

Além disso, o elemento de referência do biofertilizante, do estudo de caso, foi o potássio. Ressalta-se a necessidade de tratamento da água residuária da bovinocultura para redução da biodegradabilidade, bem como cuidados na aplicação da mesma devido ao risco microbiológico e salinização.

Já o reuso da água residuária para lavagem hidráulica das pistas, possibilita uma economia de água entre 95% a 99,49% em empreendimentos que utilizam os sistemas com recirculação, comparados aos sistemas sem esse recurso. Além da economia de água, se há redução da sobrecarga sobre os recursos hídricos. Entretanto há um custo relacionado ao consumo de energia pela bomba.

Assim, conclui-se que há possibilidades de tratamento de fácil operação e baixo custo, para um efluente tão presente no Brasil. O estudo de caso mostra, que além de tratar o efluente, é proporcionado benefícios para o produtor rural, como a geração do biogás e do biofertilizante. Esse, usado na fertirrigação de culturas agrícolas, que podem servir de alimentos para os animais desse sistema. Ou seja, conclui-se que pode haver um fechamento do ciclo do processo produtivo da bovinocultura leiteira.

REFERÊNCIAS

AIRES, A.W. et al. **Avaliação do desempenho de um biodigestor canadense modificado no tratamento de dejetos de suínos.** *Engvista*, V.16, n.4, p. 329-338, Dez. 2014.

BERTONCINI, E.I. **Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola.** *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, Jun. 2008.

BRASIL. CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos). Resolução CNRH nº54 de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 março 2006.

BRASIL. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº357 de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 maio 2011.

BRASIL. Lei nº 9433/1997, de 8 de janeiro de 1997. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 janeiro 1997.

CALZA, L.F, et al. **Avaliação dos custos de implementação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás.** *Eng. Agric.* Vol 35, nº 6, Jaboticaval, Nov/Dec, 2015.

CAMPOS, A.T. et al. **Tratamento e reciclagem de águas residuárias em sistema intensivo de produção de leite.** Circular Técnica Embrapa 75, 1ª ed, Juiz de Fora, MG 2003.

CASTANHO, D.S, ARRUDA, H.J. **Biodigestores.** In: VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Ponta Grossa, Paraná, v.02, n.21, 2008.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Infraestrutura.** Disponível em: < <https://www.embrapa.br/gado-de-leite/campos-experimentais>>. Acesso: 22 de jan. de 2019.

ERTHAL, V.J.T, et al. **Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura.** *Revista Bras. Eng. Agric. Ambient*, vol. 14, n.5, Campina Grande, 2010.

FAGGION, F, et al. **Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária.** *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v.2, n.1, 2009.

FREITAS, W. S.; et al. **Efeito da aplicação de águas residuárias da suinocultura na produção do milho para silagem.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 8, n 1, p.120-125, 2005.

GONÇALVES, J.M. **Fertirrigação com água residuária de agroindústria (ARA) em forrageiras: monitoramento de elementos químicos no perfil do solo.** Dissertação (Mestrado) do curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2016.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA). Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 de jan. de 2019.

KUNZ, A, STEINMETZ, R.L.R, AMARAL, A.C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.** 1ª ed. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019.

LAMARCA, T.S. **Análise bibliográfica dos instrumentos legais que regem o uso de água residuária na agricultura com vistas à produção vegetal.** Monografia (Graduação) do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

MATOS, A.T. **Disposição de águas residuárias no solo.** Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola, 2007 (Caderno Didático n.38).

MATOS, A.T, MATOS, M.P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos.** Ed. UFV, 2017.

MENDONÇA, E.F. **Tratamento anaeróbio dos dejetos oriundos da bovinocultura de leite em biodigestor tubular.** Dissertação (Pós-Graduação) do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, 2009.

MENDONÇA, H.V. **Tratamento e Valorização de Efluentes da Bovinocultura por Processos Biológicos.** Tese (Doutorado) do curso Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017>>. Acesso em: 22 de jan. de 2019.

MOTA, V.C. et al. **Confinamento para bovinos leiteiros: Histórico e características.** Pubvet. V.11, n°5, p.433-422, Mai.2017.

OTÊNIO, M.H. et al. **Aplicação de biofertilizante de água residuária da bovinocultura leiteira na cultura do milho.** Comunicado Técnico Embrapa 86, 1ª ed, Juiz de Fora, MG, 2018.

OTÊNIO, M.H. et al. **Reaproveitamento de água residuária em sistemas de produção de leite em confinamento.** Circular Técnica Embrapa 78, 1ª ed, Juiz de Fora, MG, 2017.

PALHARES, J.C.P. **Boas práticas hídricas na produção leiteira (Versão 2).** Comunicado Técnico Embrapa 105, São Carlos, SP, 2016.

POHLMANN, M. **Levantamento de Técnicas de Manejo de Resíduos da Bovinocultura Leiteira no Estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado) do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

PRADO, M.R.V. **Estimativa da acidez potencial dos solos do estado de Mato Grosso com base em métodos tampões.** Tese (Doutorado) da Faculdade de Agronomia e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

PROBIOGÁS. **Projeto Brasil- Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil.** Ministério das Cidades, Brasília, 2015.

RESENDE, J.A, et al. **Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por digestão anaeróbia.** Circular Técnica Embrapa 110, Juiz de Fora, MG, 2015.

RICARDO, T.N.A. **Plano de manejo de resíduos de bovinocultura leiteira de uma propriedade rural no município de Santa Bárbara do Monte Verde, MG.** Tese (Graduação) do curso Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

ROCHA, C.M. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares.** Tese (Graduação) do curso Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

SILVA, E.M, ROSTON, D.M. **Tratamento de efluentes de sala de ordenha de bovinocultura: lagoas de estabilização seguidas de leite cultivado.** Eng. Agríc, Jaboticabal, v.30, n.1, p.67-73, jan/fev, 2010.

SILVA, J.B.G. et al. **Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite.** Irriga, Botucatu, Edição Especial, p. 250-263, 2012.

VAN HORN, H.H. et al. **Components of Dairy Manure Management Systems.** Disponível em:<<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0022030294771472?token=F7A256DD00C30C78BE211D197888AB844A4A30A166F472D3CBE06075F5438641C94461FCEC9234CA9A185902F1C102D5>>. Acesso em: 17 de set. de 2019.

VIDAL, A.G. **Produção de biogás em reator anaeróbio de alta taxa alimentado com a fração líquida de esterco bovino peneirado.** Dissertação (Mestrado) do curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

VILELA, D, RESENDE, J.C. **Cenário para a produção de leite no Brasil na próxima década.** In: VI Sul Leite- Perspectivas para a produção de leite no Brasil. II Seminário dos Centros Mesorregionais de Excelência em Tecnologia do leite, 2014.

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