

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**

JULIANE AUGUSTA DILLY ALVES

**HIGIENIZAÇÃO SOLAR DE LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO EM ESTUFA AGRÍCOLA PARA
PRODUÇÃO DE BIOSSÓLIDOS**

VITÓRIA, ES
DEZEMBRO/2015

JULIANE AUGUSTA DILLY ALVES

**HIGIENIZAÇÃO SOLAR DE LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO EM ESTUFA AGRÍCOLA PARA
PRODUÇÃO DE BIODOSSÍLIDOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, como requisito para obtenção do grau de mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof. D.Ing. Ricardo Franci Gonçalves.

VITÓRIA, ES
DEZEMBRO/2015

JULIANE AUGUSTA DILLY ALVES

**HIGIENIZAÇÃO SOLAR DE LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO EM ESTUFA AGRÍCOLA PARA
PRODUÇÃO DE BIODISSÓLIDOS**

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. D.Ing. Ricardo Franci Gonçalves

Orientador – PPGES/UFES

Prof. D. Gilson Silva Filho

Examinador Interno – DEA/UFES

D. Laila de Oliveira Vaz Oliveira

Examinador Externo – IFES

M.Sc. Renate Wanke

Examinador Convidado

Trabalho de Conclusão de Curso
Aprovado em: 23 de dezembro de 2015.

Dedico esta dissertação:

A Deus por sempre me tornar forte.

Aos meus pais, Jose Luiz Alves e Inexcelsis Dilly Martins Alves e minha avó materna (*in memoriam*),
Ignês Scoralick Martins, pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

“Deus é bom a todo tempo”

E a Deus meu eterno agradecimento, primeiro pela vida e neste momento, pela oportunidade de evoluir com o mestrado, sim evoluir, e me refiro a vários sentidos, além de academicamente.

Um dia pensando em desistir, uma pessoa disse para mim: “*tudo passa, o seu título de mestre não...*” Palavras simples, mas ditas na hora certa, fez toda a diferença! Foram um pouco mais de dois anos de muitos aprendizados, pessoas certas no caminho, óbvio algumas erradas também, mas prefiro salientar o bom. Na verdade é o que segue comigo nesta caminhada. A estas pessoas certas, que faço meu agradecimento. Em ordem cronológica dos fatos...

O Vinicius Loyola me indicou o programa de mestrado, valeu Vini!

O Helimar me dava carona até a UFES. Foram muito edificantes nossas viagens até Vitória, viu meu amigo? Muito obrigada! Pena ter nos abandonado na metade do caminho, quis muito que você tivesse tido a oportunidade de encontrar também, a mesma pessoa que me disse “*Tudo passa...*”

A Aline Valadares por ter sido amiga durante todo este período e foi extremamente essencial. Obrigada, amiga!

Ao Ricardo, grande prof. Franci, o responsável por eu ter continuado a acreditar depois de escutar dele: “*tudo passa...*”. Sinto orgulho de ter sido sua aluna de orientação, saiba disto! Obrigada por compartilhar comigo sua enorme sabedoria, tanto intelectual quanto de vida. Obrigada por tudo!

A Renate pela paciência, por ter me atendido nas horas de “agonias”... obrigada pela co-orientação e pela parceria de sempre.

E ao sr. Orobó, operador da ETE Samarco, pela dedicação. Sem você não teria conseguido conciliar trabalho com o mestrado. Obrigada!

Na vida somamos experiências, nossas e das pessoas que nos acompanham na caminhada. E isto nos torna mais maduros, mais nobres e mais felizes. É isto que levo destes dois anos ao lado de vocês. Muito obrigada por isto!

Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes. É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o Céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe.

(Leonardo da Vinci)

RESUMO

ALVES, J.A.D. Higienização solar de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto em estufa agrícola para produção de biossólidos. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2015.

A geração de lodo proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto cresce proporcionalmente, quando relacionado ao crescimento da população, da porcentagem de esgotos sanitários tratados e do nível de eficiência com que são tratados. As destinações finais para esse subproduto geralmente são os aterros sanitários, porém, devido ao grande volume de lodo produzido diariamente, o custo com disposição em aterro sanitário fica relativamente alto. Tendo em vista o seu potencial para uso agrícola, esta pesquisa teve como objetivo estudar o lodo de estação de tratamento de esgoto desaguado em leitos de secagem, garantindo assim a redução do teor de umidade e do volume desse material e o tratamento de higienização em estufa agrícola, para garantir o baixo nível de patogenicidade. A pesquisa foi desenvolvida através de uma campanha de testes seguida de uma repetição, que ocorreu no período de 28 de maio a 06 de agosto de 2015. Duas leiras de lodo com as mesmas características foram montadas no interior da estufa agrícola, uma leira tendo sido submetida ao repouso e a outra ao revolvimento uma vez ao dia, em dias úteis. Diariamente a temperatura interna da estufa foi anotada e semanalmente foi coletado lodo de ambas as leiras, para monitoramento dos parâmetros físico-químico e microbiológico predefinidos na Resolução Conama 375/2006. Os resultados obtidos indicaram que o lodo da ETE, tratado por higienização solar em estufas agrícolas, tem melhores e mais rápidos resultados na redução de agentes patógenos quando submetidos a períodos de pausa. Constatou-se que o lodo pode ser submetido a desidratação e higienização no próprio leito de secagem desde que mantidas as condições de baixa umidade e radiação solar direta. Conclui-se que os resultados físico-químicos e microbiológicos do lodo em estudo resultaram em biossólido Classe A, conforme a pesquisa almejava.

Palavras-chave: Lodo de esgoto. Higienização. Estufa agrícola. Biossólidos.

ABSTRACT

ALVES, J.A.D. **Solar sludge sanitizing sewage treatment plant in a greenhouse for the production of biosolids.** 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2015.

The sludge generation from Sewage Treatment Plants grows proportionally, when related to population growth, the percentage of treated sewage and the level of efficiency with which they are treated. The final destinations for this by-product are generally landfills, however, due to the large volume of sludge produced every day, the cost of disposal in landfill is relatively high. Given the potential for agricultural use, this research aimed to study the sludge dewatered sewage treatment plant in drying beds, thus ensuring the reduction of the moisture content and volume of the material and treatment of hygiene in greenhouse agricultural to ensure a low level of pathogenicity. The research was conducted through a test campaign followed by a repetition which occurred from May 28 to August 06 2015. Two sludge piles of the same type were mounted inside the greenhouse, one windrow was put to rest and the other to the revolving once a day on weekdays. Daily the internal temperature was noted and weekly was collected sludge from both piles, for monitoring of physical-chemical and microbiological parameters preset in CONAMA Resolution 375/2006. The results indicated that the sludge from ETE 1, treated by solar hygiene in greenhouses, have better and faster results in reducing pathogens when undergoing breaks. Was found that the mud may be subjected to dehydration and cleaning the bed itself since maintaining the conditions of low humidity or direct solar radiation. Was concluded that the physicochemical and microbiological results of sludge in the study resulted in Class A biosolids, according to research craved.

Keywords: sewage sludge. Hygienization. Greenhouse. Biosolids.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1: Localização da ETE Samarco.	34
Figura 4.2: Fluxograma da Estação de Tratamento de Esgoto de Ubu.....	35
Figura 4.3: Estação de Tratamento de Esgoto da Samarco, vista frontal.	36
Figura 4.4: Fluxograma da Pesquisa.....	39
Figura 4.5: Coleta do lodo em LS para montagem da 1ª campanha.....	40
Figura 4.6: Montagem da LR3 para a campanha de repetição.	40
Figura 4.7: Entrada do lodo em estufa agrícola e disposição em leira (L2).....	40
Figura 4.8: Coleta para caracterização inicial do lodo da 1ª campanha.	40
Figura 4.9 – Coleta no lado direito da LR1.....	41
Figura 4.10 - Coleta na frontal da LR1.	41
Figura 4.11 - Coleta no lado esquerdo da LR1.....	41
Figura 4.12 – Balde de coleta da LR1	41
Figura 5.1: Variações de temperatura Ambiente Externo e Interno (n=93) das Estufas Agrícolas na 1a Campanha e de repetição.	53
Figura 5.2: Variação temporal de umidade nas campanhas (1ª campanha e de repetição).	55
Figura 5.3: Variação temporal de ST nas campanhas (1ª campanha e de repetição).	56
Figura 5.4: Variação temporal de SV/ST nas campanhas (1ª campanha e de repetição).	58
Figura 5.5: Variação de Coliformes Termotolerantes (NMP/ g ST) das leiras com revolvimento (LR1 e LR3) e padrão CONAMA 375/2006.	59
Figura 5.6: Temperaturas média interna da estufa e temperatura das leiras revolvidas (LR1 e LR3).....	59
Figura 5.7: Variação de Coliformes Termotolerantes (NMP/ g ST) das leiras com revolvimento (L2 e L4) e padrão CONAMA 375/2006.	60
Figura 5.8: Temperaturas média interna da estufa e temperatura das leiras em repouso (L2 e L4).	60
Figura 5.9: Variação comparativa de presença de Coliformes Termotolerantes (NMP/ g ST) em função do tempo (dias) e em relação às normas CONAMA 375/06 e USEPA 503.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Composição de lodos brutos gerados em processos de tratamento anaeróbios e aeróbio e outros resíduos orgânicos, expressos em % em relação ao peso seco.	29
Tabela 3.2: Limites legais Internacionais e nacionais para concentrações de metais pesados em lodo.	32
Tabela 3.3 : Padrões de qualidade microbiológica de biossólidos nos EUA, Reino Unido e Brasil.....	32
Tabela 4.1: Características médias do esgoto bruto e tratado da ETE Samarco.	37
Tabela 4.2: Estimativa média da produção de resíduos sólidos da ETE.....	37
Tabela 4.3: Plano de Monitoramento do experimento.....	43
Tabela 4.4: Métodos analíticos adotados para cada parâmetro analisado.	44
Tabela 5.1: Valores médios de macro nutrientes presentes no lodo comparados com outros autores.....	47
Tabela 5.2: Composição química e presença de patógenos no lodo de entrada da 1ª Campanha.	48
Tabela 5.3: Composição química e presença de patógenos no lodo de entrada da campanha de repetição.	49
Tabela 5.4: Valores médios de metais pesados presentes no lodo comparados com outros autores.....	50
Tabela 5.5: Caracterização química e série de sólidos no lodo de entrada da 1ª campanha.....	51
Tabela 5.6: Caracterização química e série de sólidos no lodo de entrada da Campanha de repetição.	52
Tabela 5.7: Resultados de indicadores de patogenicidade das campanhas de tratamento de lodo da ETE Samarco.	62
Tabela 5.8: Resultados de indicadores de patogenicidade da 1ª campanhas de tratamento de lodo da ETE Samarco.	64
Tabela 5.9: Resultados de indicadores de patogenicidade da 1ª campanhas de tratamento de lodo da ETE Samarco.	65
Tabela 5.10: Concentrações médias, máximas e desvio padrão das leiras de lodo da 1ª campanha e da campanha de repetição.	67

Tabela 5.11: Resultados de presença de metais pesados nas campanhas, com limites de quantificações inferiores.....	68
Tabela 5.12:Concentrações iniciais e finais dos parâmetros de interesse agrônômico.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Quantidade de lodo gerado sistemas de tratamento de esgoto	25
Quadro 4.1: Detalhamento de projeto das estruturas da ETE 1 Samarco.	36
Quadro 4.2: Condições metodológicas adotadas nesta pesquisa.....	42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

Col.Termo.: Coliformes Termotolerantes

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

COT: Carbono Orgânico Total

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias e 20 °C

DQO: Demanda Química de Oxigênio

EPA: Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental)

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

FBP: Filtro Biológico Percolador

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LS: Leito de Secagem

NKT: Nitrogênio Kjeldahl

N-NH₃: Nitrogênio Amoniacal

NO₂⁻: Nitrito

NO₃⁻: Nitrato

OH: Ovos de Helmintos

PNSB: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

SNIS: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

ST: Sólidos Totais

ST: Sólidos Totais

SV: Sólidos Voláteis

SV: Sólidos Voláteis

UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo)

UV: Ultravioleta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVO GERAL.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1	TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO	21
3.1.1	Sistemas de tratamento de esgoto por reatores anaeróbios	22
3.2	GERAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ESGOTO.....	23
3.3	TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO.....	25
3.4	UTILIZAÇÃO DO LODO (BIOSSÓLIDO) NA AGRICULTURA.....	28
3.5	ASPECTOS LEGAIS RELACIONADOS AO LODO	30
3.5.1	Limites legais Internacionais	30
3.5.2	Aspectos Legais no Brasil	33
4	MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1	DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO	35
4.2	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA	38
4.2.1	Fase Experimental.....	40
4.2.2	Fase Processamento e Análise dos Dados.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO A SER TRATADO	46
5.1.1	Características microbiológicas e de potencial agrônomo	46
5.1.2	Características químicas e série de sólidos	50
5.2	ESTUDO DO EFEITO DO PÓS-TRATAMENTO DO LODO EM ESTUFA AGRÍCOLA, SOBRE SEUS TEORES DE ST, UMIDADE, SV/ST E TEMPERATURA.....	53

5.2.1	Temperatura	53
5.2.2	Umidade	54
5.2.3	Sólidos Totais (ST)	55
5.2.4	Relação SV/ST	57
5.3	AVALIAÇÃO DO DECAIMENTO DE INDICADORES PATOGENOS E INCREMENTO DE NUTRIENTES	58
5.3.1	Coliformes Termotolerantes	58
5.3.2	Outros Indicadores de patogenicidade	61
5.4	QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DO BIOSSÓLIDO	63
5.4.1	Qualidade microbiológica	63
5.4.2	Qualidade físico-química	65
6	CONCLUSÕES	70
7	RECOMENDAÇÕES	72
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	ANEXO I TEMPERATURAS INTERNAS E EXTERNAS DA ESTUFA.....	80
	ANEXO II REGISTRO FOTOGRÁFICO DE COLETAS	80
	ANEXO III LAUDOS DO MONITORAMENTO FÍSICO-QUÍMICO.....	80

1 INTRODUÇÃO

A conservação dos recursos hídricos somente será garantida por meio do correto tratamento do esgoto sanitário gerados. Por esta razão, as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) são primordiais para a preservação do meio ambiente e para a melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas (JORDÃO, PESSÔA, 2005).

De acordo com dados divulgados pelo Ministério das Cidades em 2013, através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 48,6% da população brasileira possuíam serviço de esgotamento sanitário por meio de rede coletora e, destes, apenas 39% tratavam seus esgotos. Ressalva-se, no entanto que, dentre os municípios com coleta e tratamento de esgotos sanitários, houve crescimento neste índice de 19,9% em 1989, 35,3% em 2000 para 68,8% no ano de 2008 (BRASIL, 2014).

Segundo Tsutiya (2001), com o aumento da porcentagem de esgotos sanitários tratados e do nível com que eles são tratados, há maior geração de lodo. Suas características quantitativas e qualitativas dependem de diversos fatores, tais como: tipo de esgoto, processo de tratamento de esgoto, tipo de lodo (origem do tratamento de esgoto primário, secundário ou terciário) e do processo de tratamento do lodo.

Von Sperling e Andreoli (2001) afirmam que, embora o lodo represente apenas 1 a 2% do volume do esgoto tratado, o seu gerenciamento é bastante complexo e tem um custo geralmente entre 20 a 60% do total gasto com a operação de uma estação de tratamento de esgoto. Kroiss e Zessner (2007) revelam que, na Áustria, o tratamento e a disposição do lodo gerado em ETE atingem, aproximadamente, 50% dos custos do tratamento de águas residuárias, o que corresponde a 10% das tarifas pagas pelo serviço de saneamento. O mesmo percentual de 50% também é apresentado por Leblanc et al. (2008), com base em estudos realizados nas cidades de Ontário e Greater Moncton, no Canadá.

Autores diversos e de todo o mundo citam que o crescente número de população atendida por esgoto coletado e tratado contribui conseqüentemente para o

crescimento rápido e preocupante da geração de lodo. Podemos citar os dados de geração deste resíduo informados por Hossain, Strezov e Nelson (2009): quase um milhão de m³/ano no Reino Unido, 4,2 milhões de m³/ano na Suíça, 50 milhões de m³/ano na Alemanha e 170 mil m³/ano em Singapura. Leblanc (2008) também cita a geração de mais de sete milhões de toneladas em massa seca de lodo gerado nos Estados Unidos no ano de 2004.

Para o Brasil, Pedroza et al (2014) informa que a produção estimada de lodo é de aproximadamente 150 a 220 mil toneladas por ano. Considerando que apenas 39% da população brasileira têm seu esgoto devidamente coletado e tratado (BRASIL, 2013), é de se esperar que este volume cresça pelo menos duas vezes, quando todo o esgoto for totalmente tratado no país, alcançando o valor aproximado de 500 mil toneladas de lodo por ano. Segundo Andreoli (2001) a expectativa é de multiplicar a produção deste subproduto em 3 a 4 vezes, após a ampliação dos serviços de coleta e tratamento de esgoto no Brasil.

No Espírito Santo, a Cesan estima que em 2010 a produção média de lodo gerado nas ETEs operadas por esta concessionária de saneamento, na Região Grande Vitória e no interior do Estado foi de cinco mil m³ de lodo. Ainda prevê o aumento significativo desta produção a partir da ampliação na coleta e tratamento de esgoto e a adesão da população (COSTA, 2011).

Conhecendo o potencial de crescimento da geração de lodo, é necessário preocupar-se com a destinação final adequada deste resíduo, que geralmente são os aterros sanitários, aplicações na agricultura ou incineração. Por isto também, ao dimensionar e projetar uma ETE deve ser considerado o tipo de gerenciamento de lodo a ser implantado e este, influenciará diretamente nos custos de operação e manutenção. Visando a redução de custos com transporte e disposição final deste resíduo, uma das alternativas mais interessantes que podemos citar é o desaguamento e/ou a secagem que é são tecnologias com função de reduzir o teor de umidade e o volume desse material (VANZETTO, 2012). Para isto é necessário conhecer a capacidade de desidratação do lodo em questão, que está diretamente relacionado ao tipo de sólido e à forma pela qual a água está ligada às partículas do lodo. Andreoli (2001) cita como exemplo, o lodo

ativado, que devido suas características particulares, é mais difícil de ser desaguado do que um lodo primário digerido anaerobicamente por exemplo.

Tendo em vista; o crescente volume de lodo de ETE produzido diariamente, conseqüentemente, a inviabilidade econômica e ambiental das destinações tradicionais e; o potencial agrônômico deste resíduo, é necessário identificar alternativas sustentáveis e mais nobres para seu uso. Para isto, podemos citar como exemplo, a utilização de lodo de ETE como fertilizante ou condicionador de solo. Para possibilitar o reaproveitamento deste resíduo é necessário submetê-lo além do desaguamento, também ao tratamento de higienização para garantir o baixo nível de patogenicidade. Os principais mecanismos de higienização variam desde a caleação ou estabilização alcalina, a secagem térmica entre outros (VON SPERLING, 2005).

Visando o aproveitamento das estruturas existentes na ETE Samarco e o reaproveitamento do lodo gerado no sistema de esgotamento sanitário desta empresa, esta pesquisa propôs um conjunto de ações para o tratamento de seu lodo. Através do desaguamento em leito de secagem e a higienização solar em estufa agrícola existente na ETE, composta de reator UASB acoplado a biofiltros percoladores (FBPs). Objetivando a produção de biossólido¹, classe A conforme definido na Resolução CONAMA 375/2006, com vistas a sua utilização em serviços internos de jardinagem e, conseqüentemente, a redução de custos com destinação deste resíduo em aterro sanitário.

1 Biossólidos é qualquer produto orgânico resultante do tratamento de esgotos, que pode ser benéficamente utilizado ou reciclado (USEPA, 1995).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Essa pesquisa tem por objetivo avaliar as alterações das características físico-químicas e microbiológicas do lodo de uma estação de tratamento de esgoto (ETE), associando em série um reator UASB e um filtro biológico percolador, quando submetido à higienização em estufa agrícola, tendo como alternativa a disposição final deste resíduo como condicionador de solo para jardinagem.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Caracterizar físico-química e microbiologicamente o lodo de Estação de Tratamento de Esgoto da área administrativa de uma Empresa de Mineração;
- Estudar o efeito do tratamento do lodo em estufa agrícola sobre seus teores de Sólidos Totais, Sólidos Voláteis e de umidade;
- Avaliar o decaimento de patógenos no lodo ao longo do período de sua permanência na estufa agrícola;
- Comparar a qualidade do biossólido produzido com os padrões nacionais e internacionais para seu uso na agricultura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

O tratamento de esgotos consiste na remoção de poluentes como foco principal para a manutenção da saúde coletiva e o controle da poluição ambiental. O método de tratamento a ser utilizado varia de acordo com as características físicas, químicas e biológicas do esgoto.

Para tratar a diversidade de esgotos gerados indicam-se como uma alternativa eficiente a combinação de sistemas anaeróbios com aeróbios que garantem um efluente tratado de boa qualidade cujos parâmetros, enquadram-se nas exigências legais e ambientais. Isto porque o sistema aeróbio elimina do efluente, quase que totalmente, os compostos orgânicos e inorgânicos (CASTILLO *et al.*, 1997; TORRES, FORESTI, 2001; ROS, VRTOVESK, 1998). Por isso é importante ressaltar que, na medida em que mais estações de tratamento em nível secundário se tornam necessárias para preservação dos corpos d'água receptores, maior será a geração de lodos produzidos por estas estações de tratamento de esgotos (CHAGAS, 1999).

Nos processos biológicos de tratamento, ou seja, no nível secundário, a parte da matéria orgânica é absorvida e convertida em biomassa microbiana, a qual compõe o lodo secundário, constituído principalmente de sólidos biológicos. O termo lodo tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos dos tratamentos de esgotos que é rico em nutrientes e matéria orgânica (COSTA *et al.*, 2008). Para que este termo possa ser adotado é necessário ainda que suas características químicas e biológicas sejam compatíveis com uma utilização produtiva, como por exemplo, na agricultura.

A USEPA (1995) apresentou o termo biossólidos para incentivar o uso do lodo de esgoto, principalmente na agricultura. Biossólidos são definidos como “qualquer produto orgânico resultante do tratamento de esgotos, que pode ser benéficamente utilizado ou reciclado”. Benéficamente desde que não provoque danos ambientais ou prejuízos para a saúde humana e de animais (USEPA, 1995).

Costa (2011) relata que utilizar tecnologias de tratamento de esgoto que tenham baixa produção de lodo, que seja de boa qualidade e reciclar o maior volume de lodo possível devem ser diretrizes das empresas de saneamento.

O tratamento de esgotos é um sistema constituído de conjunto de operações unitárias capazes de fazer o polimento do efluente e é classificado de acordo com este nível de polimento, podendo variar de preliminar, primário, secundário e terciário. O nível preliminar de tratamento de esgotos objetiva a remoção de sólidos grosseiros, enquanto o nível primário visa remover os sólidos sedimentáveis. Nestes níveis a predominância é de mecanismos físicos. Já o tratamento secundário, o principal objetivo é a remoção de matéria orgânica e de nutrientes. O tratamento de nível terciário remove poluentes específicos e/ ou não removidos no tratamento secundário (TCHOBANOGLOUS; BURTON; STENSEL, 2002).

O processo de tratamento secundário ocorre através da biodegradação anaeróbia e / ou aeróbia. Na biodegradação aeróbia, ou seja, com a presença de oxigênio, os micro-organismos aeróbios e facultativos promovem o polimento do efluente, resultando em água, gás carbônico e lodo. Na via anaeróbia, os microorganismos anaeróbios iniciam sua atividade com a ausência de oxigênio dissolvido no esgoto e resultando deste processo os gases carbônico, sulfídrico e metano, mais água e lodo.

3.1.1 Sistemas de tratamento de esgoto por reatores anaeróbios

O uso da tecnologia anaeróbia representa um grande potencial para o tratamento de esgotos sanitários, devido às diversas vantagens apresentadas por esses sistemas como o baixo custo de implantação e operação, o baixo consumo de energia, a baixa produção de lodo, boa tolerância a altas cargas orgânicas e a possibilidade de operar o sistema com tempos de retenção de sólidos mais elevados e tempos de detenção hidráulica reduzida (FERREIRA, 2015). Segundo o mesmo autor, países de clima tropical e subtropical, como o Brasil, a vantagem do sistema anaeróbio aliado às condições climáticas favoráveis torna os

processos anaeróbios mais eficientes do que nos países de clima temperados (FERREIRA, 2013 apud CHERNICHARO, 2007). Por isto, é comum encontrar no Brasil, diversos esgotos sanitários municipais sendo tratados por reatores UASB, que consiste em:

Um tanque onde os esgotos são introduzidos na parte inferior, passando por meio de um leito de grânulos ou flocos com elevada massa de micro-organismos, e vertendo pela parte superior do tanque. Devido às condições impostas pelo sistema, os sólidos suspensos são em grande parte retidos no reator; os micro-organismos agrupam-se em flocos ou grânulos sedimentáveis formando uma camada espessa de lodo. Acima do leito de lodo se desenvolve uma zona de crescimento bacteriano mais disperso, denominada manta de lodo, onde os sólidos apresentam baixas velocidades de sedimentação. A remoção do substrato ocorre através de todo o leito e da manta de lodo, sendo mais pronunciada no leito de lodo. A presença de separador trifásico (gases, sólidos e líquidos), faz com que os gases gerados não carreguem os sólidos, garantindo seu retorno. Acima do separador trifásico configura-se uma câmara de decantação onde o lodo pesado é removido da massa líquida e retornado ao compartimento de digestão, enquanto as partículas mais leves são perdidas com o efluente. (ROCHA, A. L. C. I. 2009, p27.)

Para a ETE objeto de estudo desta pesquisa o tratamento é constituído por um reator UASB seguido de um biofiltro percolador (BF). O biofiltro percolador consiste de um leito com material plástico, onde o efluente percola de maneira descendente pelo leito do filtro em direção aos drenos de fundo, promovendo o contato do efluente com a superfície do suporte, onde se encontra o biofilme. Este processo, além de promover a redução considerável de DBO no efluente também é eficiente na redução de amônia por nitrificação (VON SPERLING, 2005).

3.2 GERAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ESGOTO

Qualquer processo de tratamento de esgotos gera lodos e, em todos os sistemas, é necessário o descarte desse resíduo, podendo ser de retirada periódica ou por períodos maiores (anos) durante todo seu horizonte de operação. De acordo com Andreoli *et al.* (2001), os diferentes sistemas de tratamento e seus respectivos estágios geram lodos com características e quantidades variáveis. Por isso, o lodo recebe diversas nomenclaturas, que a seguir foram distinguidas como:

a) Lodo bruto ou primário: composto por sólidos sedimentáveis gerado nos decantadores primários. O lodo primário pode exalar mau cheiro, principalmente se ficar retido por muito tempo nos decantadores, com coloração acinzentada, pegajoso, facilmente fermentável, e de fácil digestão sob condições adequadas de operações da estação de tratamento de esgoto;

b) Lodo biológico ou secundário: compreende a própria biomassa gerada através da remoção da matéria orgânica (alimento) fornecido pelo esgoto afluente. Gerado em reatores biológicos, com aparência floculenta, coloração de marrom a preta, odor pouco ofensivo quando fresco e pode ser digerido sozinho ou misturado ao lodo primário (neste caso chamado de lodo misto). Vale ressaltar que estes sólidos não se encontram estabilizados (digeridos) necessitando de uma etapa posterior, de digestão.

c) Lodo digerido: aquele que sofreu estabilização biológica aeróbia ou anaeróbia, não possui odor ofensivo e é marrom escuro este lodo não requer uma etapa de digestão posterior. (ANDREOLI, VON SPERLING, FERNANDES, 2011, p.15).

O lodo representa de 1 a 2% do volume do esgoto tratado, e isto varia também com o tipo de tratamento adotado. No quadro 3.1 apresentam-se o quantitativo de lodo gerado de acordo com o tipo de tratamento.

Os autores Costa, A. N. e Costa, A. F. (2011, p.12) citam que, do total de sólidos presentes no efluente sanitário, cerca de 30% são constituídos por areia, sais, metais e etc (inorgânicos), 70% correspondem a proteínas, carboidratos, gorduras etc. Mesmo o lodo de esgoto sendo um material rico em matéria orgânica, como se pôde observar nas porcentagens apresentadas no Quadro 3.1 e concentração representativa de nitrogênio e outros minerais de interesse agrônômico, seu uso para tratamento de solo deve ser controlado, em razão dos riscos de contaminações do ambiente com substâncias orgânicas potencialmente tóxicas, metais pesados e patógenos.

Sistemas de Tratamentos	Produção de lodo produzido (L/hab.dia)
Lagoas facultativas	0,05 – 0,15
Reator UASB	0,2 – 0,6
Lodos ativados convencionais	3,1 – 8,2
Aeração prolongada	3,3 – 5,6
Lagoa anaeróbia	0,1 – 0,3
Filtro biológico de alta carga	1,4 – 5,2
Lagoa aerada facultativa	0,08 – 0,22

Quadro 3.1: Quantidade de lodo gerado sistemas de tratamento de esgoto

Fonte: Metcalf e Eddy (2002) citado por Pedroza et al (2010).

3.3 TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO

Os tratamentos de lodo de esgoto envolvem processos que buscam a redução de umidade, de volume e patógenos. A escolha pelo tratamento de lodo dependendo da destinação final que pretende dar a este resíduo, podendo ser aterro sanitário, incineração ou uso agrícola.

Os principais processos aplicados no lodo para a redução de volume variam de:

Tratamento por adensamento ou espessamento que é um processo físico de concentração de sólidos no lodo visando reduzir sua umidade, sendo este processo mais aplicado em processos primários de tratamento de esgoto;

Processo de condicionamento é a preparação do lodo através de adição de produtos químicos e/ou térmico para aumentar a habilidade do lodo à desidratação, pois acelera a remoção da água e melhora a captura de sólidos nos sistemas de desaguamento. Alguns processos de condicionamento também promovem a desinfecção dos lodos e reduzem os odores além de melhorar a recuperação de sólidos. Este processo geralmente precede a etapa de desaguamento (TCHOBANOGLIOUS; BURTON; STENSEL, 2002).

O Desaguamento ocorre através de meios mecanizados ou naturais. Os processos naturais utilizam a evaporação e a percolação como principais mecanismos de remoção de água e demanda tempo de exposição do lodo às condições que resultam no desaguamento. Os processos mecanizados baseiam-se em mecanismos tais como filtração, compactação ou centrifugação para acelerar o desaguamento, resultando em unidades mais compactas comparadas com os mecanismos naturais (WANKE et al, 2002).

Os benefícios do desaguamento não se limitam a apenas a redução dos custos com transporte proveniente da redução de água no lodo, possibilitam que o biossólido receba outros tratamentos posteriores e seja empregado como condicionador de solo (VANZETTO, 2012).

Processo de estabilização química que consiste em tornar instável a atividade biológica no lodo, através da adição de um composto inorgânico como o cal ou o cloro, impedindo a atividade de putrefação da matéria orgânica logo, impedindo a liberação de odores e a concentração de microrganismos patógenos (Costa, A. N. e Costa, A. F. 2011).

Tratando-se de lodo proveniente de efluentes domésticos municipais, deve-se atentar para a sua composição, que pode conter diversidade considerável de organismos patógenos. Podemos citar alguns causadores de doenças infecciosas com transmissão direta pelo contato com o ambiente, como as bactérias, os protozoários, vírus e helmintos (FEACHEM et al. 1983; MAIER; PEPPER; GERBA, 2009; NRC, 2002; US EPA, 2003). De acordo com Gerba e Smith et al (2003), todos estes organismos transmissores de doenças infecciosas se encontram presentes no lodo e afirma que mais de 150 micro-organismos patogênicos entéricos são conhecidos e podem estar presentes nos lodos.

Por isto que se submetem lodos de ETE para uso na agricultura a processo de higienização. O processo de higienização consiste em garantir condições ambientais adequadas para a eliminação ou redução de patógenos. Como ocorre, por exemplo, através da elevação na temperatura, no mecanismo de digestão aeróbio auto térmica e a secagem térmica, ou aumento do pH do lodo, através da

caleação ou estabilização alcalina (TCHOBANOGLIOUS; BURTON; STENSEL, 2002).

Vale ressaltar que, de acordo com informações apresentados por Yeager e O'Brien (1983, apud COMPARINI, 2001) e resultados obtidos por Comparini (2001) o processo de higienização pode ser interrompido após atingir teores de sólidos acima de 90%, possibilitando eliminação de microorganismos patogênicos.

Algumas pesquisas garantem a eficácia do processo de higienização, como a de Calheiros, Ribeiro e Camargo (2011) que analisou a desidratação do lodo proveniente de reator anaeróbio compartimentado após dois anos de funcionamento sem descarte do lodo, submetendo o lodo ao desaguamento em leito de secagem com camomila e, o processo de higienização usando cal virgem. E concluiu que o leito de secagem com plantas favorecem a desidratação do lodo, a higienização através de aplicação de cal favorece a eliminação de coliformes termotolerantes, porém, observou que para inativar ovos de helmintos, precisa-se de maior tempo de exposição do lodo com a cal ou dosagem elevada de cal.

Os autores FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. FRANÇA, M.; CHERUBINI (2003) avaliaram se houve melhoria na secagem e na higienização do lodo, através de monitoramento de temperatura, teor de sólidos e ovos de helmintos, após a injeção subsuperficial de calor, proveniente do aquecimento do óleo pelo biogás produzido durante o processo de tratamento do esgoto, em leito de secagem coberto com estufa plástica. Os resultados obtidos foram favoráveis ao aproveitamento do calor proveniente do biogás em tubulações com distanciamento de 30 cm, resultando na inviabilidade de ovos de helmintos em menor tempo.

Lima (2010) desenvolveu seu experimento com lodo proveniente de sistema UNITANK aeróbio, submetendo o lodo estabilizado aerobiamente e não encaminhado ao digestor aeróbio, à secagem em estufa agrícola com e sem adição de cal. O experimento compreendeu de três ciclos com tratamentos distintos para cada, variando a altura de montagem das leiras, submetido ou não

a caleação e quantidade de dias que as leiras eram revolvidas por semana e, sendo:

Ciclo 1: Nos primeiros 14 dias o lodo era espalhado com altura de 10 cm e revolvido três vezes por semana e após este período, formava-se leiras de 50 cm de altura e revolia cada leira uma vez na semana;

No ciclo 2: lodo espalhado com altura de 10 cm nos primeiros 14 dias e a partir, lodo espalhado com altura de 10 cm e 50 e revolvimento ocorrendo três vezes na semana durante todo o ciclo.

No ciclo 3: Durante todo o ciclo, o lodo foi espalhado em duas alturas, 10 e 20 cm respectivamente e revolvido três vezes na semana.

Monitoravam-se quinzenalmente os parâmetros definidos na Resolução CONAMA 375/2006 e obteve resultados favoráveis de redução de coliformes termotolerantes em ambos os tratamentos adotados, porem em menor tempo, nos lodos submetidos a cal virem. Possibilitando evidenciar a potencialidade da estufa na higienização do lodo (LIMA, 2009).

Para cada processo de tratamento adotado na estação e no lodo, o subproduto final poderá ter diferentes características químicas e físicas e, isto que definirá o melhor destino a ser dado ao lodo e ao mesmo tempo o potencial agrícola a ser explorado (DAVID, 2002).

3.4 UTILIZAÇÃO DO LODO (BIOSSÓLIDO) NA AGRICULTURA

O lodo de ETE após ser submetido a tratamento para desidratação e higienização é classificado como bioossólidos, cuja terminologia é utilizada para destacar seu potencial de uso na agricultura, através do aproveitamento da matéria orgânica, de seus nutrientes e da umidade (NEBRA, 2007). Os macro, micronutrientes e matéria orgânica, são elementos relevantes para a manutenção da fertilidade do solo conseqüentemente, da produção agrícola, salienta Costa et al (2011). Além da matéria orgânica contida no bioossólido aumentar a quantidade de húmus

melhorando a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, reduzindo relativamente a erosão.

O termo bio sólidos também é documentado em dicionários como de New Oxford Dictionary of English (1998) e Merriam-Webster's Collegiate Dictionary (1998). Ambas as definições reforçam que são matéria orgânica recuperada de ETE's e utilizada como fertilizante, principalmente, na agricultura.

Na tabela 3.1 são apresentadas para comparação os principais parâmetros de valor agrônomico dos lodos da CESAN e características de alguns esterco. Nesta tabela pode-se observar que os teores de matéria orgânica e de macro nutrientes são compatíveis com teores encontrados em adubos orgânicos comumente aplicados em solos agrícolas.

Tabela 3.1: Composição de lodos brutos gerados em processos de tratamento anaeróbios e aeróbio e outros resíduos orgânicos, expressos em % em relação ao peso seco.

Resíduos Orgânicos	Tipo de Tratamento	Umidade MO pH N P K Ca Mg C/N								
		%								
Lodo de ETE CESAN										
Pedro Canário	UASB	23	43	4,8	2,4	0,5	0,5	0,5	0,1	10/1
Castelo	UASB	14	50	6,1	2,9	0,6	0,5	0,7	0,1	10/1
Venda Nova	UASB	18	46	5,4	2,7	0,6	0,5	0,6	0,1	11/1
Jardim Botânico	UASB	32	44	4,3	2,5	0,5	0,8	1	0,15	10/1
Vale Encantado	UASB	40	36	5	2,3	0,5	0,7	1	0,2	9/1
Mantenópolis	UASB	17	37	5,4	2,3	0,6	0,9	0,9	0,2	9/1
Marcílio de Noronha	Lodo ativado	37	48	5,9	2,9	1,8	0,6	0,9	0,2	9/1
Araças		81	71	5,9	3,7	3,5	0,5	0,9	0,2	9/1
Estercos										
Cama de frango		26	73	8	2	1,9	2,2	7,7	0,4	21/1
Esterco		54	45	8,4	1,5	0,5	1,8	1	0,5	18/1

Fonte: COSTA, 2011.

Segundo Rocha (2009) os efeitos da aplicação da matéria orgânica no solo podem ser observados a longo do tempo, e contribuem positivamente com a dinâmica do solo, alterando inclusive suas características físicas, químicas e biológicas. Enquanto os efeitos de aplicação de nutrientes podem ser verificados em menor prazo. Ressalta ainda que, deve obedecer a taxa de aplicação de macro e micronutrientes no solo, de acordo com a quantidade que a planta necessita para seu desenvolvimento, evitando riscos de lixiviação.

O potencial do lodo na disposição em áreas agrícolas já é comprovado, tanto na bibliografia nacional quanto na internacional, através de diversas publicações e de diferentes naturezas encontradas sobre o assunto.

No Brasil, a reciclagem agrícola tem sido de interesse principalmente dos estados de São Paulo, Distrito Federal e Paraná. O Estado do Paraná foi o pioneiro no interesse desta prática, incentivando em 1988, através da Concessionária de saneamento, a temática de disposição final de lodo gerado em suas estações como tema prioritário em suas pesquisa (ROCHA,2009).

Para o cenário mundial, Andreoli (2008) apresenta índices de reciclagem do lodo para uso agrícola de 70% na Espanha, 62% na Noruega, 15% no Japão, 29% no Canadá, 37% na Europa, 60% nos EUA e 50% em Nova Zelândia.

Acredita-se que a prática de higienização do lodo para fins agrícola deve ser mais bem difundida nos próximos anos, levando em consideração principalmente os benefícios ambientais e financeiros desta prática (LIMA, 2009).

3.5 ASPECTOS LEGAIS RELACIONADOS AO LODO

3.5.1 Limites legais Internacionais

O termo “biossólidos” surgiu por volta da década de 70, nos Estados Unidos. Na Europa, a diretiva para toda a União Européia sobre disposição e uso de lodo foi estabelecida em 1986, onde definiu limites de elementos potencialmente tóxicos nos lodos, objetivando a prevenção de problemas de contaminação das águas

superficiais, subterrâneas e do solo, bem como problemas de fitotoxicidade dos produtos gerados.

A Diretiva Europeia regulamentou os limites dos elementos traço por diversas faixas de pH do solo (MACHADO, 2001). Segundo Figueiredo (1997 *apud* MACHADO, 2001) a Diretiva teve como fundamento a observação de valores de concentrações admissíveis de metais pesados no lodo, da concentração destes elementos no solo que recebe o lodo e a quantidade máxima anual dos metais pesados permissíveis no solo.

No Reino Unido especialmente, o controle da aplicação de lodo de esgotos em solos é estabelecido na Sludge (Use In Agriculture) Regulations de 1989, a qual constitui, basicamente da Diretiva 86/278/CEE de 1986 (CEC, 1986). Essas regulamentações são complementadas pelo Código de Boas Práticas (Code Of Practice) emitido pelo Department Of the Environment, o qual apresenta exigências mais detalhadas para o monitoramento da qualidade do lodo e do solo e define restrições para a aplicação do biossólido.

Apenas em 1993, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) promulgou o uso e disposição dos lodos de esgoto por meio da norma *Code of Federal Regulations, nº 40, Part 503 – Standards for the use disposal of sludge (40 CFR, Part 503)*. De acordo com essa norma, as exigências e restrições para aplicação no solo dependem, prioritariamente, da qualidade do biossólido, que pode ser classe A ou B (USEPA, 1994).

Na América do Sul, somente o Brasil, Chile, Argentina e México possuem regulamentações para a utilização do lodo. Na Argentina a regulamentação sobre lodos segue padrões da Diretiva Europeia para metais pesados, no Chile esses valores são mais restritivos, enquanto no Brasil e no México as normas baseiam-se na EPA 503 (PATRI, 2008).

Na tabela 3.2 e 3.3 a seguir, é possível comparar os valores fixados de limites entre normas internacionais e do Brasil para parâmetros químicos e microbiológicos.

Tabela 3.2: Limites legais Internacionais e nacionais para concentrações de metais pesados em lodo.

Parâmetro	USEPA 503 (mg / Kg)	DIRETRIZ 86/278/EEC (mg / Kg)	Alemã (1992) (mg / Kg)	CONAMA 375/06 (mg / Kg)
Arsênio	41	-		41
Cádmio	39	20 a 40	10 ou (5*)	39
Chumbo	300	760 a 1200	900	300
Cobalto	-		-	-
Cobre	1500	1000 a 1750	800	1500
Cromo	-		900	1000
Mercúrio	17	16 a 25	8	17
Molibdênio	()	--	-	50
Níquel	420	300 a 400	200	420
Selênio	100	-	-	100
Zinco	2800	2600 a 4000	-2500	2800

Obs,: * Limites para solos arenosos

Tabela 3.3 : Padrões de qualidade microbiológica de biossólidos nos EUA, Reino Unido e Brasil.

País	Coli. Termo ou E.Coli.	Salmonella	Vírus Entéricos	Ovos de helmintos
Classe A				
EUA	< 10 ³ CTer / g ST	< 3NMP / 4 g ST	< 1 UFP / 4 g ST	< 1 / 4 g ST
Reino Unido	< 10 ³ E.Coli. / g ST	ND em 2 g ST	NE	NE
Brasil	< 10 ³ CTer / g ST	ND em 10 g ST	<0,25 UFP ou UFF / g ST	<0,25 ovo/ g ST
Classe B				
EUA	< 2 x 10 ⁶ CTer / g ST	NE	NE	NE
Reino Unido	< 10 ⁵ E.Coli / g ST	NE	NE	NE
Brasil	10 ⁶ E.Coli / g ST	NE	NE	< 10 / g ST

CTer: Coliformes Termotolerantes; NMP: número mais provável; UFP: unidade formadora de placa; UFF: unidade formadora de foco; ST: sólidos totais; ND: não detectável; NE: não especificado.

3.5.2 Aspectos Legais no Brasil

No Brasil, visando a solução para a disposição do lodo de esgoto sanitário, que tem seus níveis de geração crescente e por isto preocupante, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) definiu critérios e procedimentos de uso agrícola deste substrato, através da Resolução 375/2006.

A Resolução CONAMA 375/2006, assim como as normas do exterior (Tabela 3.3), prevê a classificação do biossólidos em classe A e B. O biossólido Classe A é aquele que além de atender limites físico-químicos, precisa alcançar valores mínimos de presença de patógenos, que são os coliformes termotolerantes, ovos de helmintos, salmonella e vírus entéricos. A princípio, esta classe de biossólido pode ser aplicada em qualquer cultura, desde que as limites físico-químicos e microbiológicos sejam observadas (BRASIL, 2006).

A classe B de biossólidos restringe o uso apenas em plantações de cafezais, culturas fibrosas ou oleaginosas ou na silvicultura, desde que seja incorporado ao solo mecanicamente e que sejam obedecidas as restrições de colheita e de acesso público respeitando os limites físico-químicos estabelecidos (BRASIL,2006).

Antecedendo a publicação da Resolução CONAMA nº375/2006 alguns Estados brasileiros se preocupavam com o manuseio adequado do lodo e publicavam normas e manuais. Podemos citar em 1999, no Estado de São Paulo, a CETESB (Companhia de Saneamento Ambiental) estabeleceu normas provisórias estaduais, a Norma Técnica P4. 230, que regulamentam o uso agrícola de lodos resultantes de tratamentos biológicos e no Paraná, através da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) publicou Manuais Técnicos para orientar o futuro usuário do lodo do esgoto, os operadores de ETE's e os tomadores de decisão sobre o procedimento de produção do lodo, também definiu métodos de higienização adequados ao uso agrícola (TOLEDO et al, 2012 apud PIRES, 2006).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida com lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Samarco, localizada no município de Anchieta ES (Figura 4.1).



Figura 4.1: Localização da ETE Samarco.

Os testes de higienização do lodo ocorreram após seu desaguamento em leitos de secagem, transporte do lodo desaguado para a estufa agrícola e montagem de duas leiras deste substrato. Uma leira de lodo foi submetida a revolvimento pela manhã nos dias úteis e a outra mantida em repouso durante todo o período da campanha.

O tratamento do lodo aconteceu em duas campanhas, com duração de seis (06) semanas contabilizando 43 dias cada uma. Os efeitos do tratamento foram avaliados atentando-se para os parâmetros definidos na Resolução CONAMA n° 375/2006. O período das campanhas foi de 28 de maio a 06 de agosto de 2015 .

4.1 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A ETE da Samarco é alimentada por água residuária proveniente de banheiros e restaurantes da área administrativa da empresa, e foi dimensionada para tratar uma vazão média de 3,2 l/s, referente a uma população de 1680 funcionários. O esgoto afluente à ETE recebe tratamento em nível terciário, pela associação de reatores anaeróbios tipo UASB, de filtros biológicos percoladores, decantadores secundários e desinfecção através de radiação ultravioleta. O tratamento preliminar compreende de gradeamento, seguido de caixa de areia e calha Parshall onde se remove os sólidos grosseiros, areia e mede-se a vazão de entrada.

O tratamento biológico promove a remoção da matéria orgânica e é composto por 2 (dois) reatores UASB agrupados, com separação entre eles por uma parede divisória única e 4 (quatro) filtros biológicos percoladores construídos acoplados aos reatores UASB. O sistema compreende ainda, de uma etapa de desinfecção, através de radiação ultravioleta (UV) para a remoção de microrganismos patogênicos. Nas Figuras 4.2 e 4.3 apresenta-se o Sistema da ETE, e no Quadro 4.1 apresenta-se o detalhamento de projeto das estruturas que compõe a ETE Samarco.

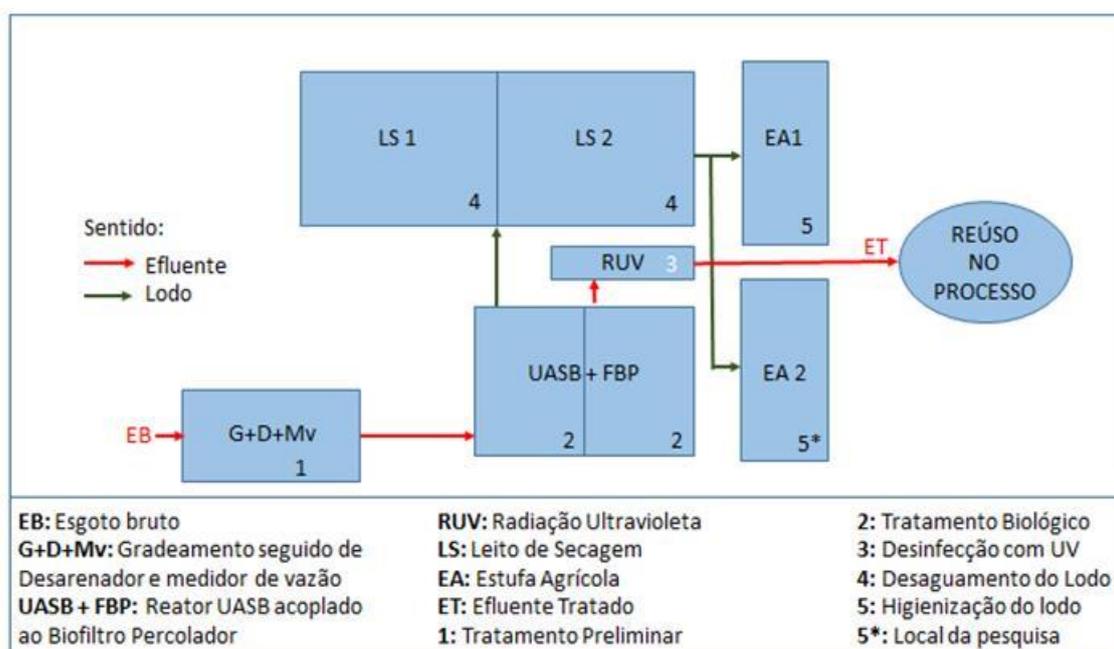


Figura 4.2: Fluxograma da Estação de Tratamento de Esgoto de Ubu.



Figura 4.3: Estação de Tratamento de Esgoto da Samarco, vista frontal.

Unidade	Dimensões	Características
Elevatória de Esgoto Bruto		Número de bombas 01 + 01; Tipo submersível; Vazão de cada bomba 28,80 m ³ /h; Altura manométrica 10,54 m; Potência requerida 2,60 kw; Rotação 1740 rpm; Rendimento 31,8%.
Grade Fina		Largura do canal: 0,30 m Espessura da barra: 6,4 mm Número de barras: 18; Espaçamento entre barras: 10 mm; Ângulo com a horizontal: 60°
Desarenador	0,35 x 5,00 x 0,30	Por gravidade; Número de canais – (un) 2; Profundidade do rebaixo – (m) 0,30
Calha Parshal	Modelo W 3"	Construída em resina termofixa de poliéster reforçada com fibra de vidro, em carcaça única. Com sistemas de medição de nível ultrassônico.
Reatores UASB	3,00 x 3,20 x 4,70	Formato retangular; Volume útil de cada reator: 45,12 m ³ .
Filtros Biológicos Percoladores	1,20 x 6,40 x 2,20	Meio suporte para FBP em formato Cilíndrico em material em resina termoplástica, polipropileno cor preta reciclado, de baixo peso específico; Contagem de peças: 952 peças/m ³ .
Leitos de secagem	6,0 x 10,0 x 1,00	
Estufa agrícola	3,00 x 9,00	

Quadro 4.1: Detalhamento de projeto das estruturas da ETE Samarco.

A eficiência de tratamento pode ser observada através dos monitoramentos mensais da qualidade do afluente e do efluente da ETE, no período de janeiro a julho de 2015 apresentados na Tabela 4.1 abaixo. O efluente tratado é encaminhado para a utilização como água de processo na Empresa.

Tabela 4.1: Características médias do esgoto bruto e tratado da ETE Samarco.

Data de Coleta	DBO mg/L		DQO mg/L		Fósforo total mg/L		Nitrogênio amoniacal		pH		Coli. Fecais NMP/100mL		Sólidos Sedimentáveis	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
07/01/2015	211	30,8	311	56,2	3,95		98,4	94,7	8,1125	7,865	1,7E+06	1,5E+06	4	2
05/02/2015	486	91,8	1060	147	2,63	1,88	71,95	71,5	6,88	6,78	2,5E+05	2,4E+04	2	1,5
05/03/2015	68,4	41,7	99	75	0,031	1,59	67,1	29,9	6,75	7,03	3,0E+05	6,0E+05	1,1	0,11
06/04/2015	207	35,4	215	89,7	0,036	0,01	44,1	23,1	7,055	7,1125	1,5E+04	3,8E+03	3	0,4
11/05/2015	215	122	3060	131	0,0822	1,738	48,85	61,32	7,01	7,6225	1,1E+06	4,0E+03	3	0,4
05/06/2015	107	29,6	762	69,2	4,26	5,21	59,94	90,76	6,9375	7,055	5,8E+05	7,9E+05	5	3
10/07/2015	124	46,8	345	96,6	3,8	5,53	100,8	94,08	7,1975	7,56	1,9E+05	6,0E+05	0,1	0,4
Nº de amostras	7	7	7	7	7	6	7	7	7,0	7,0	7	7	7	7
Mediana	207	41,7	345	89,7	2,6	1,8	67,1	71,5	7,0	7,1	3,E+05	6,E+05	3,0	0,4
Mínimo	68,4	29,6	99	56,2	0,0	0,0	44,1	23,1	6,8	6,8	1,E+04	4,E+03	0,1	0,1
Máximo	486	122	3060	147	4,3	5,5	100,8	94,7	8,1	7,9	2,E+06	1,E+06	5,0	3,0
Média	202,6	56,9	836,0	95,0	2,1	2,7	70,2	66,5	7,1	7,3	6,E+05	5,E+05	2,6	1,1
Eficiência		72%		89%		-26%		5%				15%		57%

O lodo biológico excedente dos reatores UASB segue para desaguamento nos 02 leitos de secagem com dimensões de 6,0x10,0 m² e altura da camada de lodo prevista de 0,35 m. Atualmente, os resíduos sólidos retidos no gradeamento, a areia capturada no desarenador e o lodo desaguado são destinados a um aterro sanitário. O biogás é queimado em queimadores com ignição automática, localizado nas proximidades do UASB, sem recuperação de energia.

De acordo com o memorial de projeto da ETE estima-se a produção diária de lodo de 28,52 kgST/d (base seca). Considerando-se um teor de ST de 35% e um peso específico de 1.040 kg/m³, o volume de lodo desaguado estimado de 0,078 m³/d e produção mensal de 2,34 m³/mês.

Na tabela 4.2 apresenta-se a estimativa da produção de resíduos sólidos na ETE SAMARCO por compartimento.

Tabela 4.2: Estimativa média da produção de resíduos sólidos da ETE.

Vazão média	Material Gradeado		Areia		Lodo Desaguado		Material p/ disposição		
	l/d	m ³ /m	l/d	m ³ /m	l/d	m ³ /m	l/d	m ³ /m	Acum.(m ³ /a)
3,2	11,1	0,33	8,3	0,25	78	2,3	97,4	2,9	34,8

Legenda: l/d – litros por dia; m³/m – metros cúbicos por mês; m³/a – metros cúbicos por ano.

4.2 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA

No presente trabalho foi estudado o comportamento das características físicas, químicas e microbiológicas do lodo da ETE, quando submetido a tratamento em estufa agrícola. O objetivo de qualidade foi atender os padrões exigidos para biossólido Classe A, de acordo com a Resolução Conama 375/2006.

O desenvolvimento desta pesquisa foi dividido em duas distintas fases: a fase experimental e a fase de processamento e análise dos dados (Figura 4.4).

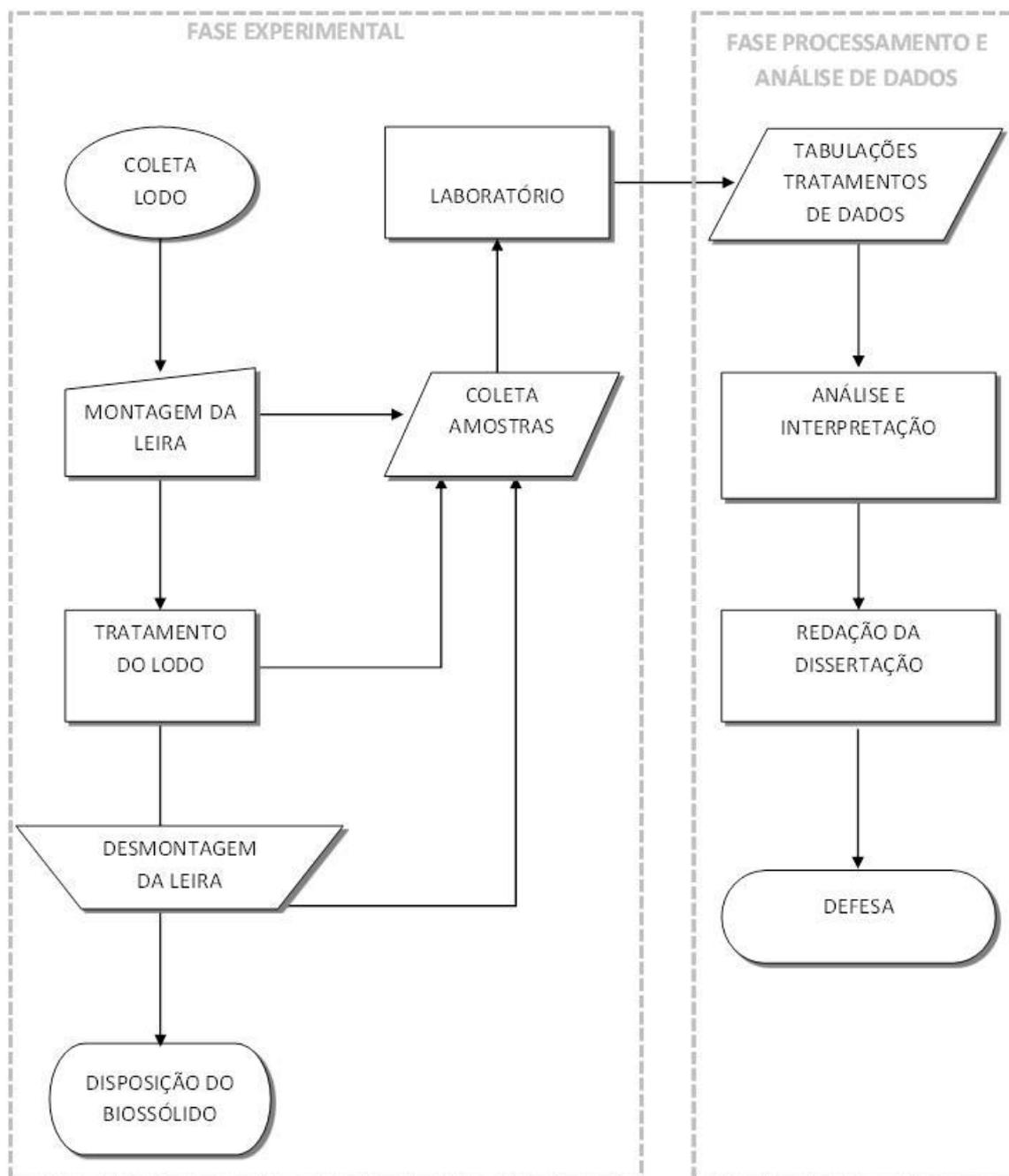


Figura 4.4: Fluxograma da Pesquisa.

4.2.1 Fase Experimental

A fase experimental compreendeu uma campanha de testes seguida de uma repetição, sendo cada campanha constituída de dois lotes de lodo com procedimento experimental diferenciado (Figura 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8).



Figura 4.5: Coleta do lodo em LS para montagem da 1ª campanha.



Figura 4.6: Montagem da LR3 para a campanha de repetição.



Figura 4.7: Entrada do lodo em estufa agrícola e disposição em leira (L2).



Figura 4.8: Coleta para caracterização inicial do lodo da 1ª campanha.

O lodo excedente do reator UASB era submetido ao desaguamento, através de seu descarte em leito de secagem (LS) e repouso de 40 dias. Após conclusão deste período, o lodo era transportado utilizando carrinho de mão até a estufa agrícola e dispostos em leiras com aproximada 40 cm de altura cada. No mesmo dia coletava-se amostra do lodo, objetivando a caracterização inicial do lodo.

As amostras eram coletadas semanalmente por leira de lodo em tratamento, em baldes e colheres individualizadas. As amostras coletadas eram do tipo composto, sendo constituídas por várias alíquotas coletadas nos seguintes locais de cada leira: lateral esquerda, lateral direita, central e frontal. Após a coleta, as amostras com volume de 1,5 kg eram colocadas em três recipientes de plásticos e misturadas durante 2 minutos com colheres metálicas, para efeito de homogeneização (figuras 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12).



Figura 4.9 – Coleta no lado direito da LR1.



Figura 4.10 - Coleta na frontal da LR1.



Figura 4.11 - Coleta no lado esquerdo da LR1.



Figura 4.12 – Balde de coleta da LR1

A parte operacional do experimento teve o apoio dos operadores da ETE, que em dias úteis, faziam leitura da temperatura ambiente através de um termômetro industrial e anotações da temperatura interna da estufa em horários preestabelecidos, que era respectivamente, as 08, 12 e 16 horas. Pela manhã, as leiras (LR1 e LR3) eram submetidas a revolvimento através de enxada. E as demais leiras (L2 e L4) foi mantida em repouso, durante todo o período das campanhas (Quadro 4.2).

Campanha	Forma de Disposição do lodo dentro da estufa	Tratamento	Período	Duração (dias e semanas)
1a Campanha	LR1 e L2 dispostas em altura de 40 cm.	LR1: Leira revolvida diariamente, em dias úteis (segunda a sexta, exceto feriados); L2: Leira em repouso.	28/05/2015 a 09/07/2015	07 semanas / 43 dias
Campanha de repetição	LR3 e L4 dispostas em altura de 40 cm.	LR3: Leira revolvida diariamente, em dias úteis (segunda a sexta, exceto feriados); L4: Leira em repouso.	25/06/2015 a 06/08/2015	07 semanas / 43 dias

Quadro 4.2: Condições metodológicas adotadas nesta pesquisa.

As amostras foram coletadas semanalmente, geralmente em dias de quinta-feira, exceto feriados. As análises físico-químicas e microbiológicas foram feitas pelo Laboratório AGROLAB, atendendo o Plano de Monitoramento apresentado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Plano de Monitoramento do experimento.

PLANO DE MONITORAMENTO												
		1a Campanha					Campanha repetição					
		28/05	03/06	11/06	18/06	25/06	02/07	09/07	16/07	23/07	30/07	06/08
Higienização	AGRON + PAT + QUIM	2	2	2	2	4	4	4	2	2	2	2
	AGRON 1	2	2	2	2	4	4	4	2	2	2	2

SIGLA	PARÂMETRO
AGRON	carbono orgânico, fósforo total, nitrogênio Kjeldahl, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato/nitrito, potássio total, sódio total, enxofre total,
AGRON 1	Sólidos voláteis e totais, umidade e pH
PAT	coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, Salmonella e vírus entéricos.
QUIM	Arsênio, Bário, Cádmiu, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Selênio, Zinco

2	Número de leiras a serem coletadas na 1ª campanha.
4	Número de leiras a serem coletadas na 1ª campanha e na campanha de repetição.
2	Número de leiras a serem coletadas na campanha de repetição.

As análises laboratoriais foram realizadas conforme os métodos descritos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Métodos analíticos adotados para cada parâmetro analisado.

PARÂMETRO	MÉTODO
Arsênio Total	SM 3120 B -ANL 016
Bário Total	SM 3120 B
Cádmio Total	SM 3120 B
Cálcio	SM 3120 B
Carbono Orgânico Total	AOAC
Chumbo Total	SM 3120 B
Cobre Total	SM 3120 B
Cromo Total	SM 3120 B
Enxofre	SM 3120 B
Fósforo Total	SM 3120 B
Magnésio	SM 3120 B
Mercúrio Total	SM 3120 B- ANL 016
Molibdênio	SM 3120 B
Níquel Total	SM 3120 B
Nitrato	SM 4500 NO ₃ ⁻ B
Nitrito	SM 4500 NO ₂ ⁻ B
Nitrogênio Amoniacal	SM 4500-NH ₄ ⁺ B
Nitrogênio Kjeldahl	SM 4500-N
pH	SM 4500 – H ⁺ B
Potássio	SM 3120 B
Selênio Total	SM 3120 B- ANL 016
Sódio Total	SW 3120 B
Sólidos totais	SM 2540 E
Sólidos totais volatéis	SM 2540 E
Umidade	AOAC
Zinco	SM 3120 B
Coliformes Termotolerantes	SM 9221 E
Enterovírus	CETESB L5.504
Ovos de Helmintos	THOMAZ-SOCCOL et al 2000.
Salmonella sp.	APHA, 1992.

Legenda:

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st and 22nd ed., Washington, APHA, 2005 and 2012.

AOAC: International. Official methods of analysis of AOAC International. 17th ed., 2000.

THOMAZ-SOCCOL, V.; et al. Metodologia de Análise Parasitológica em Lodo de esgoto e Esgoto.. In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. (Orgs.). Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. Curitiba : Sanepar; ProSab, 2000.

APHA: American Public Health Association. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. Washington, 1992. – Capítulo 37 .

Por fim, é nesta fase que se ocorre o levantamento de dados necessários para o adequado atendimento a todos os objetivos específicos desta pesquisa.

4.2.2 Fase Processamento e Análise dos Dados

O laboratório entregou os laudos 20 dias úteis após as coletas. Os resultados dos parâmetros monitorados foram então tabulados em planilha de excel para elaboração de gráficos e tratamento estatístico.

Os resultados para os parâmetros ST, Umidade e SV/ST tiveram tratamento estatístico desenvolvido no excel através da elaboração de gráfico tipo dispersão, com auxílio da ferramenta Análise de dados, foi possível fazer a análise da regressão validada pelo teste ANOVA, possibilitando avaliar o grau de relação entre as variáveis.

Foi utilizada também a estatística descritiva, a fim de verificar a tendência central, amplitude e dispersão dos dados, obtendo-se médias aritméticas, medianas, valores máximos, valores mínimos e desvios padrão para os parâmetros.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO A SER TRATADO

5.1.1 Características microbiológicas e de potencial agronômico

As concentrações iniciais de coliformes termotolerantes do lodo foram máxima de $9,13 \times 10^2$ e mínima de $1,43 \times 10^2$ NMP/gST na 1ª Campanha e na campanha de repetição os resultados chegaram a $4,0 \times 10^4$ de máxima e mínima de $1,8 \times 10^3$ NMP/gST. Ambos os valores da campanha de repetição, estão em desacordo com o preconizado na Resolução CONAMA 375/2006. Estes resultados são similares aos resultados encontrados por LIMA (2010) em seu experimento com lodo proveniente de ETE com sistema UNITANK aeróbio, onde obteve mínima de $2,4 \times 10^2$ e máxima de $1,10 \times 10^4$ NMP/g ST e de ROCHA (2009) em seu experimento com lodo proveniente de reatores UASB seguidos de lagoas de maturação, onde obteve resultados no início de seu experimento de $2,80 \times 10^4$ e $2,85 \times 10^6$ NMP/gST de Coliformes Termotolerantes.

Não foram identificadas nas amostras iniciais de lodo, em ambas as campanhas, outros agentes patógenos definidos pela Resolução CONAMA 375/2006, conforme se observa na Tabela 5.2 e 5.3. Porém, vale ressaltar conforme Godinho, Chernicharo e Honório (2003) que não encontrar ovos de helmintos em uma determinada amostra não significa ausência destes em todo o lodo, “pois a tomada de alíquotas para análise não garantem uma varredura de todo o espectro de ovos do lodo, mesmo com uma excelente homogeneização”.

Os valores de Carbono Orgânico Total para o lodo da ETE Samarco variaram de 4,34% e 6,91% na 1ª campanha e na campanha de repetição respectivamente. Estes resultados são relativamente baixos em relação aos valores obtidos por Teixeira (2012) e Lima (2011) que analisaram lodo de sistemas aeróbios e por isto é justificado por Andreoli (2001) onde define que o

processo de digestão de ETE tipo anaeróbio envolve um maior tempo de biodegradação da matéria orgânica, reduzindo assim a fração orgânica no lodo.

Segundo Lima (2003) o cálcio (Ca) é essencial para manter a integridade estrutural das membranas e da parede celular das plantas, colabora na estimulação do desenvolvimento de raízes, além de melhorar a possibilidade de floração. O lodo da 1ª campanha apresentou valores percentuais de cálcio superiores ao da campanha de repetição e similares com o resultado de Lima (2011).

Quanto ao potássio, o lodo da ETE Samarco apresentou baixas quantidades iniciais, sendo o valor médio entre a LR1 e L2 igual a 0,115% e $7,4 \times 10^{-4}\%$ da MS entre a LR3 e L4. Isto pode ser explicado por potássio ser um elemento altamente solúvel podendo perder potencial junto às frações líquidas da ETE (GIACOMINI et al., 2003).

Os valores de nitrogênio total nas amostras estão em desacordo com o resultado apresentado por Andreoli (2002) em sua pesquisa de análise do teor de vertical de nitrogênio de lodo proveniente de reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF), desidratado parcialmente em leito de secagem, até alcançar um teor de ST próximo a 50%, que apresenta 1,76% de N MS.

Tabela 5.1: Valores médios de macro nutrientes presentes no lodo comparados com outros autores.

AUTOR	N total (%)	COT (%)	Potássio (%)	Fósforo (%)	Cálcio (%)	Enxofre (%)	Magnésio (%)	Sódio (%)
LODO 1C ETE SAMARCO	0,36	4,35	0,12	0,29	1,61	1,59	0,41	0,08
LODO CR ETE SAMARCO	0,56	6,92	0,007	0,33	0,53	5,51	0,15	0,04
TEIXEIRA (2012)	6	37,1	0,31	2,27	0,99	0,42	0,43	0,28
LIMA (2010)	3,7	38,5	NI	1,56	1,64	0,36	0,42	NI

Legenda: COT – Carbono Orgânico Total; 1C – 1ª campanha; CR – Campanha de repetição; NI – Não informado.

Tabela 5.2: Composição química e presença de patógenos no lodo de entrada da 1ª Campanha.

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA 375/2006	1ª CAMPANHA		ANÁLISE ESTATÍSTICA			
			LR 1	L2	n	Média	Desvio padrão	Z
PRESENÇA DE PATÓGENOS								
ColTermo	NMP / g de ST	< 103 NMP / g de ST	143,0	913,0	2	528,00	544,47	1,03
Enterovírus	UFF / g de ST	< 0,25 ovo / g de ST	< 0,10	< 0,10	2	< 0,10	< 0,10	< 0,10
OH	Ovo / g de ST	ausência em 10 g de ST	N.D.	N.D.	2	N.D.	N.D.	N.D.
Salmonella sp.	em 10 g de ST	< 0,25 UFP ou UFF / g de ST	Ausência	Ausência	2	Ausência	Ausência	Ausência
COMPOSIÇÃO QUÍMICA								
Cálcio	mg/Kg	n.e.	15.237	16.894	2	16.066	1.172	0,07
COT	mg/Kg	n.e.	43.000	43.900	2	43.450	636	0,01
Enxofre	mg/Kg	n.e.	17.927	13.920	2	15.924	2.833	0,18
Fósforo Total	mg/Kg	n.e.	2.864	3.003	2	2.934	98	0,03
Magnésio	mg/Kg	n.e.	4.007	4.232	2	4.120	159	0,04
NO ₂ ⁻	mg/Kg	n.e.	34	25	2	30	7	0,23
NO ₃ ⁻	mg/Kg	n.e.	< L.Q.	< L.Q.	2	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
N-NH ₃	mg/Kg	n.e.	1.940	1.639	2	1.790	213	0,12
NKT	mg/Kg	n.e.	3.260	3.951	2	3.606	489	0,14
pH	-	n.e.	6,8	7,1	2	7,0	0,2	0,0
Potássio	mg/Kg	n.e.	1.149	1.168	2	1.159	13,4	0,0
Sódio Total	mg/Kg	n.e.	751	772	2	761,5	14,8	0,0

Tabela 5.3: Composição química e presença de patógenos no lodo de entrada da campanha de repetição.

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA 375/2006	CAMPANHA REPETIÇÃO		ANÁLISE ESTATÍSTICA			
			LR3	L4	<i>n</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Coefficiente Variação</i>
CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA								
Col.Termo	NMP / g de	< 103 NMP / g de ST	40.000	1.800	2	20.900	27.011	1,29
Enterovírus	UFF / g de	< 0,25 ovo / g de ST	< 0,10	< 0,10	2	< 0,10	< 0,10	< 0,10
OH	Ovo / g de	ausência em 10 g de	N.D.	N.D.	2	N.D.	N.D.	N.D.
Salmonella sp.	em 10 g de	< 0,25 UFP ou UFF /	Ausência	Ausência	2	Ausência	Ausência	Ausência
COMPOSIÇÃO QUÍMICA								
Cálcio	mg/Kg	n.e.	5.192	5.324	2	5.258	93	0,02
COT	mg/Kg	n.e.	80.400	57.900	2	69.150	15.910	0,23
Enxofre	mg/Kg	n.e.	54.309	56.052	2	55.181	1.232	0,02
Fósforo Total	mg/Kg	n.e.	3.427	3.207	2	3.317	156	0,05
Magnésio	mg/Kg	n.e.	1.521	1.525	2	1.523	3	0,00
NO ₂ ⁻	mg/Kg	n.e.	604	262	2	433	242	0,56
NO ₃ ⁻	mg/Kg	n.e.	< L.Q.	< L.Q.	2	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
N-NH ₃	mg/Kg	n.e.	1.323	1.264	2	1.294	42	0,03
NKT	mg/Kg	n.e.	6.124	4.176	2	5.150	1.377	0,27
pH	-	n.e.	5,9	6,3	2	6,1	0,3	0,0
Potássio	mg/Kg	n.e.	76,5	72,2	2	74,4	3,0	0,0
Sódio Total	mg/Kg	n.e.	162	685	2	423,5	369,8	0,9

5.1.2 Características químicas e série de sólidos

Dos onze (11) parâmetros químicos definidos pelo CONAMA 375/2006 para monitoramento, cinco (05) não alcançaram o limite mínimo de quantificação do equipamento de análise e são estes; o arsênio, cádmio, mercúrio, molibdênio e selênio. Os demais parâmetros que representam os metais pesados no lodo apresentaram resultados abaixo do limite definido pela Resolução, e apresentaram similaridade com lodo de outros experimentos, como podemos observar na Tabela 5.4 abaixo, exceto para bário, que na amostra do lodo da ETE Samarco, o valor representou resultado maior que o dobro em relação ao valor de Teixeira (2010) e Lima (2010).

Tabela 5.4: Valores médios de metais pesados presentes no lodo comparados com outros autores.

AUTOR	Bário (mg/kgST)	Chumbo (mg/kgST)	Cobre (mg/kgST)	Cromo (mg/kgST)	Níquel (mg/kgST)	Zinco (mg/kgST)
LODO ETE SAMARCO	345,9	19,5	145,5	43,8	18,5	519,8
LIMA (2010)	148	14	333	262	30	508
TEIXEIRA (2012) ¹	147,75	22,64	189,8	37,52	14,25	521
MARIN (2010) ²	NI	14,7	124	50,9	26,8	323

¹Lodo não higienizado; ²Lodo higienizado pelo método de estabilização alcalina prolongada.
NI : Não informado

Os resultados obtidos para ST na 1ª Campanha foram de 437.900 e 436.000 mg/kgST para LR1 e L2 e, 230.900 e 263.00 mg/kgST para LR3 e L4 respectivamente. Estes valores quando analisados em conjunto com a umidade representam que o grau de umidade no lodo da 1ª campanha está maior em relação à campanha de repetição, com percentuais médios de H₂O de 75,29% para a 1ª campanha e 56,77% na Campanha de repetição. Os valores de umidade na campanha de repetição assemelham com os valores de umidade apresentados por Rocha (2009) cujos resultados variaram de aproximadamente 38 a 53% de H₂O no lodo.

Tabela 5.5: Caracterização química e série de sólidos no lodo de entrada da 1ª campanha.

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA 375/2006	1ª CAMPANHA		ANÁLISE ESTATÍSTICA			
			LR 1	L2	n	Média	Desvio padrão	Coefficiente Variação
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA								
Arsênio Total	mg/Kg	máx. 41,00	<L.Q.	<L.Q.	2	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
Bário Total	mg/Kg	máx. 1.300,00	391,9	69,8	2	230,9	227,8	1,0
Cádmio Total	mg/Kg	máx. 39,00	<L.Q.	<L.Q.	2	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
Chumbo Total	mg/Kg	máx. 300,00	17,25	19,28	2	18,3	1,4	0,1
Cobre Total	mg/Kg	máx. 1.500,00	153	159	2	156,0	4,2	0,0
Cromo Total	mg/Kg	máx. 1.000,00	47,7	53,47	2	50,6	4,1	0,1
Mercúrio Total	mg/Kg	máx. 17,00	<L.Q.	<L.Q.	2	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
Molibdênio	mg/Kg	máx. 50,00	<L.Q.	<L.Q.	2	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
Níquel Total	mg/Kg	máx. 420,00	22,9	25	2	24,0	1,5	0,1
Selênio Total	Z	máx. 100,00	<L.Q.	<L.Q.	2	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
Zinco	mg/Kg	máx. 2.800,00	531	547	2	539,0	11,3	0,0
SÉRIE DE SÓLIDOS								
ST	mg/Kg	n.e.	230.900	263.000	2	246.950	22.698	0,1
SV	mg/Kg	n.e.	74.200	75.300	2	74.750	778	0,0
Umidade	mg/Kg	n.e.	769.100	736.000	2	752.550	23.405	0,0

Tabela 5.6: Caracterização química e série de sólidos no lodo de entrada da Campanha de repetição.

PARÂMETRO UNIDADE CONAMA 375/2006			CAMPANHA REPETIÇÃO		ANÁLISE ESTATÍSTICA			
			LR3	L4	<i>n</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Coefficiente Variação</i>
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA								
Arsênio Total	mg/Kg	máx. 41,00	< L.Q.	< L.Q.	2	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
Bário Total	mg/Kg	máx. 1.300,00	473	449	2	461,0	17,0	0,0
Cádmio Total	mg/Kg	máx. 39,00	< L.Q.	< L.Q.	2	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
Chumbo Total	mg/Kg	máx. 300,00	22,9	18,4	2	20,7	3,2	0,2
Cobre Total	mg/Kg	máx. 1.500,00	140	130	2	135,0	7,1	0,1
Cromo Total	mg/Kg	máx. 1.000,00	38,3	35,9	2	37,1	1,7	0,0
Mercúrio Total	mg/Kg	máx. 17,00	< L.Q.	< L.Q.	2	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
Molibdênio	mg/Kg	máx. 50,00	1,48	< L.Q.	2	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
Níquel Total	mg/Kg	máx. 420,00	11,5	14,6	2	13,1	2,2	0,2
Selênio Total	mg/Kg	máx. 100,00	< L.Q.	< L.Q.	2	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
Zinco	mg/Kg	máx. 2.800,00	504	497	2	500,5	4,9	0,0
CARACTERIZAÇÃO SÓLIDOS								
ST	mg/Kg	n.e.	427.900	436.800	2	432.350,0	6.293,3	0,0
SV	mg/Kg	n.e.	138.500	99.800	2	119.150,0	27.365,0	0,2
Umidade	mg/Kg	n.e.	572.100	563.200	2	567.650,0	6.293,3	0,0

5.2 ESTUDO DO EFEITO DO PÓS-TRATAMENTO DO LODO EM ESTUFA AGRÍCOLA, SOBRE SEUS TEORES DE ST, UMIDADE, SV/ST E TEMPERATURA

Vale lembrar a particularidade do lodo da 1ª campanha de ter iniciado seu tratamento na estufa agrícola com índice de umidade mais elevado em comparação à campanha de repetição e conforme apresentado na Figura 5.5, pois, teve interferência de chuva dois dias antes da data programada para a retirada do lodo do leito de secagem.

5.2.1 Temperatura

Na primeira campanha as temperaturas externas foram mínimas de 16,8°C e máximas 31,8°C e temperatura interna mínima de 24°C e máxima de 33°C. Na campanha de repetição as temperaturas externas variaram de no máximo 29,5°C e no mínimo 16,8°C.

Considerando os dados obtidos e analisando o comportamento da temperatura interna da estufa com base nos valores medianos, observa-se que em ambas as campanhas as temperaturas permaneceram constantes, próxima de 27 a 30° C. Isto demonstra que a estufa mantém as temperaturas em seu interior quando comparadas com a temperatura externa, sem permitir quedas bruscas em horários com pouca influencia solar. Esta característica garante a eficácia na perda de umidade no lodo.

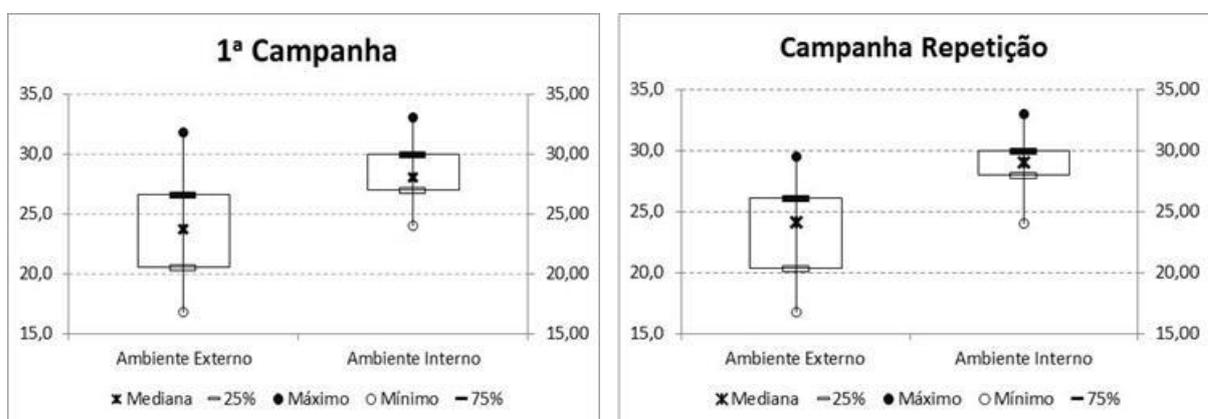


Figura 5.1: Variações de temperatura Ambiente Externo e Interno (n=93) das Estufas Agrícolas na 1a Campanha e de repetição.

Nota: Dados de temperatura externa obtidos na estação meteorológica da Samarco Monitoramento em dias úteis, nos horários de 08:00, 12:00 e 16:00hrs;.Período de 31 dias por campanha, n=93.

Lima (2009) apresentou temperaturas internas máximas de 46,1 e mínima 19,7°C e temperaturas externas máximas de 48,5 e mínima 15,3°C no mesmo período do ano desta pesquisa. Esta diferença pode ser explicada principalmente pela temperatura externa máxima que a região do experimento de LIMA (2009) alcançou não sendo similares as temperaturas alcançadas nesta pesquisa.

5.2.2 Umidade

A umidade na LR1 teve decréscimo ao longo do período da 1ª campanha de 76,9% para 65,8%, atribuindo uma queda na presença de água neste subproduto de 11,1%. Na L2 a umidade foi de 73,6% até alcançar 56,1%, e o decréscimo de água nesta leira foi representado por 17,5%.

Na campanha de repetição a umidade da LR3 de 57,2% até alcançar 42,4%. O decaimento representado neste procedimento foi de 14,8% do 1º ao 43º dia de tratamento. Na L4 a umidade variou de 56,3% a 46,%. Estes valores representaram 10,3% de perda de água neste bio-sólido.

Observa-se nas curvas de variações de umidade, que a L2 na primeira campanha e LR3 na campanha de repetição, foram os lotes que tiveram melhor eficiência de perda de água, representando perdas de 17,5% na L2 e 14,8% na LR3. Rocha (2009) obteve reduções de 8 a 18% nos tratamentos com cal virgem e 3 a 7% com cal hidratada.

A relação perda de umidade no lodo relacionada com o tempo é forte e significativo em todas as leiras (LR1: $p=0,036$; L2: $p=0,018$; LR3: $p=0,004$ e L4: $p=0,003$), para significância de 5%.

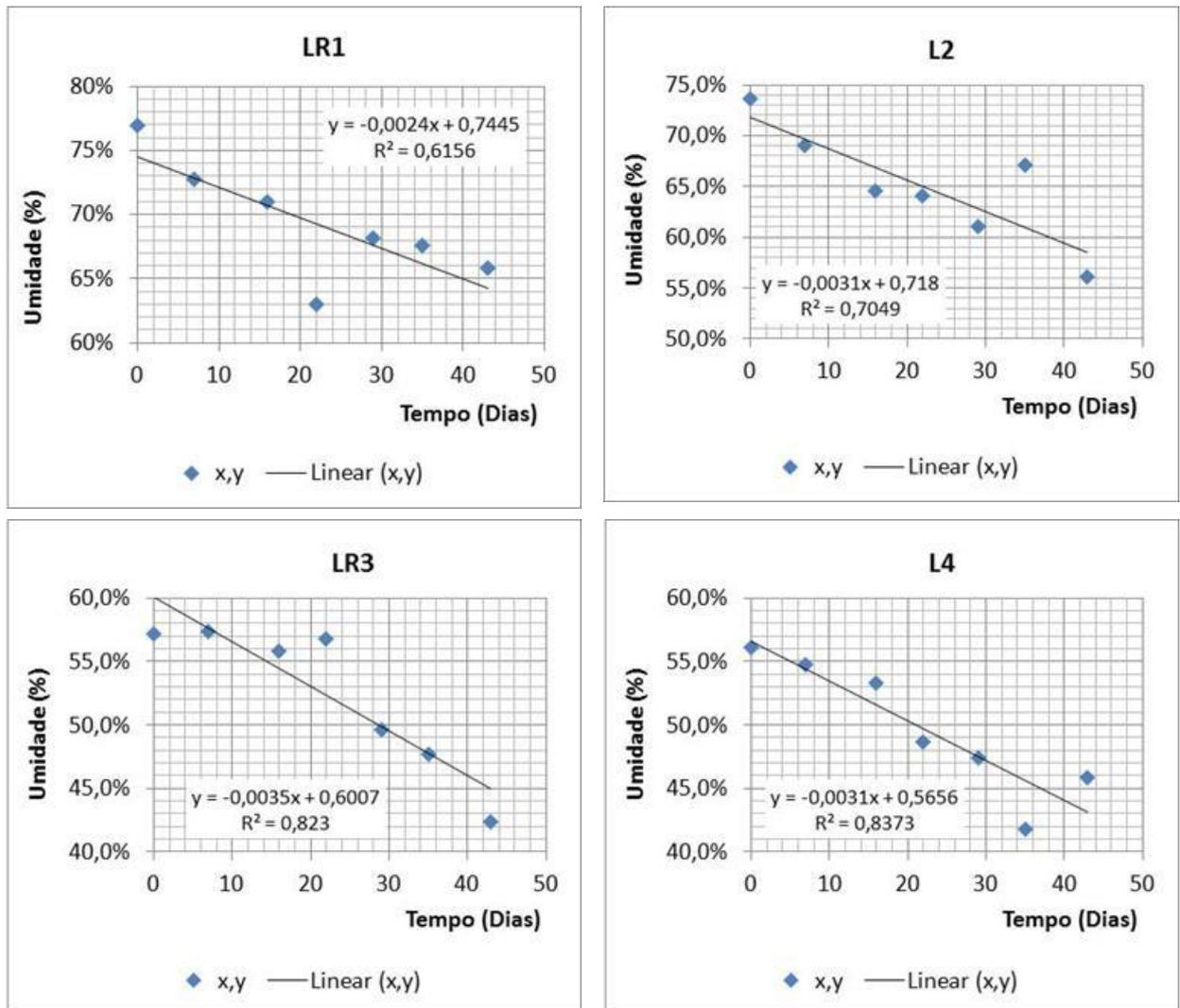


Figura 5.2: Variação temporal de umidade nas campanhas (1ª campanha e de repetição).

5.2.3 Sólidos Totais (ST)

Os teores de ST na LR1 variaram de 23% na entrada e 34,2% na saída do tratamento. Representando melhoria de 11,2% de ST ao longo desta campanha. Na L2 o valor de ST variou de 26,3% no início do tratamento e 43,9% na conclusão do procedimento. Representando crescimento de 17,6% de ST neste lote. Os valores de ST da LR3 foram de 42,8% na entrada e 57,6% na saída do lodo. Representando aumento de 14,8% de ST neste lote. A L4 iniciou o procedimento de tratamento de lodo com 43,7% de ST alcançando no final do tratamento 54,1%. Incrementando 10,4% de ST no biossólido final.

O incremento de sólidos totais ao longo do tratamento em relação ao tempo foi provado significância, através da ANOVA e seguintes resultados para p, significância de 5%: LR1: $p=0,0366$ L2: $p=0,0002$ LR3: $p=0,0002$ L4: $p=0,003$.

Incrementos de ST nas leiras foram 11,1% na LR1, 17,6% na L2, 14,8% na LR3 e 10,4% na L4 estes valores são relativamente baixos quando analisados em relação à autora Cherubini (2002) estudou os efeitos da solarização na secagem e higienização do lodo, e obteve melhoria no ST de 30 a 40% em seus experimentos.

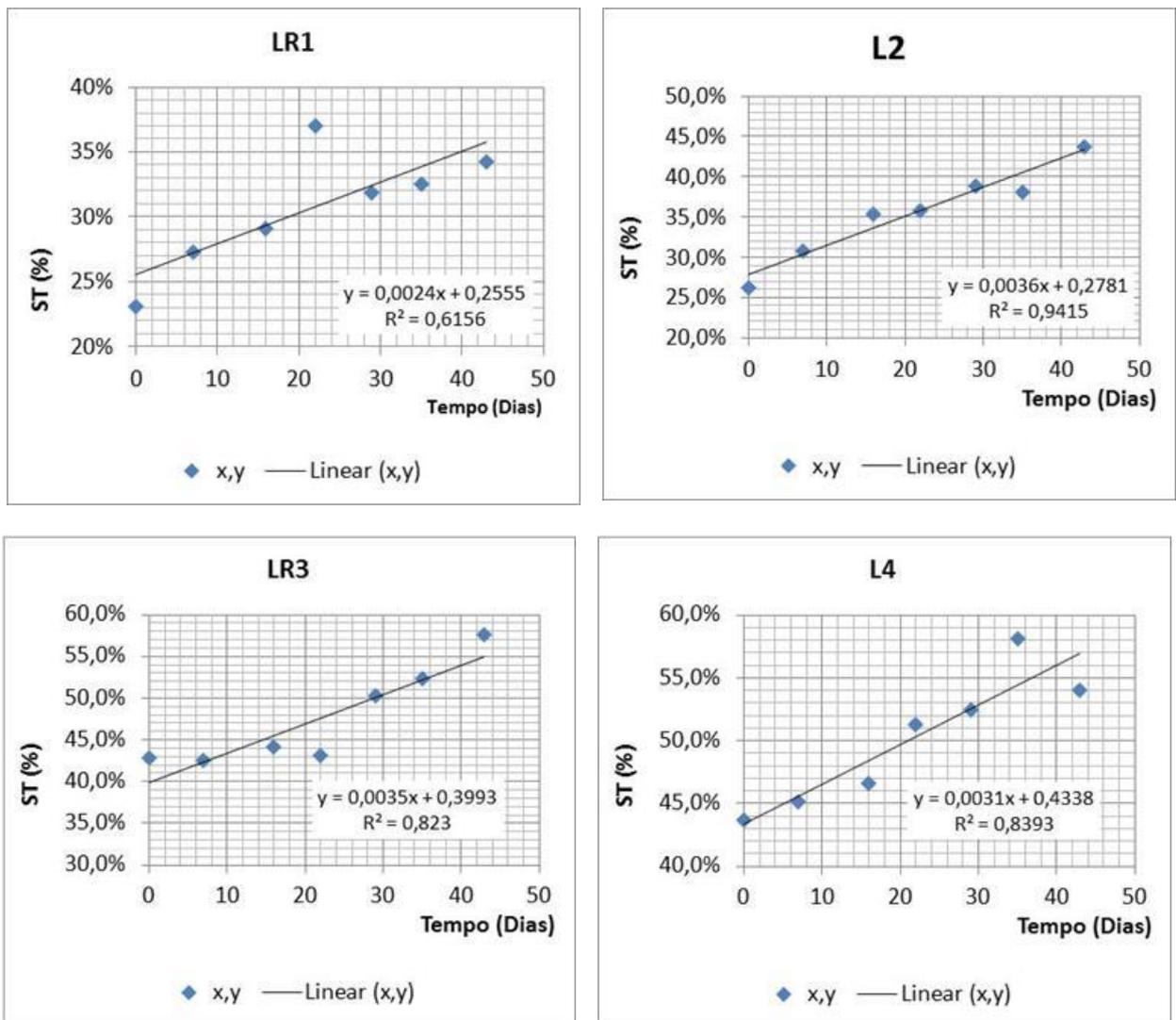


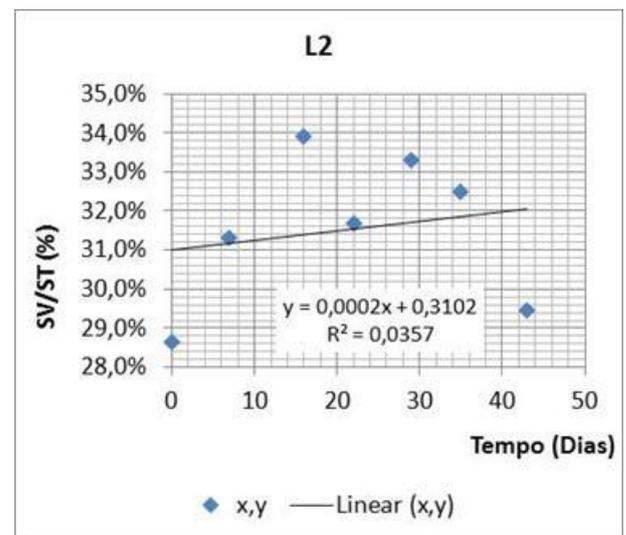
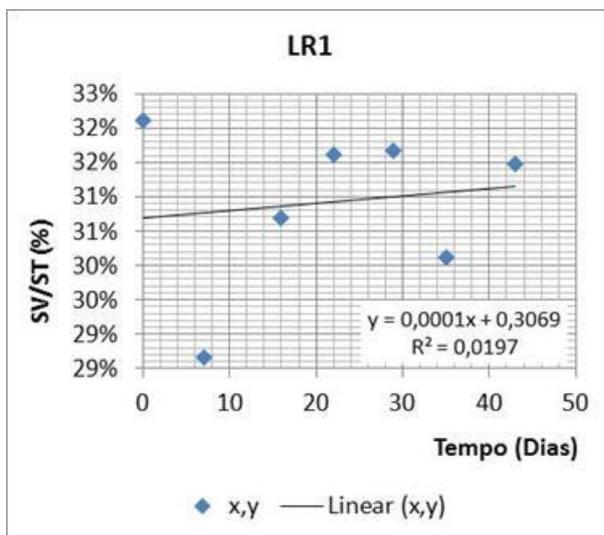
Figura 5.3: Variação temporal de ST nas campanhas (1ª campanha e de repetição).

5.2.4 Relação SV/ST

Os valores de ST expressos em SV/ST na LR1 variaram de 28,7% a 31,5%. Os valores de ST expressos em SV/ST na L2 variaram de 28,6% a 33,9%. Os valores de ST expressos em SV/ST na LR3 variaram de 30,2% a 35,1%. Os valores de ST expressos em SV/ST na L4 variaram de 22,8% a 33,5%. Estes resultados assemelham aos resultados obtidos por Rocha (2009).

Os valores alcançados foram inferiores a 0,7, conforme define a Resolução CONAMA 375/2006, evidenciando que o lodo estava bem estabilizado.

Observa-se nos gráficos de diagrama abaixo (Figura 5.4) a pouca relação de SV/ST com o tempo (em dias) e comprovado com a pouca significância, através da ANOVA com os valores acima de 5% em todas as leiras (LR1: $p=0,763$, L2 $p=0,685$, LR3: $p=0,582$, L4: $p=0,129$).



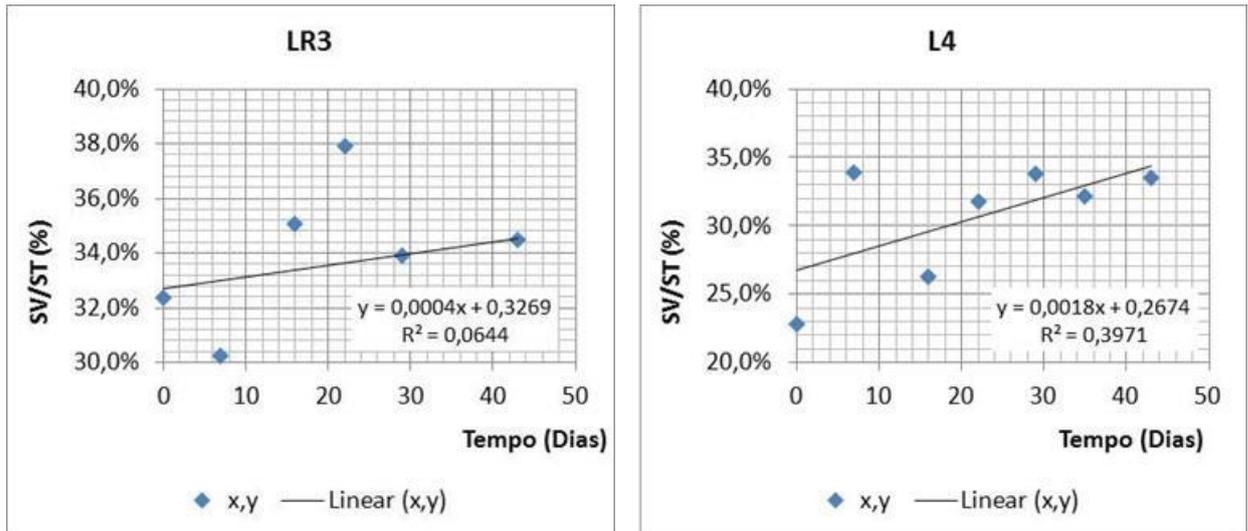


Figura 5.4: Variação temporal de SV/ST nas campanhas (1ª campanha e de repetição).

5.3 AVALIAÇÃO DO DECAIMENTO DE INDICADORES PATOGENOS E INCREMENTO DE NUTRIENTES

5.3.1 Coliformes Termotolerantes

Na primeira campanha, a entrada do lodo da LR1 foi de 143 NMP/gST com saída apresentando 97 NMP / g ST. Não houve oscilação brusca das temperaturas internas da estufa e da leira que justifiquem a variação de crescimento e decrescimento de Coliformes Termotolerantes, portanto outros fatores devem ser avaliados para esta reação, como pH e umidade por exemplo.

O lodo da LR3 iniciou seu tratamento com $4,0 \times 10^4$ NMP/ ST e teve decrescimento considerável na primeira semana para $2,59 \times 10^2$ e a partir do 22º dia não foi detectado presença de Coliformes termotolerantes neste lote. A temperatura desta leira em geral decresceu durante todo o período de tratamento.

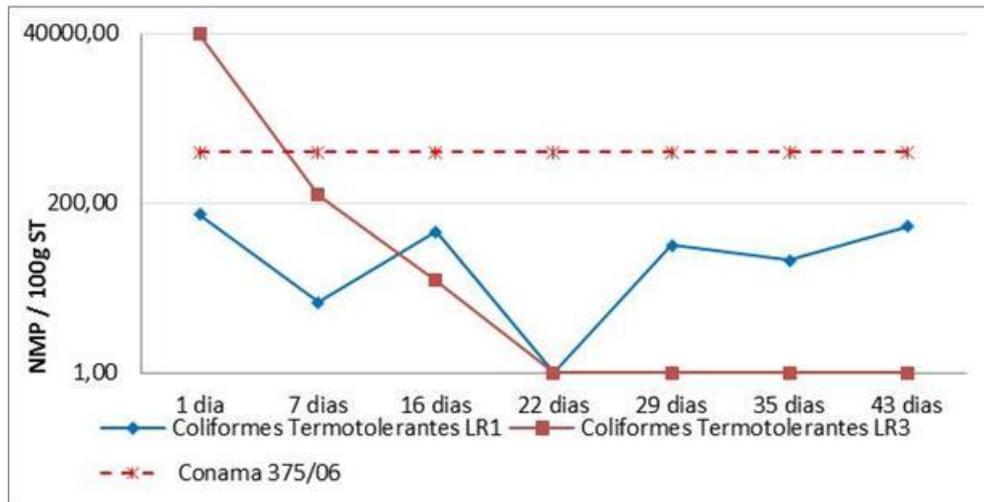


Figura 5.5: Variação de Coliformes Termotolerantes (NMP/ g ST) das leiras com revolvimento (LR1 e LR3) e padrão CONAMA 375/2006.

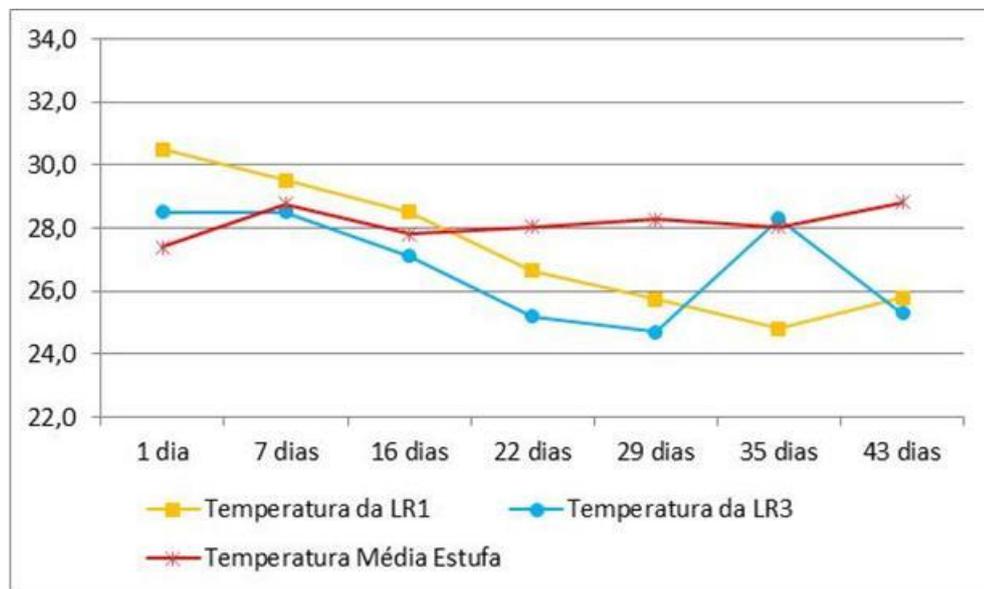


Figura 5.6: Temperaturas média interna da estufa e temperatura das leiras revolvidas (LR1 e LR3).

Na L2 o lodo deu entrada com 913 NMP / g ST e concluiu seu tratamento com 12 NMP / g ST. A temperatura desta leira teve oscilações alcançando máxima no 35º dia de 29,4º C e mínima 25,3º C da 22º ao 29º dia.

A Leira em repouso (L4) entrou para a estufa com $1,8 \times 10^3$ NMP / g ST, tendo uma queda considerável nos primeiros sete dias do procedimento, alcançando $3,2 \times 10^1$ e a partir do 16º dia, não foi detectado presença deste indicador patógeno. A

temperatura desta leira em geral decresceu durante todo o período de tratamento, alcançando máxima de 30,5°C e mínima de 24,8°C (Figura 5.6).

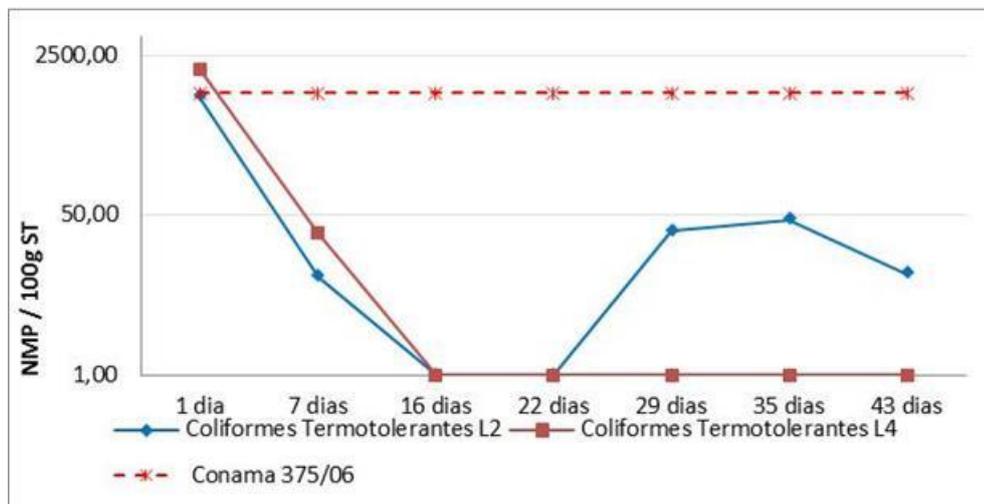


Figura 5.7: Variação de Coliformes Termotolerantes (NMP/g ST) das leiras com revolvimento (L2 e L4) e padrão CONAMA 375/2006.

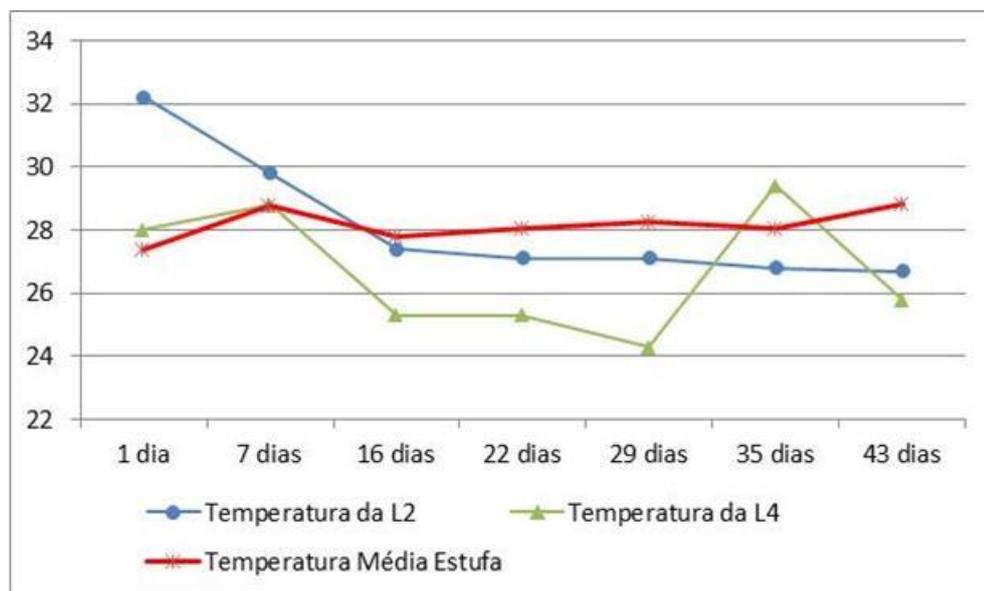


Figura 5.8: Temperaturas média interna da estufa e temperatura das leiras em repouso (L2 e L4).

Em geral, comparando os tratamentos dados, observou-se decaimento de coliformes termotolerantes nos primeiros 22 dias das leiras submetidas ao revolvimento diário, em dias úteis e de 16 dias nas leiras em repouso.

Lima (2010) obteve resultados semelhantes em seu experimento, onde o decréscimo de coliformes termotolerantes nos ciclos sem adição de cal foi mais

expressivo a partir da 3ª semana enquanto os resultados para as leiras tratadas com adição de cal foram melhores a partir da 2ª semana.

5.3.2 Outros Indicadores de patogenicidade

Na Resolução Conama 375/2006 outros agentes patógenos devem ser monitorados, e se for o caso, tratados para alcançar a qualidade da classe de biossólido pretendida. Estes indicadores são ovos de helmintos, que para o biossólido classe A limita-se a presença de < 0,25 ovo/gST, a Salmonella ausência em 10 gST e vírus entéricos presença de < 0,25 UFP/gST. No lodo da ETE 1 Samarco, analisado no período de 28 de maio a 06 de agosto de 2015, não foram identificadas presenças destes microrganismos. Portanto, apresentam características compatíveis com o biossólido classe A definido na Resolução CONAMA no375/2006 (Tabela 5.7).

5.4 QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DO BIOSSÓLIDO

5.4.1 Qualidade microbiológica

As normas de referência para esta caracterização serão a Resolução CONAMA nº 375/2006, a Norte Americana USEPA 503 e a HMSO (1989) do Reino Unido. Quando se refere aos limites definidos para bioossólido classe A, estas normas definem o limite de $<10^3$ NMP / g ST, exceto na HMSO (1989) que utiliza como indicador microbiológico a E.Coli.

Para presença de Salmonella os limites na USEPA 503 são de < 3 NMP/ 4 g ST, enquanto no Brasil é praticado o limite de ND em 10 g ST e no Reino Unido, com limite mais restritivo de ND em 2 g ST.

Vírus entéricos nos EUA o limite é de 1 UFP / 4 g ST, na HMSO (1989) não especifica e na CONAMA 375/06 ganha com limite mais restrito de $<0,25$ UFP. Para o indicador de ovos de helmintos, o Brasil exige mais restrição com limite de 0,25 ovo / g ST, enquanto a USEPA 503 exige < 1 ovo / g ST e no Reino Unido não especifica limite para este parâmetro. Abaixo, a título de comparação, apresenta (tabela 9) os limites microbiológicos para as classes A e B, conforme as Normas Norte Americana, Brasileira e do Reino Unido.

A presença de coliformes termotolerantes na entrada do lodo na estufa agrícola foi mais relevante nas amostras da campanha de repetição. Para estas amostras (LR3 e L2), a prática de higienização se fez necessário em atendimento as normas regulamentadoras. Observa-se que o decréscimo de coliformes termotolerantes (Figura 5.9) foi mais significativo na primeira semana de ambas as campanhas e que posterior a este período, o lodo já está apto como bioossólido classe A.

Tabela 5.9: Resultados de indicadores de patogenicidade da 1ª campanhas de tratamento de lodo da ETE Samarco.

Lote	Parâmetro	1 dia	7 dias	16 dias	22 dias	29 dias	35 dias	43 dias
LR3	Enterovírus UFF/g de ST	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
	Ovos de Helminthos Ovo/g de ST	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Salmonella sp. em 10g de ST) ia	Ausênc	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
L4	Enterovírus UFF/g de ST)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
	Ovos de Helminthos Ovo/g de ST	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Salmonella em 10g de ST ia	Ausênc	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência

5.4.2 Qualidade físico-química

Os outros parâmetros de qualidade monitorados, conforme CONAMA 375/2006, referem-se a características físico-químicas do lodo quanto à presença de metais pesados e nutrientes. Para estes parâmetros os resultados não alcançaram valores superiores aos limites definidos nesta Norma. Conforme podemos observar nos gráficos subsequentes.

Os metais pesados monitorados segundo a Resolução CONAMA 375/2006 foram arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco.

Os parâmetros que representam os nutrientes são classificados na Resolução CONAMA 375/2006, como sendo os parâmetros que caracterizam o potencial agronômico do lodo e são estes: cálcio, Carbono Orgânico Total, Enxofre, Fósforo Total, Magnésio, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Kjeldahl, pH, potássio, sólidos totais, sólidos voláteis, sódio e umidade. Sendo que foi analisado separadamente, na 2ª

etapa desta pesquisa, os parâmetros referentes à presença de sólidos (ST, SV, umidade) por isto não discutido nesta etapa.

5.4.2.1 Presença de Metais Pesados

A avaliação de presença de metais pesados fez a partir das medias, desvio padrão, coeficiente de variação e máximas apresentadas na Tabela 5.10. Não foram observados substancias inorgânicas em concentrações superiores aos definidos pelo padrão CONAMA 375/2005.

O lodo da ETE Samarco expressou concentrações de cromo e cobre consideravelmente baixas comparadas aos resultados obtidos no experimento de Lima (2010).

Tabela 5.10: Concentrações médias, máximas e desvio padrão das leiras de lodo da 1ª campanha e da campanha de repetição.

Parâmetro	Padrão	1a Campanha						Campanha Repetição					
		LR1			L2			LR3			L4		
		Média	Máx.	DP	Média	Máx.	DP	Média	Máx.	DP	Média	Máx.	DP
Bário	1.300	389,4	823,0	256,6	348,6	992,0	300,1	312,7	497,0	151,1	267,8	449,0	141,7
Cobre	1.500	150,7	225,0	37,3	128,8	199,0	42,8	82,7	171,0	72,9	61,5	130,0	48,7
Cromo	1.000	44,0	59,3	7,8	38,0	53,5	10,3	22,9	39,3	15,3	17,8	35,9	12,2
Níquel	420	23,5	35,4	5,5	19,7	25,0	4,8	11,0	16,3	4,2	6,8	14,6	4,8
Zinco	2.800	573,6	887,0	139,9	427,3	574,0	200,9	320,6	538,0	220,3	258,8	497,0	187,0

Nota: Padrão - CONAMA Resolução 375/2006.

Os parâmetros arsênio, cádmio, mercúrio, molibdênio e selênio em geral obtiveram resultados inferiores ao limite de quantificação do equipamento de análise, conforme se observa na Tabela 5.11 abaixo. Porém foi identificado resultados para cádmio na 3ª semana e para molibdênio na primeira semana da LR3.

Tabela 5.11: Resultados de presença de metais pesados nas campanhas, com limites de quantificações inferiores.

Lote	Parâmetro	1 dia	7 dias	16 dias	22 dias	29 dias	35 dias	43 dias
LR1	Arsenio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Cádmio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Mercúrio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Molibdênio	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Selênio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
L2	Arsenio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Cádmio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Mercúrio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Molibdênio	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Selênio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
LR3	Arsenio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Cádmio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	0,645	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Mercúrio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Molibdênio	1,48	3,52	< L.Q.				
	Selênio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
L4	Arsenio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Cádmio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Mercúrio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Molibdênio	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.
	Selênio Total	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.	< L.Q.

Legenda:

< L.Q.: Menor que o Limite de Quantificação

5.4.2.2 Parâmetros de interesse agrônômicos

Na Resolução CONAMA 375/2005 não especifica limites para os parâmetros de interesse agrônômico. Na tabela 5.12 apresentam-se as concentrações iniciais e finais do bio sólidos.

Os resultados de nitrogênio total foram obtidos através da soma de Nitrogênio Kjeldahl (NTK) com nitrato conforme definido por Sperling (2005, p.97). Não somou-se nitrito, por ausência deste em todas as amostras.

Observam-se melhorias nas concentrações de carbono orgânico total ao longo do tratamento e redução nos valores de cálcio.

Tabela 5.12:Concentrações iniciais e finais dos parâmetros de interesse agrônômico.

Parâmetro (%)	1a Campanha				Campanha repetição			
	LR1		L2		LR3		L4	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
COT	4,30	6,26	4,39	7,51	8,04	11,53	5,79	10,50
Ntotal	0,33	0,76	0,40	1,08	0,67	1,10	0,44	1,05
Fósforo Total	0,29	0,85	1,42	1,99	2,56	3,13	3,69	4,26
Potássio	0,11	0,06	0,12	0,06	0,01	0,11	0,01	0,10
Cálcio	1,52	0,75	0,52	0,60	1,69	0,64	0,53	0,55
Magnésio	0,40	0,20	0,42	0,20	0,15	0,21	0,15	0,21
Enxofre	1,79	6,26	1,39	6,16	5,43	4,64	5,61	4,90
Sódio	0,08	0,02	0,08	0,02	0,02	0,04	0,07	0,03
Relação C/N	13/1	8/1	11/1	7/1	12/1	10/1	13/1	10/1

6 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na pesquisa conclui-se que:

Apenas na campanha de repetição (lotes LR3 e L4) justifica-se a submissão do lodo ao tratamento de higienização por estufa agrícola, pois todos os valores de parâmetros físico-químicos e principalmente microbiológicos de entrada da primeira campanha (lotes LR1 e L2) atenderam os limites definidos pela Resolução CONAMA 375/ 06.

Nas leiras com revolvimento a perda de umidade é significativa a partir do 22º dia do tratamento. Por ser a variação de umidade inversamente proporcional à curva de ST, afirma-se que este lodo teve maiores crescimentos de ST a partir desta mesma ocasião do tratamento.

As oscilações das curvas de SV/ST das duas campanhas indica que o tratamento não contribuiu para a estabilização do lodo.

As variações de temperaturas, quando comparadas entre as temperaturas externas e internas da estufa, apresentam a estufa como um importante mecanismo de controle de temperatura, pois os valores para temperaturas internas não sofrem grandes oscilações, mesmo que a temperatura externa tenha sofrido brusca queda de temperatura. Conseqüentemente mantêm a atividade microbiana no lodo, e não compromete a eficiência do uso da estufa como alternativa de tratamento de higienização deste subproduto.

Tendo em vista as temperaturas observadas no interior da estufa, conclui-se que as temperaturas para higienização do lodo podem ser alcançadas no leito de secagem desde que não sofra interferência ambiental (dias nublados e chuvosos).

Nos resultados de Coliformes termotolerantes observados na 1ª campanha (lotes LR1 e L2) foram que mais tiveram oscilações no quantitativo deste microrganismo e no valor de temperatura interna das leiras. Podemos atribuir a esta peculiaridade o fato de que esta campanha ingressou no tratamento com grau de umidade superior relacionada à campanha de repetição, portanto, o grau de umidade do lodo deve ser considerado na entrada deste sistema de tratamento. Em todas as leiras, exceto a

LR1 que teve oscilações semanais de crescimento e decréscimo deste microrganismo, tiveram perda considerável de coliformes termotolerantes na primeira semana. Observou também que o lodo da campanha de repetição (LR3 e L4) comportou-se mais favorável à higienização, este fato também pode ser relacionado à diferença de teor de umidade entre as campanhas, pois umidade favorece a atividade microbiana. Disposição do lodo no interior da estufa tem melhores e mais rápidos resultados quando submetidos a períodos de pausa

Enterovírus, ovos de helmintos e salmonela que são outros indicadores de patogenicidade que devem ser controlados, segundo definição da Res. CONAMA 375/2015, não tiveram seus valores detectados em todas as amostras feitas.

Os resultados do monitoramento físico-químico do lodo submetido ao tratamento de higienização solar em estufas existentes na ETE Samarco não obtiveram parâmetros que descumprissem os limites definidos na Resolução CONAMA 375/ 2006. Apenas os resultados microbiológicos do lodo de entrada ao tratamento e da campanha de repetição, tiveram resultados acima do padrão para coliformes termotolerantes, porém teve o comportamento decrescente de variação, atribuindo sucesso a utilização da estufa para higienizar este resíduo. Logo, o lodo da ETE sob tratamento de higienização solar nas estufas resulta em biossólido A, podendo, portanto, após períodos de tratamento ser utilizados como condicionador ou fertilizantes do solo.

7 RECOMENDAÇÕES

Para o aperfeiçoamento do tratamento em higienização recomenda-se:

- Considerar na entrada do lodo na estufa valores inferior a 60% de umidade;
- Estudar a viabilidade técnica e econômica.

Para a ETE Samarco, se optarem pelo tratamento de higienização do lodo da ETE 1 no próprio leito de secagem:

- Garantir as condições baixas de umidade do lodo. Para isto será necessário acompanhamento dos operadores desta ETE quanto ao comportamento do lodo no leito de secagem;
- O período de desaguamento deve ser considerado distinto do período de higienização deste lodo. Iniciando o tratamento de higienização apenas após garantir a desidratação do lodo;
- Manter a radiação solar direta na área do leito de secagem em atividade através do controle de crescimento da vegetação próxima, de forma a não obstruir a chegada de energia solar no leito de secagem;
- Monitorar durante todo o período de higienização a interferência ambiental (dias nublados e chuvosos) no leito de secagem. Pois se ocorrer intempéries o período de tratamento deve ser estendido;
- Observar o período ideal de descarte de lodo excedente dos reatores UASB, para garantir a eficiência da ETE e qualidade substrato;
- Garantir que o lodo desaguado seja submetido a períodos mínimos de 10 dias de insolação direta, enquanto estiver no leito de secagem.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C. V. VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. 483 p.

BONNET, B. R. P.; LARA, A. I.; DOMASZAK, S. C. **Indicadores biológicos de qualidade sanitária do lodo de esgoto**. In: ANDREOLLI, C. V.; BONNET, B.R.P. (Coord.). Manual de métodos para analyses microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. 2. ed. Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar. 2000. cap. 1, p. 11-26.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para uso agrícola de logos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e da outras providências**. Brasília, 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014.181 p.: il.

CALHEIROS, H. C., RIBEIRO, E. C., CAMARGO, C. G. de **Desidratação de lodo proveniente de reator anaeróbio compartimentado em leito de secagem plantado com camomila e higienizado com cal**. Revista de Estudos Ambientais. Blumenau, v. 13, n. 2, p. 33

CASTILLO, A.; CECCHI, F.; MATA-ALVAREZ, J. A **combined anaerobic-aerobic system to treat domestic sewage in coastal áreas**. Water Reseach, v. 31, n. 12, p. 3057-3063, 1997.

CEC. COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. **Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture**. Official Journal L, v.181, p.6-12, 1986.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – Manual Técnico P4.230: **Aplicação de lodo de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação**. São Paulo: CETESB, 32p. 1999.

CHAGAS, W.F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ/ENSP, 1999, 89p. Dissertação de mestrado.

COMPARINI, J. B. **Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa agrícola**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001, 278p. il. - tese (Doutorado em Engenharia).

COSTA, A. N. da (org.); COSTA, A. F. S. da. (org.) **Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o estado do Espírito Santo**. Vitória: Incaper, 2011. 126 p.

COSTA, A. N. et al. **Lodo de Esgoto: Utilização Sustentável**. 2. ed. Vitória: DCM; Incaper, 2008.

DAVID, A. C. Secagem térmica de lodos de esgoto. **Determinação da umidade de equilíbrio**. 2002. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

DUMONTET, S.; DINEL, H.; BALODA, S. B. **Pathogen reduction in sewage sludge by composting and other biological treatments: a review**. Biological Agriculture and Horticulture, Husbandry, v. 16, p. 409-430, 1999.

FEACHEM. R. G., BRADLEY, D. J., GARELICK, H.; MARA, D. D. **Sanitation and disease. Health aspects of excreta and wastewater management**. John Wiley and Sons, Chichester, UK. 1933.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. FRANÇA, M.; CHERUBINI, C. **Desinfecção e Secagem Térmica do lodo de esgoto anaeróbico em leito de secagem pelo uso de**

biogás. 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais. Joinville, set., 2003.

FERREIRA. L.S.; **Avaliação de desempenho de Wetlands construídos para tratamento de efluente de reator UASB – Estudo de caso da ETE Vog Ville.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais. v. 3, n. 2 . 2015. Disponível em: < <http://www.portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/15097/10314> > Acesso em 05 de dezembro de 2015.

fisiológica de sementes. Ciência Agrotécnica. Edição Especial, p.1499-1505, 2003.

GERBA, C. P. **Approaches and needs for the development of guidelines and standards for pathogenic microorganisms in biosolids.** In: CONFERENCE IWA, 2001, Acapulco – México. Proceeding IWA, 2001. P. 1-8.

GIACOMINI, S. J; AITA, C; HUBNER, A. P; LUNKES, A; GUIDINI, F; AMARAL, E. B. **Liberção de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.38, p.1097-1104, 2003.

GODINHO, V. M.; CHERMICHARO, C. A. L.; HONÓRIO, K. B. **Caracterização de Lodos gerados em sistemas de tratamento de esgotos quanto a presença de helmintos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 22, 2003, Joinville, SC, Anais Eletrônicos: Abes / SC, 2003, CD-ROM;

GODINHO, V.M.; CHERMICHARO,C.A.L.;HONORIO,K.B. **Caracterização de lodos gerados em sistemas de tratamento de esgotos quanto a presença de helmintos.** IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville, SC, Anais Eletrônicos: Abes/SC, 2003, CD-ROM.

HMSO. HER MAJESTY STATIONARY OFFICE. **Statutory Instrument No. 1263. The Sludge (Use in Agriculture) Regulation.** London, 1989. Disponível em: <http://www.opsi.gov.uk/si/si1989/Uksi_19891263_en_1.htm>. Acesso em: 21 out 2015.

HOSSAIN, M. K., STREZOV, V., NELSON, P. **Thermal characterisation of the products of wastewater sludge pyrolysis.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. v. 85, p.442-446, 2009.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 4. ed. Rio de Janeiro: ABES. 932p. 2005.

KROISS, H; ZESSNER, M. **Ecological and Economical relevance of Sludge Treatment and Disposal Options.** In: **Waster water Biosolids Sustainability: technical, managerial, and public synergy, 2007.** New Brunswick – Canadá. Proceedings... Canadá: IWA, 2007.p.47-54.

LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. **Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: Moving forward the sustainable and Welcome uses of a global resource, pela United Nations Human Settlements Programme.Kenya: united Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT),** 2008. Disponível em: <http://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/habitat2008.pdf>. Acesso em 29 set. 2014.

LIMA, D.M.; CUNHA, R.L. da; PINHO, E.V.R.V.; GUIMARÃES, R.J. **Efeito da adubação foliar no cafeeiro, em sua produção e na qualidade fisiológica de sementes.** Ciência Agrotécnica. Edição Especial, p. 1499-1505. 2003

LIMA, M. R. P., ALEM SOBRINHO, P.; **Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo gerado em ETE.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25, 2009, Recife. Anais dos 25 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

LIMA, M. R. P., **Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto.** (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010

MACHADO, M. F. de S., **A situação brasileira dos biossólidos.** (Dissertação de mestrado.). Campinas: Unicamp, 2001. MAIER, R. M.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. **Environmental microbiology.** 2.ed. Oxford, UK: Academic Press, Elsevier Inc. ISBN 978-0-12-370519-8,2009. 598p.

METCALF e EDDY, INC. **Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse.** Third Edition, New York, 1992.

NRC – National Research Council. **Biosolids applied to land: advancing standards and practices.** Washington DC: National Academy Press, 2002. 178p.

PATRI, M. P. M. **Legislacion sobre lodos em américa latina: in análisis comparativo.** In: SÍMPOSIO INTERAMERICANO DE BIOSSÓLIDOS. 2008. Rio de Janeiro. Anais Eletrônicos: AIDIS, 2008, CD-ROM.

PIRES, A. M. M. **Uso agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais.** EMBRAPA MEIO AMBIENTE, Jaguariúna, SP. 2006.

ROCHA, A.L.C.I. **Higienização de lodo anaeróbio de esgoto por meio alcalino – Estudo de caso da ETE Lages – Aparecida de Goiânia – GO.** Dissertação (mestrado). Goiânia. 2009.

SIGOLO, J.B., PINHEIRO, C.H.R. **Lodo de Esgoto da ETE Barueri - SP: Proveniência do Enxofre Elementar e Correlações com Metais Pesados Associados.** Revista do Instituto de Geociências – USP. São Paulo, v. 10, n. 1, p. 39-51, março 2010.

TCHOBANOGLOUS,G.;BURTON,F. L;STENSEL,H. D. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.** 4rd ed. Metcalf & Eddy, Inc. New York: McGraw Hill, 2002.

TEIXEIRA, C. **Higienização de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto por compostagem termofílica para uso agrícola.** (Dissertação de mestrado). Florianópolis – SC . 2012.

TOLEDO, F.S.F.; VENTURIN, N.; DIAS, T. C.; **O uso de biossólidos no setor florestal, Enciclopédia Biosfera.** Centro Científico Conhecer. 2275-2294,2012,

TSUTIYA, M.T. **Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos.** In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, A.P.;

HESPANOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J. (Ed.). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: Sabesp, 2001. p.89-131.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge**. EPA/625/R-92/013: Cincinnati, 2003. 177 p. Disponível em: < www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs > Acesso em 27 nov. 2015.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **A plain English guide to the EPA 503 part biosolids rule**. Washington, 1993 Disponível em: <<http://www.epa.gov/OW-OWM.html/mtb/biosolids/503pe/index.htm> >. Acesso em: 27 novembro 2015.

VANZETTO, A. S. **Análise das Alternativas Tecnológicas de Desaguamento de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Esgoto**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM 139/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2012. 185p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3. ed. Belo Horizonte: DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R.F. **Lodo de esgoto: características e produção**. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*, Vol.6. Lodo de Esgotos. Tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, 2001. 484p.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.

WANKE, R. et al **Utilização de Estações de Tratamento de Esgoto modulares compactas associando reatores anaeróbios e aeróbios na região sudeste do Brasil**. In: TALLER Y SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE DIGESTIÓN

ANAEROBICA, 7. 2002, Mérida, Yucatán, México. Anais Mérida: IWA, 2002. P229-232.

YEAGER, J. G.; O'Brien, R. T. **Irradiation as a Means to Minimize Public Health Risks from Sludge-Borne Pathogens.** *J. Water Pollut. Control Fed.*, v. 55, Issue 7, 1983 apud COMPARINI, J. B. Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos a secagem em estufa. 2001. 278 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ANEXO I TEMPERATURAS INTERNAS E EXTERNAS DA ESTUFA

ANEXO II REGISTRO FOTOGRÁFICO DE COLETAS

ANEXO III LAUDOS DO MONITORAMENTO FÍSICO-QUÍMICO

1 Campanha							
Data	Horário	Temperatura		Data	Horário	Temperatura	
		Externa	Interna			Externa	Interna
28-mai	08:00	23,6	29	19-jun	08:00	21,7	26
	12:00	31,8	32		12:00	24,3	28
	16:00	28,0	30		16:00	23,6	28
29-mai	08:00	23,6	28	22-jun	08:00	19,5	26
	12:00	31,8	32		12:00	24,8	28
	16:00	28,0	30		16:00	25,5	28
1-jun	08:00	23,6	28	23-jun	08:00	19,2	25
	12:00	31,8	33		12:00	26,3	30
	16:00	28,0	31		16:00	26,2	30
2-jun	08:00	21,0	26	24-jun	08:00	20,5	27
	12:00	20,9	26		12:00	25,2	29
	16:00	22,6	27		16:00	21,1	27
3-jun	08:00	20,6	27	25-jun	08:00	20,7	26
	12:00	21,2	28		12:00	22,0	27
	16:00	21,7	28		16:00	21,2	26
4-jun	08:00	19,2	27	26-jun	08:00	16,8	24
	12:00	25,8	30		12:00	20,2	26
	16:00	24,4	30		16:00	19,5	26
5-jun	08:00	20,5	27	29-jun	08:00	18,0	24
	12:00	23,9	28		12:00	26,5	28
	16:00	25,2	29		16:00	23,9	27
8-jun	08:00	18,6	26	30-jun	08:00	20,8	26
	12:00	28,7	29		12:00	26,6	28
	16:00	26,0	28		16:00	25,4	28
9-jun	08:00	19,1	27	1-jul	08:00	21,7	28
	12:00	26,9	29		12:00	27,2	30
	16:00	25,8	29		16:00	25,3	30
10-jun	08:00	19,6	26	2-jul	08:00	19,6	26
	12:00	27,8	28		12:00	26,1	30
	16:00	27,0	28		16:00	23,8	31
11-jun	08:00	19,8	26	3-jul	08:00	19,3	27
	12:00	28,4	31		12:00	27,8	30
	16:00	28,2	31		16:00	25,5	30
12-jun	08:00	20,6	27	6-jul	08:00	17,1	25
	12:00	28,7	32		12:00	19,5	27
	16:00	30,1	33		16:00	20,5	27
15-jun	08:00	19,8	27	7-jul	08:00	20,0	26
	12:00	31,3	33		12:00	23,8	26
	16:00	26,6	30		16:00	22,4	29
16-jun	08:00	20,3	27	8-jul	08:00	18,5	27
	12:00	21,5	28		12:00	24,5	29
	16:00	20,8	28		16:00	25,0	30
17-jun	08:00	22,2	25	9-jul	08:00	18,6	28
	12:00	24,8	27		12:00	28,0	30
	16:00	24,2	27		16:00	26,9	32
18-jun	08:00	22,3	26				
	12:00	29,3	30				
	16:00	27,0	29				
<i>Estatística Descritiva</i>							
		<i>Média</i>	23,7	28,2			
		<i>Mediana</i>	23,8	28,0			
		<i>25%</i>	20,56	27,00			
		<i>Máximo</i>	31,8	33,0			
		<i>Mínimo</i>	16,8	24,0			
		<i>75%</i>	26,57	30,00			

Campanha Repetição							
Data	Horário	Temperatura		Data	Horário	Temperatura	
		Externa	Interna			Externa	Interna
25-jun	08:00	20,7	26	17-jul	08:00	20,3	29
	12:00	22,0	27		12:00	26,3	31
	16:00	21,2	26		16:00	25,1	29
26-jun	08:00	16,8	24	20-jul	08:00	17,5	29
	12:00	20,2	26		12:00	25,8	31
	16:00	19,5	26		16:00	24,9	31
29-jun	08:00	18,0	24	21-jul	08:00	21,0	29
	12:00	26,5	28		12:00	26,5	30
	16:00	23,9	27		16:00	26,1	29
30-jun	08:00	20,8	26	22-jul	08:00	20,3	30
	12:00	26,6	28		12:00	23,2	30
	16:00	25,4	28		16:00	20,7	29
1-jul	08:00	21,7	28	23-jul	08:00	18,7	29
	12:00	27,2	30		12:00	21,2	27
	16:00	25,3	30		16:00	21,3	29
2-jul	08:00	19,6	26	24-jul	08:00	19,6	28
	12:00	26,1	30		12:00	25,1	31
	16:00	23,8	31		16:00	24,5	31
3-jul	08:00	19,3	27	27-jul	08:00	22,0	29
	12:00	27,8	30		12:00	27,9	30
	16:00	25,5	30		16:00	25,1	29
6-jul	08:00	17,1	25	28-jul	08:00	20,4	29
	12:00	19,5	27		12:00	27,7	31
	16:00	20,5	27		16:00	25,7	31
7-jul	08:00	20,0	26	29-jul	08:00	20,0	30
	12:00	23,8	26		12:00	26,6	31
	16:00	22,4	29		16:00	26,0	31
8-jul	08:00	18,5	27	30-jul	08:00	18,7	29
	12:00	24,5	29		12:00	26,6	30
	16:00	25,0	30		16:00	25,7	30
9-jul	08:00	18,6	28	31-jul	08:00	20,4	29
	12:00	28,0	30		12:00	26,7	31
	16:00	26,9	32		16:00	25,1	30
10-jul	08:00	19,5	28	3-ago	08:00	18,9	28
	12:00	24,5	30		12:00	29,5	32
	16:00	24,2	30		16:00	25,6	31
13-jul	08:00	22,6	31	4-ago	08:00	19,9	27
	12:00	27,6	33		12:00	27,3	30
	16:00	25,2	32		16:00	28,7	31
14-jul	08:00	19,6	29	5-ago	08:00	17,5	26
	12:00	28,8	30		12:00	26,6	29
	16:00	25,4	29		16:00	26,5	29
15-jul	08:00	21,9	28	6-ago	08:00	20,6	28
	12:00	27,7	30		12:00	28,7	31
	16:00	25,5	30		16:00	25,4	30
16-jul	08:00	20,3	27				
	12:00	25,0	29				
	16:00	21,8	31				
Estatística Descritiva							
	<i>n</i>	93	93				
	<i>Média</i>	23,3	29,0				
	<i>Mediana</i>	24,2	29,0				
	<i>25%</i>	20,31	28,00				
	<i>Máximo</i>	29,5	33,0				
	<i>Mínimo</i>	16,8	24,0				
	<i>75%</i>	26,06	30,00				



Coleta de amostra da 1ªCampanha, no dia 28/05/2015, na LR1 e L2 simultaneamente. Foto: Arquivo pessoal.



Coleta de amostra da 1ªCampanha, no dia 18/06/2015, na LR1. Foto: Arquivo pessoal.



Coleta de amostra da 1ªCampanha, no dia 25/06/2015, na L2. Foto: Arquivo pessoal.



Coleta de amostra da 2ªCampanha, no dia 02/07/2015, na LR3. Foto: Arquivo pessoal.



Coleta de amostra da 2ªCampanha, no dia 09/07/2015, na L4. Foto: Arquivo pessoal.



Coleta de amostra da 2ªCampanha, no dia 06/08/2015, na LR3. Foto: Arquivo pessoal.