

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**EWERTON HENRIQUE DA SILVA SOUZA**

**ESTUDO DA LIXIVIAÇÃO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**

**Cacapava do Sul  
2019**



**EWERTON HENRIQUE DA SILVA SOUZA**

**ESTUDO DA LIXIVIAÇÃO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin.

**Caçapava do Sul  
2019**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

S729 Souza, Ewerton Henrique da Silva  
Estudo da lixiviação do lodo da estação de tratamento de água do município de Caçapava do Sul - RS/ Ewerton Henrique da Silva Souza.  
61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, Engenharia Ambiental e Sanitária, 2019.  
"Orientação: Rafael Matias Feltrin".

1. Percolação. 2. leito de secagem. 3. Metais. 4. Contaminação de corpos hídricos. I. Título.





EWERTON HENRIQUE DA SILVA SOUZA

**ESTUDO DA LIXIVIAÇÃO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**

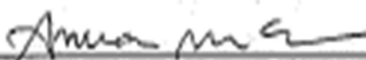
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária da Universidade  
Federal do Pampa, como requisito parcial  
para obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27 de Novembro de  
2019.

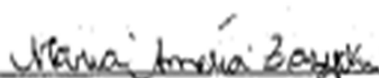
Banca examinadora:



Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin  
Orientador  
UNIPAMPA



Prof. Dra. Anelise Marlene Schmidt  
UNIPAMPA



Prof. Dra. Maria Amelia Zazycki  
UNIPAMPA



*“Entrega o teu caminho ao Senhor;  
confia nEle, e ele o fará.”*

*(Bíblia Sagrada, Salmos 37:5)*



Dedico esse trabalho aos meus pais,  
que tornaram mais esse sonho uma  
realidade na minha trajetória.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela porta que me foi aberta e dessa forma a possibilidade de alcançar um sonho que vinha sendo construído desde a infância e pode ser concluído de forma surpreendente diante das expectativas criadas até o presente dia.

Aos meus pais, Eriovaldo e Gizelda, por sempre me darem o apoio necessário para que me tornasse uma pessoa melhor a cada dia, que me passaram valores em que não se deve desanimar ou parar nos primeiros obstáculos, mas sim evoluir, buscar o crescimento diário e reconhecer que todo esforço feito de maneira correta vale a pena.

A minha noiva, Ewellen Bitencourt, que me ajudou, compreendeu cada momento difícil e me abraçou nessa reta final para que continuasse o trajeto sem parar ou olhar para trás, mas para o futuro que é brilhante para os que confiam e acreditam sempre no melhor da vida. Assim como seus pais, Evandro e Sybele, irmã, Emilly e familiares. Que me adotaram como um filho e permitiram que eu fosse parte deles e me apoiaram nesse sonho do início ao fim.

Aos meus amigos e irmãos de coração, Leonardo, Victória, Jefferson, Davi, Daniela e tantos outros. Que compartilharam momentos felizes e complicados que ajudam a crescer cada dia e evoluir como pessoa. Buscando, acreditando e torcendo sempre pelo sucesso de cada um.

Ao meu orientador, Rafael Feltrin, pela paciência e auxílio a todo o momento para que esse projeto saísse do papel, desde a idealização até o cumprimento com resultados e conclusões.

A família UMADECS, representada por Luis e Graziela Medeiros, por também estarem ao meu lado sempre que fosse necessário e me dando todo o suporte para continuar no caminho certo, mesmo que tivessem um contato por pouco tempo, mas sempre torceram pelo meu sucesso.

Aos professores, por todo o conhecimento transferido ao longo desses anos de estudo.

À todos que, direta ou indiretamente, auxiliaram na execução desse trabalho.

À Universidade Federal do Pampa por proporcionar a oportunidade para que tudo isso fosse realidade.





## RESUMO

O crescimento dos grandes centros urbanos com a instalação de indústrias e residências sem o planejamento adequado trouxe como consequência o descarte de efluentes nos corpos hídricos e fez com que a água se tornasse imprópria para consumo. Dessa forma a solução encontrada nas estações de tratamento de água (ETAs) foi o aumento da concentração de reagentes químicos para que a água atingisse os níveis de qualidade para consumo e outros fins. Dentro desse tratamento, especialmente no processo de decantação e filtração da água é gerado um resíduo conhecido como lodo, rejeito esse que é retirado da estação de tratamento por meio da lavagem do decantador e filtro. Por se tratar de um resíduo com tratamento complexo, muitas vezes não se tem uma disposição final correta para as empresas que o geram que por consequência, o descartam de forma inadequada. Como o lançamento nos corpos hídricos, no solo de qualquer maneira ou uma opção mais viável, porém cara quando se envolve recursos para descarte em aterros sanitários. Em Caçapava do Sul, o descarte do lodo da ETA é feito em terreno de propriedade da própria unidade de tratamento após a passagem pelo leito de secagem, por não se ter uma destinação ambientalmente adequada. O lodo gerado na ETA após lavagem dos filtros e decantadores é conduzido por gravidade até a unidade de secagem e, na sequência, para o terreno de descarte final. A partir disso, este trabalho tem como objetivo analisar os efeitos causados pela lixiviação recorrente no terreno de descarte e diagnosticar os impactos que esse processo está causando na área. Para isso foram utilizadas colunas de lixiviação com características que se tem in loco e, foram realizadas análises da água após percolação do lixiviado em galões posicionados abaixo das amostras. Foi feita a quantificação de alumínio, hidróxido de cálcio e ferro que são os reagentes utilizados com frequência no tratamento, e também análise de turbidez, a demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), pH, sólidos totais e cor aparente. Os resultados mostraram que não ocorre contaminação na água lixiviada a partir do lodo, pois os parâmetros de análise estão equivalentes aos valores estabelecidos para águas superficiais e subterrâneas, permitindo a continuação do sistema de drenagem para o leito de secagem do lodo.

**Palavras chave:** Percolação, leito de secagem, metais, contaminação de corpos hídricos.



## ABSTRACT

The growth of large urban centers with the installation of industries and homes without proper planning led to the disposal of effluents in the water bodies and made the water unfit for consumption. Thus the solution found in the ETAs was the increase of the concentration of chemical reagents so that the water reached the levels of quality for consumption and other purposes. Within this treatment, especially in the process of decanting and filtering the water, a residue is generated which is known as sludge, which is withdrawn from the treatment plant by washing the decanter and filter. Because it is a residue with complex treatment, it does not have a correct and clear final disposition for the companies that generate it that consequently discard it in an inadequate way as the discharge in the bodies of water, in the soil in any way or a more viable option, however expensive when it involves transportation resources that is discarded in landfills. In Caçapava do Sul, the disposal of this sludge is done on land owned by the treatment unit itself after passing through the drying bed, because there is no environmentally adequate destination for final disposal. The sludge generated in the ETA after washing the filters and decanters is conducted by gravity to the drying unit and in the sequence to the final disposal ground. From this, this work has the objective of analyzing the data of the invalid disposal process, which is a recurrent leaching within the scope of a process and diagnosis that is being established in the area. For this purpose, leach columns with characteristics that are in loco and water analysis after percolation of the leachate in containers placed under the samples will be used. Quantification of aluminum, calcium and iron will be done which are the reagents frequently used in the treatment. With turbidity analysis, biological oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD), pH, total solids and apparent color. The results showed that there is no contamination in the leachate water from the sludge, because the analysis parameters are equivalent to the values established for surface and groundwater, allowing the continuation of the drainage system to the drying bed present at the sludge storage.

**Key words:** Percolation, drying bed, metals, water bodies.



**LISTA DE FIGURAS**

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Tratamento de água convencional. ....                                   | 25 |
| Figura 2: Processo de floculação com a agregação das partículas coloidais. ....   | 26 |
| Figura 3: Exemplo de leito de secagem com mantas geotêxteis.....                  | 29 |
| Figura 4: Ocorrência da percolação no solo.....                                   | 31 |
| Figura 5: Localização da área de estudo. ....                                     | 35 |
| Figura 6: Mapa da área de estudo. ....  | 36 |
| Figura 7: Leito de Secagem do lodo em Caçapava do Sul, RS.....                    | 37 |
| Figura 8: Pontos de coleta na área dos leitos de secagem.....                     | 38 |
| Figura 9 - Fixação dos tubos no leito de secagem para retirada das amostras. .... | 38 |
| Figura 10 - Visão superior dos tubos fixados no lodo.....                         | 39 |
| Figura 11: Colunas de lixiviação.....   | 40 |
| Figura 12 - Evolução da dureza em cada ponto.....                                 | 47 |
| Figura 13 - Evolução do pH em cada ponto. ....                                    | 48 |
| Figura 14 - Evolução da alcalinidade em cada ponto.....                           | 48 |
| Figura 15 - Evolução da condutividade em cada ponto.....                          | 49 |
| Figura 16 - Evolução da DBO em cada ponto.....                                    | 50 |
| Figura 17 - Evolução do oxigênio consumido em cada ponto.....                     | 50 |
| Figura 18: Evolução dos sólidos totais em cada ponto. ....                        | 51 |
| Figura 15 - Evolução da turbidez em cada ponto.....                               | 52 |
| Figura 16 - Evolução da temperatura em cada ponto. ....                           | 57 |



**LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Parâmetros para análise de água. ....   | 40 |
| Tabela 2 - Valores de referência estabelecidos por norma de qualidade de água sup. e subterrânea. .... | 41 |
| Tabela 3 - Resultados do teor de umidade, matéria orgânica e pH . ....                                 | 42 |
| Tabela 4 - Análise química por fluorescência de Raios X. ....  | 42 |
| Tabela 5 - Médias dos resultados das três colunas para o ponto 1. ....                                 | 43 |
| Tabela 6 - Médias dos resultados das três colunas para o ponto 2. ....                                 | 44 |
| Tabela 7 - Médias dos resultados das três colunas para o solo controle. ....                           | 45 |
| Tabela 9 - Análise química por fluorescência de Raios X para o solo controle. ....                     | 54 |
| Tabela 10 - Análise química por fluorescência de Raios X para o ponto 1. ....                          | 55 |
| Tabela 11 - Análise química por fluorescência de Raios X para o ponto 2. ....                          | 56 |





## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                   | <b>23</b> |
| <b>2. OBJETIVOS.....</b>                                     | <b>24</b> |
| <b>2.1 Objetivo Geral .....</b>                              | <b>24</b> |
| <b>2.2 Objetivos Específicos.....</b>                        | <b>24</b> |
| <b>3. JUSTIFICATIVA.....</b>                                 | <b>24</b> |
| <b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                         | <b>25</b> |
| <b>4.1 Estação de Tratamento de Água (ETA).....</b>          | <b>25</b> |
| <b>4.1.1 Etapas de tratamento.....</b>                       | <b>25</b> |
| <b>4.2 Lodo .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>4.2.1 Tratamento do Lodo.....</b>                         | <b>29</b> |
| <b>4.2.2 Descarte do Lodo .....</b>                          | <b>30</b> |
| <b>4.3 Percolação e Lixiviação .....</b>                     | <b>31</b> |
| <b>4.4 Contaminação por metais na água.....</b>              | <b>32</b> |
| <b>4.5 Legislação para o lodo .....</b>                      | <b>33</b> |
| <b>4.6 Legislação para a qualidade da água.....</b>          | <b>34</b> |
| <b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                          | <b>34</b> |
| <b>5.1 Área de estudo.....</b>                               | <b>34</b> |
| <b>5.1.1 Caracterização da Área.....</b>                     | <b>34</b> |
| <b>5.2 Coleta das amostras de Lodo da ETA.....</b>           | <b>37</b> |
| <b>5.3 Preparação do ensaio em coluna de lixiviação.....</b> | <b>38</b> |
| <b>5.4 Análise dos parâmetros físicos e químicos .....</b>   | <b>40</b> |
| <b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                       | <b>41</b> |
| <b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                         | <b>52</b> |
| <b>8. ANEXOS.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>9. REFERÊNCIAS.....</b>                                   | <b>58</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

O processo acelerado da urbanização recente faz com que ocorra uma cobrança maior por água com melhor potabilidade por parte da população. Porém a partir dessa maior demanda, a água bruta que é captada dos corpos hídricos vem em crescente queda na sua qualidade, por conta do despejo irregular de esgotos domésticos e outros tipos de efluentes.

Com o crescimento dessa necessidade, as estações de tratamento de água (ETAs) precisam aumentar a concentração dos produtos químicos como o cloreto férrico, sulfato de alumínio e cal hidratada para tornar a água potável. Tendo como consequência o aumento principalmente do lodo proveniente das fases do tratamento. Esse resíduo é gerado principalmente nas etapas de decantação por conta das partículas maiores e mais pesadas que se juntam no fundo do decantador (PORTELLA, 2003) e com a filtração devidos as partículas menores que se juntam a parede do filtro.

O lodo torna-se um problema para as ETA's, por ser um rejeito de difícil descarte e que habitualmente é lançado de forma direta nos corpos hídricos, aterros ou como no caso de Caçapava do Sul, conduzido por gravidade para o leito de secagem e, após esse processo é descartado em um terreno baldio por falta de uma destinação adequada (SANTOS, 2016). Isto pode acarretar na lixiviação que se dá pelo transporte dos componentes químicos presentes no lodo, levando-os para o nível subterrâneo (lençol freático) e atingindo o corpo hídrico de forma a piorar sua qualidade, tendo impactos negativos para a população, fauna e flora que são dependentes daquele curso d'água (LOPES, 2016).

A partir disso, o presente trabalho teve como objetivo estudar a lixiviação do lodo gerado na estação de tratamento de água de Caçapava do Sul, usando o método de colunas de lixiviação com a quantificação dos compostos químicos presentes na água percolada. Por fim, diagnosticar os impactos negativos que a lixiviação pode trazer para o meio ambiente em que o lodo proveniente da ETA está inserido.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Esse trabalho teve como objetivo estudar a lixiviação do lodo gerado a partir da estação de tratamento de água (ETA) no município de Caçapava do Sul - RS.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- a) Observar a percolação do fluido através de simulação em colunas em que o lodo está inserido.
- b) Analisar a qualidade da água percolada por meio de parâmetros físico-químicos.

## **3 JUSTIFICATIVA**

A ideia para o desenvolvimento desse estudo surgiu a partir da dificuldade encontrada para o descarte correto do lodo gerado nas ETA's, que na sua maioria é deixado no leito de secagem e após transportado para aterros ou lançado nos corpos hídricos. Como é o caso da cidade de Caçapava do Sul em que o lodo é destinado a um terreno baldio após secagem, justamente por não ter um local apropriado para o mesmo.

Entretanto, esse lodo fica exposto às condições climáticas (Precipitação, radiação solar, ventos), e no caso de chuvas se tem como consequência o fenômeno conhecido como lixiviação, que é o carregamento dos materiais que constituem o rejeito por meio do fluido percolado. Esses materiais presentes no lodo são os componentes químicos (Sulfato de alumínio, cloreto férrico e cal) usados para o tratamento da água, uma vez que encontrados em excesso causam prejuízos para o meio ambiente.

A partir disso, esse tema foi escolhido por conta da necessidade da obtenção de maior conhecimento das consequências da lixiviação do lodo sem a destinação correta.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Estação de Tratamento de Água (ETA)

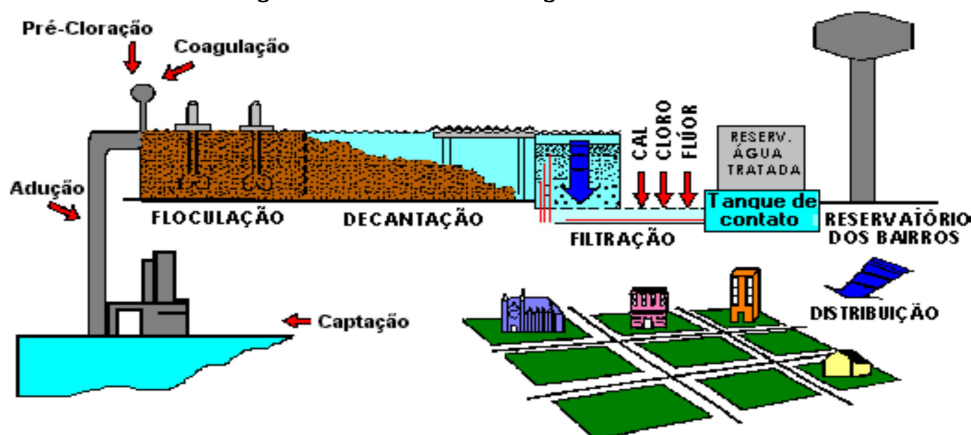
A água é um bem compartilhado entre todos os seres vivos, por se tratar de algo necessário para a vida. Porém, a partir da crescente urbanização e a falta de cuidado com o descarte do esgoto gerado tem como consequência que nem toda a água presente na natureza é própria para consumo (CESAN, 2013). Dessa forma a ETA pode ser definida como um conjunto de instalações destinada a realizar o tratamento da água bruta imprópria para consumo, transformando-a em água potável (SAAE, 2006). O que a torna responsável pelo tratamento e abastecimento público com o objetivo de atender os padrões mínimos de potabilidade exigidos por lei (SANTOS, 2016).

Segundo o Ministério da Saúde por meio da Portaria nº 2.914/2011, toda água destinada para o consumo humano deve ser biologicamente e quimicamente segura, além de ser esteticamente agradável (BRASIL, 2011). Logo, pode se perceber a importância do tratamento de água para a população e tudo o que pode ser englobado a partir disso (SANTOS, 2016).

#### 4.1.1 Etapas de tratamento

No funcionamento das ETAs existem etapas que dividem o tratamento da água desde a captação no manancial até a distribuição para a população. A maioria dos tratamentos encontrados nas estações são do tipo convencional, composto por sistemas de adutoras, coaguladores, floculadores, decantadores, filtros e reservatório (SAAE, 2006), como no exemplo da figura 1:

Figura 1: Tratamento de água convencional.



Fonte: SAAE, 2006.

A adução consiste basicamente na condução da água bruta coletada nos mananciais até a ETA e após o processo de potabilização conduzir o fluido para os reservatórios de distribuição (CESAN, 2019).

A coagulação é o processo de mistura de produtos químicos na água por meio de misturadores hidráulicos como o medidor Parshall ou mecanizados com motores. Esse sistema tem como objetivo que as partículas coloidais sejam desestabilizadas, o que reduz suas forças atrativas, de modo que essas impurezas se agreguem e formem flocos (METCALF, 2003). Isso permite que sejam formadas partículas maiores e que possam ser retiradas nas etapas subsequentes ao tratamento. São exemplos de coagulantes o sulfato de alumínio e cloreto férrico (NUCASE, 2008).

O processo de floculação tem como objetivo agregar as partículas coloidais, de modo que possa haver o aumento do seu tamanho físico, para que estas possam ser dispersas na fase líquida com o processo de separação sólido-líquido por sedimentação por gravidade (SECKLER, 2017). Como nos coaguladores, existem floculadores mecanizados e hidráulicos do tipo turbina ou hélices, sendo as chicanas verticais e horizontais.

Na figura 2 é possível ver como ocorre a agregação das partículas coloidais.

Figura 2: Processo de floculação com a agregação das partículas coloidais.



Fonte: Seckler, 2017.

A decantação é uma operação em que ocorre a sedimentação dos flocos formados por meio da ação da gravidade no qual é diminuída a velocidade de maneira que as partículas formadas se depositem no fundo do decantador. Isso faz com que ocorra a separação efetiva dos flocos nos tanques de decantação (SAAE, 2006).

Após a decantação a água já clarificada é conduzida até os filtros para filtração. Essa etapa consiste na retenção das partículas coloidais (flocos) que não foram removidos na decantação (CESAN, 2019) mediante a percolação do fluido por um meio granular, que filtra a água garantindo que tenha características estéticas dentro das normas de potabilidade (SECKLER, 2017).

Antes da água ir para os reservatórios ocorre ainda a desinfecção, que tem como objeto eliminar ou inativar os microrganismos patogênicos que ainda estão presentes na fase líquida por meio do uso do produto químico cloro (SECKLER, 2017). Esses organismos tem a capacidade de viver semanas na água ou por meses dependendo da temperatura no local (CUBILLOS, 1981). E segundo a portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde o teor mínimo de cloro residual livre na água a ser passada para o consumidor tem que ser de  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$  (BRASIL, 2011).

A fluoretação e neutralização são feitas com o objetivo de proteção tanto da saúde quanto das tubulações as quais a água irá passar. A fluoretação tem como objetivo a prevenção da cárie dentária por meio da adição de flúor na água, isso faz parte do sistema de prevenção primário oferecido à população (AMAZONAS, 2011).

A neutralização (correção de pH) tem como objetivo evitar que a água seja corrosiva ou que crie crostas, de maneira que não vá danificar a tubulação ou prejudicar as pessoas que irão ingerir essa água (NUCASE, 2008). Sendo assim, de acordo com o Ministério da Saúde por meio da portaria Nº 635/BSB é exigido o uso de flúor na água, dispondo assim normas e padrões da fluoração na água para o consumo e outros fins (BRASIL, 1975).

## **4.2 Lodo**

Ao longo do processo de tratamento da água para distribuição e abastecimento da população feito nas ETAs, é gerado o lodo que posteriormente é descartado em leitos de secagem. Esse resíduo é gerado principalmente nos decantadores e filtros para remoção dos sólidos suspensos da água (SANTOS, 2016) e é classificado como resíduo sólido segundo a NBR 10.004/2004 (BRASIL, 2004).

O lodo é definido como todo o resíduo gerado a partir do tratamento de água (bruta para potável) (GODBOLD et. al; 2003) e caracterizado por Silva e Isaac (2002) como um fluido não newtoniano, volumoso e tixotrópico que se apresenta em



estado gelatinoso quando em repouso e líquido quando é agitado. Uma vez que essas características podem variar em função do tratamento usado para clarificação da água, tanto na questão da qualidade da água bruta quanto nos componentes químicos usados para o tratamento (SARON; LEITE, 2001).

O lodo proveniente das ETAs tem em sua constituição matérias do tipo orgânico e inorgânico originados da água bruta, tais como bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, areia, argila, cálcio, ferro, etc. (GRADIN; SOBRINHO; GARCIA JR, 1993). Como consequência da adição de compostos químicos e em algumas situações polímeros condicionantes para o tratamento e coagulação das partículas, é encontrado um elevado teor de hidróxidos de alumínio como parte da constituição do lodo (BIDONE E MARQUES, 2000).

Esse lodo tem uma concentração de sólidos totais em torno de 1.000 a 40.000 mg L<sup>-1</sup>, com uma distribuição que varia de 75 a 90% concentrados como sólidos suspensos e de 20 a 35% como sólidos voláteis, sendo essa pequena porção biodegradável. A massa específica pode variar de 1,002 kg m<sup>3</sup> <sup>-1</sup> com teor de sólidos de 1% até 1,5 kg m<sup>3</sup> <sup>-1</sup> após o processo de desidratação. Essa massa pode ainda variar dependendo das concentrações de sólidos totais presentes nela (RICHTER, 2001).

A partir da concentração de sólidos no lodo pode se perceber que o potencial tóxico desse resíduo varia com a quantidade de metais presente na sua composição, às características físico-químicas, como é descartado ou disposto no meio, além das reações sofridas no processo, tempo de retenção e outros produtos químicos adicionados no sistema (SANTOS, 2016). Um tipo de metal que pode ser encontrado no lodo em maior quantidade é o alumínio por ser mais comum no tratamento além de cobre, zinco, chumbo e outros em menores quantidades (BARROSO E CORDEIRO, 2001).

#### **4.2.1 Tratamento do Lodo**

Antes de ser descartado em aterros ou depositado em leitos para secagem o lodo passa por quatro etapas de tratamento que são adensamento, estabilização, desidratação e higienização. Isso para que não ocorra contaminação no meio por conta de sua composição principalmente por metais (NUCASE, 2008).

A primeira etapa para o tratamento é conhecida como espessamento ou adensamento que tem como objetivo principal, fazer a segregação das partículas presentes, reduzindo a umidade e conseqüentemente o seu volume (NUCASE, 2008). Esse processo ocorre por gravidade ou flotação, podendo ser realizado por adensadores contínuos ou a bateladas (RECESA, 2008).

O processo de estabilização tem como objetivo a diminuição da massa de sólidos e os maus odores. Isso é consequência dos compostos usados para tratar a água na fase de coagulação, o que gera uma maior presença de matéria orgânica não estabilizada. Essa fase pode ser realizada por digestão anaeróbia e aeróbia ou estabilização química (RECESA, 2008).

A desidratação ou desaguamento do lodo tem como objetivo diminuir a umidade do resíduo para que possa se obter um ponto sólido e seu descarte ser facilitado. Essa etapa pode ser feita segundo aos métodos de aplicação de material do tipo geotube, em leitos de secagem ou de acordo com Cordeiro (2008) que faz o uso de leito de secagem com mantas geotêxtis que obtém um efluente de boa qualidade para posterior descarte e protege o solo de possível contaminação como mostra na Figura 3.

Figura 3: Exemplo de leito de secagem com mantas geotêxteis.



Fonte: Barbosa, 2011.

Assim como ocorre no tratamento da água o lodo passa por processo semelhante antes do descarte, que é a desinfecção ou higienização. Isso ocorre devido à quantidade de patogênicos que permanecem em sua composição. São utilizados os métodos de compostagem, radiação solar ou adição de cal para que o lodo possa ser higienizado e dessa forma atender a norma vigente para o descarte e reaproveitamento (NUCASE, 2008).

#### **4.2.2 Descarte do Lodo**

Um dos maiores desafios encontrados atualmente pelas ETAs após o tratamento da água é o que fazer com o lodo gerado devido a sua composição mesmo após o tratamento recomendado. São encontrados obstáculos por conta do transporte e algumas limitações do meio ambiente para a disposição final do resíduo (SANTOS, 2016).

Uma das possibilidades para a destinação final são os aterros sanitários por ser uma alternativa segura para a saúde pública e o meio ambiente por conta do seu comportamento nessa situação já ser conhecido (TARTARI, 2008). Porém, deve se ter um cuidado com a reação do lodo com resíduos sólidos especificamente orgânicos, pois são produzidos ácidos voláteis que permitem a lixiviação do alumínio e outros metais no aterro (CORNEWLL et. al, 1987).

O reaproveitamento do lodo pode ser encontrado na recuperação de áreas degradadas e agricultura. Que a partir do seu teor de matéria orgânica e composição, contribuindo para melhoria da estrutura, crescimento das plantas, retenção de umidade e adição de minerais (GODBOLD et al, 2003). Porém o que limita a utilização do lodo nessa área é que por conta dos metais presentes em sua composição pode adsorver o fósforo diminuindo a produtividade do solo e a possibilidade de contaminação do meio com os componentes químicos presentes no resíduo (CORNWELL et al,2000).

Outro meio de reaproveitamento do lodo é na área da construção civil na substituição de parte da argila utilizada fabricação do mesmo, por conta das suas características físico-químicas semelhantes com a matéria-prima utilizada (CORNWELL, 2006). Segundo Dias et al. (2008) os blocos fabricados com 10% do lodo cumpriram as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) se

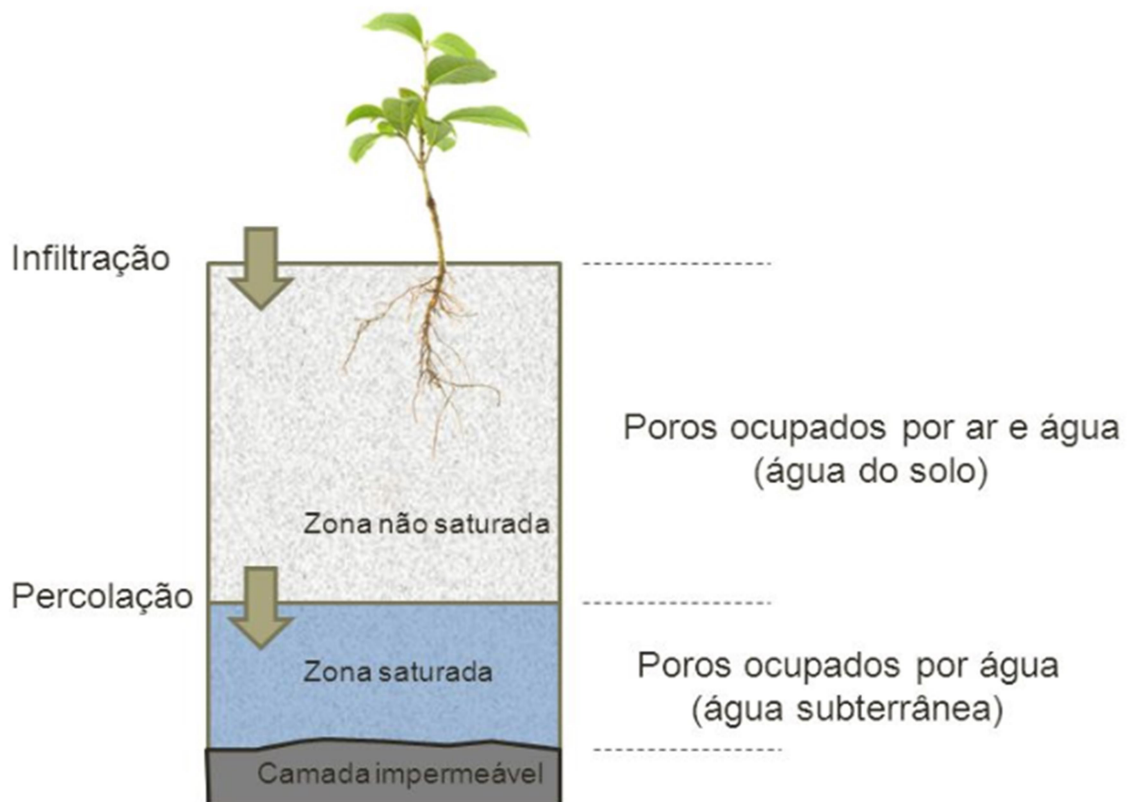
encaixando na classe 15 de resistência a compressão, semelhantemente aos blocos fabricados com o material feito 100% de cerâmica.

### 4.3 Percolação e Lixiviação

A Percolação se dá quando existe um movimento de água que ocorre abaixo da superfície do solo e conta com uma saturação do meio, regido somente pela influencia da gravidade (IWAI, 2005). De acordo com Siqueira (2016) percolação pode ser definida como sendo a passagem da água pelo solo e pedras permeáveis que vai em direção de reservatórios subterrâneos.

Ainda segundo IWAI (2005) a percolação deve ocorrer em duas fases distintas que são elas água e solo ou água e ar quando o meio não está saturado conforme é mostrado na Figura 4. Porém nos dois casos esse fenômeno depende da permeabilidade, tamanho dos poros e estrutura do solo para que possa acontecer de maneira a se obter resultados conclusivos de como é o comportamento do fluido no meio, relacionando esse fator com o tipo e formação do solo.

Figura 4: Ocorrência da percolação no solo.



Fonte: Silva, 2015.

O processo de lixiviação pode ser dito como uma consequência da percolação em que é definido como remoção dos componentes químicos de uma rocha ou solo, causado pela ação de um fluido percolante (SIQUEIRA, 2016).

Já de acordo com a Academie des Sciences (1998) e Cauduro (2003) a lixiviação pode ser definida como a extração de componentes do solo por meio de solvente adequado que na grande parte dos casos seria um fluido como a água.

Ou segundo a NBR 10.005/2004 que define a lixiviação como sendo o processo de determinação da capacidade de transferência das substâncias orgânicas e inorgânicas do meio, através de lavagem ou percolação (BRASIL, 2004).

#### **4.4 Contaminação por metais na água**

Os metais pesados são atualmente um dos maiores fatores de preocupação de um modo geral, pois o lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento prévio em corpos hídricos faz com que se tenha um crescimento no teor de metais na água que conseqüentemente acarreta em riscos a saúde humana e impactos para o meio ambiente (MOURA, 2002).

Esses metais tendem a se acumular em seres aquáticos como peixes e plantas quando entram em contato com esses organismos. Pois os contaminam através da superfície do corpo, por meio das vias respiratórias ou pela ingestão de alimentos contaminados. Que por consequência se cria uma condição de toxicidade nesses organismos e no meio que estão inseridos (MELVILLE & BURCHETT, 2002). Dessa maneira, é possível perceber que os metais em elevadas concentrações no meio aquático possuem alto fator acumulativo na biota (ATLI e CANLI, 2010).

Logo, por se tratar de um importante recurso nutricional como fonte de proteína e fazer parte da composição alimentar humana, torna se uma das principais fontes de ingestão de metais para o organismo humano ampliando o risco e impactos para a saúde dos seres vivos como um todo (BURGER et al, 2002).

#### **4.5 Legislação para o lodo**

A legislação Brasileira a partir da NBR 10.004/2004 enquadra o lodo como resíduo sólido que inclui os rejeitos gerados em sistemas de tratamento de água e águas residuárias, seguindo de acordo com a classe IIA de resíduo não perigoso e

não inerte (BRASIL, 2004). E dentro da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) nº 12.305/2010, art. 6º, inciso II deve ser observada a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos, bem como a disposição final dos ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Assim, é de responsabilidade das ETAs a destinação adequada, objetivando a sua redução, reuso e reciclagem. Porém no Brasil ainda se tem um grande número de ETAs que fazem o descarte do lodo nos corpos hídricos sem tratamento prévio (SANTOS, 2016).

O lançamento do lodo em corpos hídricos sem a devida autorização ou de forma irresponsável responde de forma criminal segundo a lei nº 9.605/1998 de crimes ambientais em que no capítulo V referente aos crimes contra o meio ambiente na seção III, art. 54º em que “causar poluição de qualquer natureza que resultem em danos a saúde humana, ou que provoque a morte ou a destruição significativa da flora”. E complementa no inciso V que, se o crime se der “por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos [...] Em desacordo com as exigências destacadas em lei ou regulamentos, tem como pena prevista a reclusão de um a cinco anos” (BRASIL, 1998).

#### **4.6 Legislação para a qualidade da água**

A qualidade das águas no Brasil segue a Lei nº 9.433/1997 que tem como um de seus objetivos assegurarem a atual e futuras gerações com disponibilidade de água potável com os padrões adequados de qualidade para o consumo e outros fins. Com enquadramento desta lei como um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRS) (BRASIL, 1997).

Outros órgãos que regem a qualidade da água no Brasil e prescrevem as normas para garantia da qualidade da água são as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (Agência Nacional de Águas, 2019).

O CONAMA utiliza como base três resoluções com destaque para a nº 357/2005 considerada a principal, porque dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos e diretrizes para enquadramento, que estabelece padrões e condições para lançamento de efluentes e outras providências (BRASIL, 2005). Assim como a

CONAMA 420/2009 que dispõe sobre a classificação, padrões, diretrizes e providências da qualidade das águas subterrâneas (BRASIL, 2005).

Já a CNRH dispõe da resolução Nº 91/2008, que tem como objetivo estabelecer os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos (BRASIL, 2008).

## **5 MATERIAIS E MÉTODOS**

Nesta seção do trabalho será apresentada a área de estudo, como foram feitas as coletas das amostras, assim como a preparação do método da coluna de lixiviação in loco e no laboratório. É mostrado como foram feitas as análises da água percolada na coluna contendo lodo, identificando os metais presentes após o mesmo ter sofrido o processo da lixiviação. Será demonstrado cada cálculo para quantificação dos metais presentes na água coletada das colunas de modo que ocorra a comparação com a norma vigente para o lodo e água, pretendendo avaliar a contaminação ou não do meio.

### **5.1 Área de estudo**

#### **5.1.1 Caracterização da Área**

Caçapava do Sul é um município que fica localizado na região centro sul do Estado do Rio Grande do Sul à cerca de 260 km de distância da capital Porto Alegre com latitude 30°30'44''S e longitude 53°29'29''O, estando a uma altitude de 444,00 m. A cidade possui uma área total de 3.044,800 Km<sup>2</sup> com área urbana de 15,265 Km<sup>2</sup>, onde está localizada a área em que o lodo é descartado (CAÇAPAVA DO SUL, 2015).

A cidade possui três corpos hídricos principais. O rio Camaquã, Santa Bárbara e Irapuá. Todos eles fazem parte e contribuem para as bacias hidrográficas do rio Camaquã, Vacacaí-mirim e do Baixo Jacuí.

De acordo com Köppen (1936) o clima característico do município é classificado no tipo Cfa sendo um clima temperado chuvoso e moderadamente quente, em que o mês mais frio tem uma média acima de 0 °C, conta também com um mês onde a temperatura é registrada acima de 22 °C e ao menos quatro meses com média acima de 10 °C. Esse clima não apresenta diferença significativa no nível de precipitação ao longo do ano, ou seja, não há estação seca por longos períodos,



completando a classificação do clima municipal em subtropical úmido. Dessa forma, a temperatura média anual foi registrada em torno de  $16,8^{\circ}\text{C}$ , com média máxima anual de  $22,4^{\circ}\text{C}$  e média mínima anual de  $11,9^{\circ}\text{C}$ . A pluviosidade anual média no município é de 1727,4 mm, com destaque para o mês de abril que registra 177,6 mm, definido como o mês mais chuvoso e agosto registrou cerca de 104,3 mm, indicado dessa forma como o menos chuvoso (EMBRAPA, 2012).

A vegetação segundo o IBGE (2004), tem como predominância a formação Savana Gramíneo-lenhosa formada por campos finos e campos místicos. Os morros são cobertos por plantas características da região, endêmicas e podendo citar cactáceas e petúnias (BRASIL, 2004).

Para esse trabalho foi escolhida uma área em que a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) descarta o lodo proveniente da estação de tratamento de água que chega por gravidade por meio de uma tubulação independente. Essa área escolhida fica localizada na região oeste do município de Caçapava do Sul - RS, como é mostrado nas Figuras 5 e 6 que demonstram o mapa e a localização da área de estudo, respectivamente.

Ainda na Figura 7 é apresentado o leito de secagem da Estação de Tratamento de Água de Caçapava do Sul.

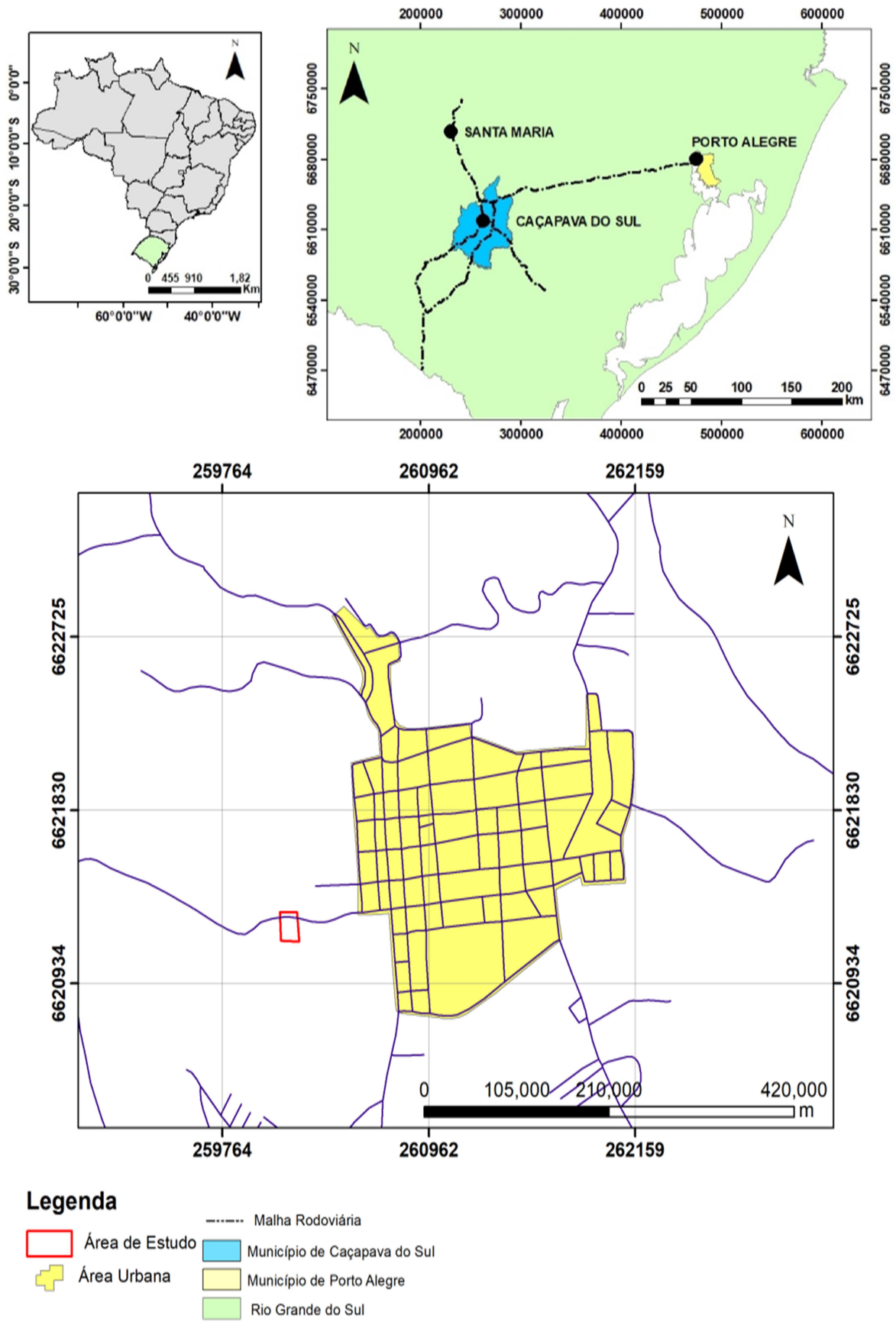
Figura 5: Localização da área de estudo.



Fonte: Autor, 2019.



Figura 6: Mapa da área de estudo.



Fonte: Autor, 2019

Figura 7: Leito de Secagem do lodo em Caçapava do Sul, RS.



Fonte: Autor, 2019.

## 5.2 Coleta das amostras de Lodo da ETA

Para avaliar a lixiviação que ocorre, foi feita uma simulação em laboratório conforme as condições encontradas no meio, para ser obtida uma escala reduzida, através do uso de colunas de lixiviação. As colunas foram construídas por meio do uso de tubos de PVC com aproximadamente 10 cm de diâmetro e 50 cm de altura. Na base das colunas foram colocadas britas acompanhadas de manta geotêxtil bidim para que o material não escapasse e para que passasse somente o fluido para o galão anexado abaixo das colunas. Cada coluna foi preenchida com lodo dos pontos de coleta até uma altura de cerca de 30 cm.

A coleta foi realizada, no local em que o lodo proveniente da Estação de Tratamento de Água (ETA) está depositado, no dia 27 de agosto. As colunas foram levadas pré-montadas e preenchidas com o lodo in loco para que a estrutura da amostra continuasse preservada a partir da inserção dos tubos de pvc no resíduo.

A coleta das amostras de lodo foi feita em 2 (dois) tanques diferentes dentro da área total do leito de secagem conforme as Figuras 8, 9 e 10. Por se tratar de uma triplicata de cada amostra com o objetivo de se obter melhores resultados,



foram coletadas um total de 6 colunas de lixiviação provenientes dos dois pontos de análise. Foi coletada também uma coluna com solo antes do leito sem a presença do lodo, para que essa amostra servisse como um indicador controle.

Figura 8: Pontos de coleta na área dos leitos de secagem.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 9 - Fixação dos tubos no leito de secagem para retirada das amostras.



Fonte: Autor, 2019.



Figura 10 - Visão superior dos tubos fixados no lodo.



Fonte: Autor, 2019.

### 5.3 Preparação do ensaio em coluna de lixiviação

As colunas com lodo foram mantidas no laboratório de solos da Unipampa, campus Caçapava do Sul. A água foi adicionada por meio de garrafas colocadas na parte superior, para que pudesse ser feito um controle de vazão sobre esse lodo e a lixiviação ocorresse de maneira semelhante à condição natural.

A água passou por um processo de destilação visando evitar a contaminação das amostras, sendo adicionada nas amostras uma semana antes das análises com o objetivo de que toda a água percole ao longo das amostras.

O líquido lixiviado foi coletado e armazenado em galões de 5 L colocados na parte inferior das colunas. Feito isso, o fluido foi levado para análises dos parâmetros físicos e químicos.

A coleta do lixiviado foi executada semanalmente ao longo de 30 (trinta) dias, assim como as análises da água. Assim como foi feita a adição da água destilada no mesmo período de forma semanal, conforme Figura 11.

Figura 11: Colunas de lixiviação.



Fonte: Autor, 2019.

#### 5.4 Análise dos parâmetros físicos e químicos

As análises de água foram realizadas no laboratório de química da UNIPAMPA uma vez por semana em sequência a cada coleta do líquido lixiviado.

Após a obtenção dos resultados das análises, houve a comparação com a norma NBR 10.004/04 para o lodo. No caso da qualidade da água as análises foram comparadas com os valores padrões das resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/05 e 420/2009 para qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. Os parâmetros analisados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros para análise de água.

| Parâmetros analisados | Unidades     | Método  | Referência    |
|-----------------------|--------------|---------|---------------|
| PH                    | Adimensional | Phmetro | EMBRAPA, 2011 |

|  |              |                        |               |
|--|--------------|------------------------|---------------|
| Temperatura                            | °C           | Termômetro             | FUNASA, 2013  |
| Condutividade                          | µS/cm        | Condutivímetro         | EMBRAPA, 2011 |
| Oxigênio Dissolvido - DBO <sub>5</sub> | mg/L         | Winkler                | APHA, 1998    |
| Oxigênio Consumido                     | mg/L         | Winkler                | CORSAN, 2017  |
| Sólidos Totais                         | mg/L         | Gravimétrico           | GARCEZ, 2004  |
| Cor Aparente                           | Adimensional | Comparação Visual      | FUNASA, 2013  |
| Turbidez                               | NTU          | Nefelométrico          | FUNASA, 2013  |
| Alumínio                               | mg/L         | Qualitativo / UV - VIS | FUNASA, 2013  |
| Ferro                                  | mg/L         | Qualitativo / UV-VIS   | GARCEZ, 2004  |
| Dureza                                 | mg/L         | Titulométrico          | EMBRAPA, 2011 |
| Alcalinidade                           | mg/L         | Titulométrico          | EMBRAPA, 2011 |

Fonte: Autor, 2019.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 se refere aos valores padrões utilizados como comparativos para determinação da qualidade da água, se esta lixiviando ou não os componentes presentes no lodo.

Tabela 2 - Valores de referência estabelecidos por norma de qualidade de água sup. e subterrânea.

| Parâmetros                             | Unidade      | Valores de referência | Norma           |
|--|--------------|-----------------------|-----------------|
| PH                                     | Adimensional | 6,0 a 9,0             | CONAMA 357/2005 |
| Temperatura                            | °C           | 25                    | CONAMA 357/2005 |
| Condutividade                          | µS/cm        | ≤ 100                 | CONAMA 357/2005 |
| Oxigênio Dissolvido - DBO <sub>5</sub> | mg/L         | ≥ 5,0                 | CONAMA 357/2005 |
| Oxigênio Consumido                     | mg/L         | ≤ 8,0                 | CORSAN, 2017    |

|                |              |              |  |
|----------------|--------------|--------------|--|
| Sólidos Totais | mg/L         | ≤ 500        | CONAMA 357/2005                        |
| Cor Aparente   | Adimensional | Incolor      | CONAMA 357/2005                        |
| Turbidez       | NTU          | ≤ 100        | CONAMA 357/2005                        |
| Alumínio       | mg/L         | ≤ 3,5 / 0,1  | CONAMA 357/2005*                       |
| Ferro          | mg/L         | ≤ 2,45 / 0,3 | CONAMA 420/2009*                       |
| Dureza         | mg/L         | 500          | Min. Da saúde -<br>Portaria 2.914/2011 |
| Alcalinidade   | mg/L         | -            | -                                      |

\* Legislação usada para comparação dos resultados, sendo os primeiros valores e os segundos respectivos com as normas indicadas nas linhas.

Fonte: Autor, 2019.

### 6.1 Características do lodo da ETA de Caçapava do Sul

De acordo com Santos (2016) o lodo depositado no leito de secagem da ETA do município possui as características físicas como teor de umidade e matéria orgânica conforme as tabelas 3.

Tabela 3 - Resultados do teor de umidade, matéria orgânica e pH .

| Amostra                            | Teor de umidade (%) | *DP  | M.O. (%) | **DP | pH   |
|------------------------------------|---------------------|------|----------|------|------|
| <b>Lodo da saída do decantador</b> | 83,24               | 1,28 | 51,61    | 6,52 | 6,78 |

\*DP = desvio padrão do teor de umidade;

\*\*DP = desvio padrão da matéria orgânica.

Fonte: Santos, 2016.

Já a tabela 4 é referente às características químicas do lodo depositado no leito de secagem com destaque para a presença de alumínio e ferro.

Tabela 4 - Análise química por fluorescência de Raios X.

| Elementos                          | Lodo (ppm) | Porcentagem (%) |
|------------------------------------|------------|-----------------|
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 165000,00  | 16,50           |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 178000,00  | 17,80           |

|                                    |           |        |
|------------------------------------|-----------|--------|
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 3390,00   | 0,3399 |
| <b>S</b>                           | 4340,00   | 0,4340 |
| <b>Cl</b>                          | 1480,00   | 0,1480 |
| <b>K<sub>2</sub>O</b>              | 7250,00   | 0,7250 |
| <b>CaO</b>                         | 4430,00   | 0,4430 |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | 6020,00   | 0,6020 |
| <b>MnO</b>                         | 3870,00   | 0,3870 |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 111000,00 | 11,10  |
| <b>Rb</b>                          | 235,00    | 0,0235 |
| <b>Zr</b>                          | 314,00    | 0,0314 |
| <b>Rh</b>                          | 370,00    | 0,0370 |
| <b>Ce</b>                          | 1340,00   | 0,1340 |
| <b>Cd</b>                          | 2390,00   | 0,2390 |
| <b>Pd</b>                          | 575,00    | 0,0575 |
| <b>As</b>                          | 40,00     | 0,0004 |
| <b>Cr</b>                          | 296,00    | 0,0296 |

Fonte: Santos, 2016.

## 6.2 Características do lixiviado

A partir das análises feitas segundo os parâmetros estabelecidos foi possível obter os resultados apresentados nas tabelas abaixo que representam os valores cada ensaio realizado, respectivamente.

A tabela 5 é referente aos resultados médios obtidos para o ponto 1, mostrando a evolução de cada ponto ao longo das semanas de análise.

Tabela 5 - Médias dos resultados das três colunas para o ponto 1.

| <b>Parâmetros</b> | <b>Unidade</b> | <b>Semana</b> | <b>Semana</b> | <b>Semana</b> | <b>Semana</b> |
|-------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                   |                | <b>1</b>      | <b>2</b>      | <b>3</b>      | <b>4</b>      |
| PH                | Adimensional   | 6,93          | 8,49          | 6,26          | 6,5           |
| Temperatura       | °C             | 19,0          | 21,1          | 21,0          | 17,6          |
| Condutividade     | µS/cm          | 186,53        | 178,80        | 174,53        | 191,47        |



|                     |              |                              |         |         |         |
|---------------------|--------------|------------------------------|---------|---------|---------|
| Oxigênio dissolvido | mg/L         | 8,68                         | 11,0    | 3,47    | 1,74    |
| - DBO <sub>5</sub>  |              |                              |         |         |         |
| Oxigênio Consumido  | mg/L         | 0,3                          | 0,4     | 0,9     | 0,6     |
| Sólidos Totais      | mg/L         | 258,0                        | 152,2   | 240,0   | 195,0   |
| Cor Aparente        | Adimensional | Incolor                      | Incolor | Incolor | Incolor |
| Turbidez            | NTU          | 0,750                        | 0,508   | 0,856   | 2,01    |
| Alumínio            | mg/L         | Menor que 3,5* e 0,1 mg/L**  |         |         |         |
| Ferro               | mg/L         | Menor que 2,45* e 0,3 mg/L** |         |         |         |
| Dureza              | mg/L         | 18,0                         | 18,5    | 10,67   | 11,0    |
| Alcalinidade        | mg/L         | 16,0                         | 17,0    | 16,0    | 14,0    |

\* Para valores de acordo com a classificação da resolução CONAMA 357/2005.

\*\* Para valores de acordo com a classificação da resolução CONAMA 420/2009.

Fonte: Autor, 2019.

A tabela 6 apresenta os valores médios obtidos para o segundo ponto de coleta e as características do lixiviado em cada semana de análise.

Tabela 6 - Médias dos resultados das três colunas para o ponto 2.

| Parâmetros                             | Unidade      | Semana  | Semana  | Semana  | Semana  |
|--|--------------|---------|---------|---------|---------|
|  |              | 1       | 2       | 3       | 4       |
| PH                                     | Adimensional | 6,99    | 7,18    | 6,37    | 6,84    |
| Temperatura                            | °C           | 19,00   | 21,10   | 21,00   | 17,50   |
| Condutividade                          | µS/cm        | 168,46  | 176,30  | 180,10  | 200,36  |
| Oxigênio Dissolvido - DBO <sub>5</sub> | mg/L         | 11,0    | 13,31   | 4,05    | 1,73    |
| Oxigênio Consumido                     | mg/L         | 0,3     | 0,3     | 0,5     | 0,3     |
| Sólidos Totais                         | mg/L         | 220,00  | 913,33  | 533,33  | 623,3   |
| Cor Aparente                           | Adimensional | Incolor | Incolor | Incolor | Incolor |

|              |      |                              |       |       |      |
|--------------|------|------------------------------|-------|-------|------|
| Turbidez     | NTU  | 0,96                         | 0,756 | 0,594 | 1,85 |
| Alumínio     | mg/L | Menor que 3,5* e 0,1 mg/L**  |       |       |      |
| Ferro        | mg/L | Menor que 2,45* e 0,3 mg/L** |       |       |      |
| Dureza       | mg/L | 16,0                         | 16,0  | 9,5   | 18,5 |
| Alcalinidade | mg/L | 21,0                         | 20,0  | 20,0  | 18,0 |

\* Para valores de acordo com a classificação da resolução CONAMA 357/2005.

\*\* Para valores de acordo com a classificação da resolução CONAMA 420/2009.

Fonte: Autor, 2019.

Já a tabela 7 se refere ao solo controle, coletado acima dos pontos de análise para conhecimento se existe interferência nos pontos ou não.

Tabela 7 - Médias dos resultados das três colunas para o solo controle.

| Parâmetros                             | Unidade      | Dia 1                        | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 |
|--|--------------|------------------------------|-------|-------|-------|
| PH                                     | Adimensional | 7,05                         | 8,30  | 6,39  | 7,95  |
| Temperatura                            | °C           | 19,0                         | 21,1  | 21,0  | 17,5  |
| Condutividade                          | µS/cm        | 59,1                         | 97,8  | 107,5 | 118,6 |
| Oxigênio Dissolvido - DBO <sub>5</sub> | mg/L         | 7,53                         | 6,13  | 5,79  | 5,19  |
| Oxigênio Consumido                     | mg/L         | 0,2                          | 0,5   | 0,9   | 0,8   |
| Sólidos Totais                         | mg/L         | 137,0                        | 450,0 | 134,0 | 90,0  |
| Cor Aparente                           | Adimensional | Opaco                        | Turvo | Turvo | Turvo |
| Turbidez                               | NTU          | 18,5                         | 8,56  | 16,1  | 12,9  |
| Alumínio                               | mg/L         | Menor que 3,5* e 0,1 mg/L**  |       |       |       |
| Ferro                                  | mg/L         | Menor que 2,45* e 0,3 mg/L** |       |       |       |
| Dureza                                 | mg/L         | 6,0                          | 9,5   | 8,5   | 21,0  |
| Alcalinidade                           | mg/L         | 10,0                         | 8,0   | 9,2   | 8,3   |

\* Para valores de acordo com a classificação da resolução CONAMA 357/2005.

\*\* Para valores de acordo com a classificação da resolução CONAMA 420/2009.

Fonte: Autor, 2019.

O solo controle foi utilizado como base de comparação do lodo, para que pudesse ser estudada a influência que ele poderia acarretar no resíduo depositado no leito de secagem da ETA, se uma possível contaminação iria ocorrer antes da chegada do lodo ao local de análise.

Como é demonstrado através da tabela 6 os resultados obtidos nas análises apresentam parâmetros dentro das normas vigentes para águas subterrâneas e superficiais. Sem a presença de metais em excesso no meio ou outro nível analisado acima do limite máximo permitido.

### **6.1 Quantificação dos metais na água**

A presença de metais na água pode provocar diversos problemas de saúde nos animais e a população assim como para a flora, por prejudicar o crescimento daquele meio ou na pior das hipóteses acarretar na morte ou infertilidade do solo dependente daquele curso hídrico.

Ao analisar os resultados obtidos nas tabelas anteriores juntamente com os limites máximos permitidos pelas normas CONAMA 357/05, 420/09 e 10.004/04 para cada parâmetro, foi possível perceber que não ocorre contaminação por metais no solo e conseqüentemente do corpo receptor da água oriunda do sistema de secagem do lodo.

Os resultados mostram que o lixiviado possui baixos valores de metais, em que repetidas vezes foram feitas diluições e tentativas de curvas para quantificação de alumínio e ferro. Mas, em ambos os casos não foram detectados valores no espectrofotômetro de UV/visível.

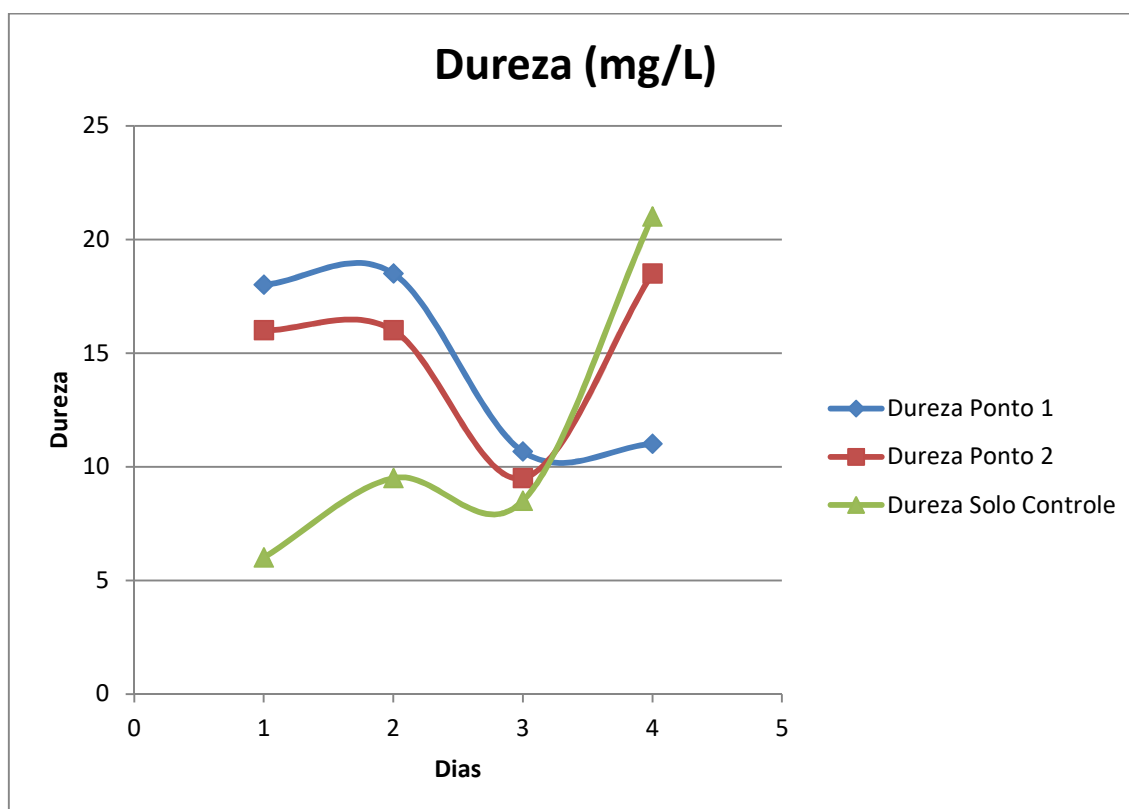
De acordo com estudos realizados por Silveira e Bamberg (2013 e 2011) é possível comprovar que o lodo retém a maior parte dos elementos como os metais em sua estrutura, onde o fluido não os carrega para as amostras que seriam as águas subterrâneas e conseqüentemente o corpo hídrico. Ainda segundo Silveira (2013) a qualidade da água se mantém dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 10.004/04, apresentando resultados semelhantes ao obtido no presente projeto. E Bamberg (2011) apresenta ainda que para liberação de elementos na água é necessário o estudo de fatores como estrutura do solo em que os metais estão disponíveis, refletindo na reação à ocorrência de percolação.

Outra análise voltada para a concentração de metais na água pode ser demonstrado nas tabelas 8, 9 e 10 (Disponíveis em anexo) elaboradas a partir do

resultado de análise por fluorescência de raios x, comprovando os baixos valores de alumínio e ferro (em que o ferro foi considerado nulo), mas evidenciando a lixiviação dos metais.

Na figura 12 é possível perceber a evolução dos valores médios de dureza (demonstrando uma estimativa dos resultados de cálcio e magnésio juntos) em cada ponto de análise, o quanto os componentes da estrutura do lodo foram carregados na passagem da água no meio.

Figura 12 - Evolução da dureza em cada ponto.



Fonte: Autor, 2019.

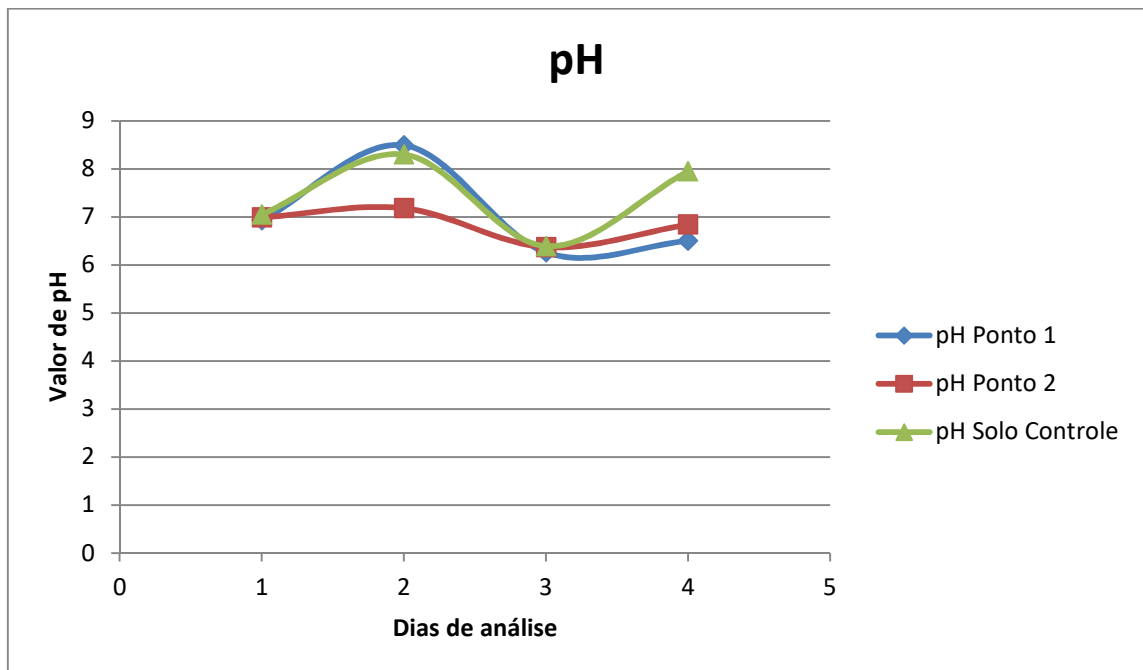
Dessa forma, a partir da comparação dos resultados obtidos nos pontos de estudo e a tabela 2 que contém as características de composição do lodo, pode se dizer que os elementos presentes no lodo oriundos do tratamento de água ficam retidos de forma que não são levados pela água proveniente da precipitação mesmo que essa esteja em grande quantidade.

## 6.2 Quantificação dos demais parâmetros

Outros parâmetros físico-químicos estudados são de grande relevância para sinalização de características importantes tanto para solo quanto para água, pois a partir de dados como o nível de pH, DQO, DBO e turbidez é que se concluirá se a água precisa ou não de tratamento, se esta contaminada entre outros fatores.

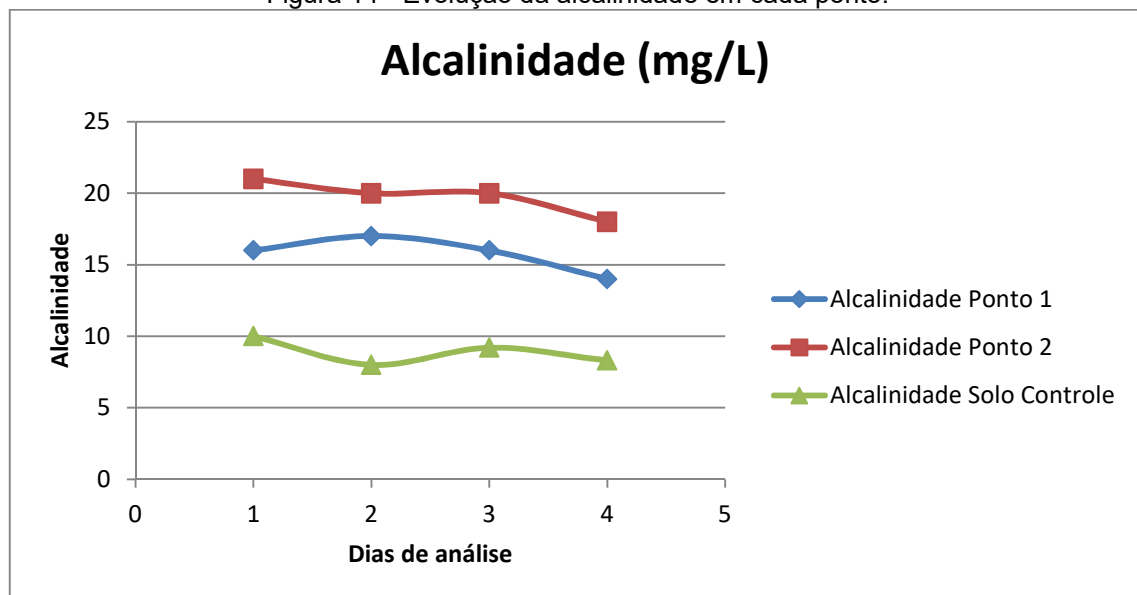
As figuras 13 e 14, são referentes a evolução do pH e alcalinidade ao longo das semanas de análise.

Figura 13 - Evolução do pH em cada ponto.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 14 - Evolução da alcalinidade em cada ponto.

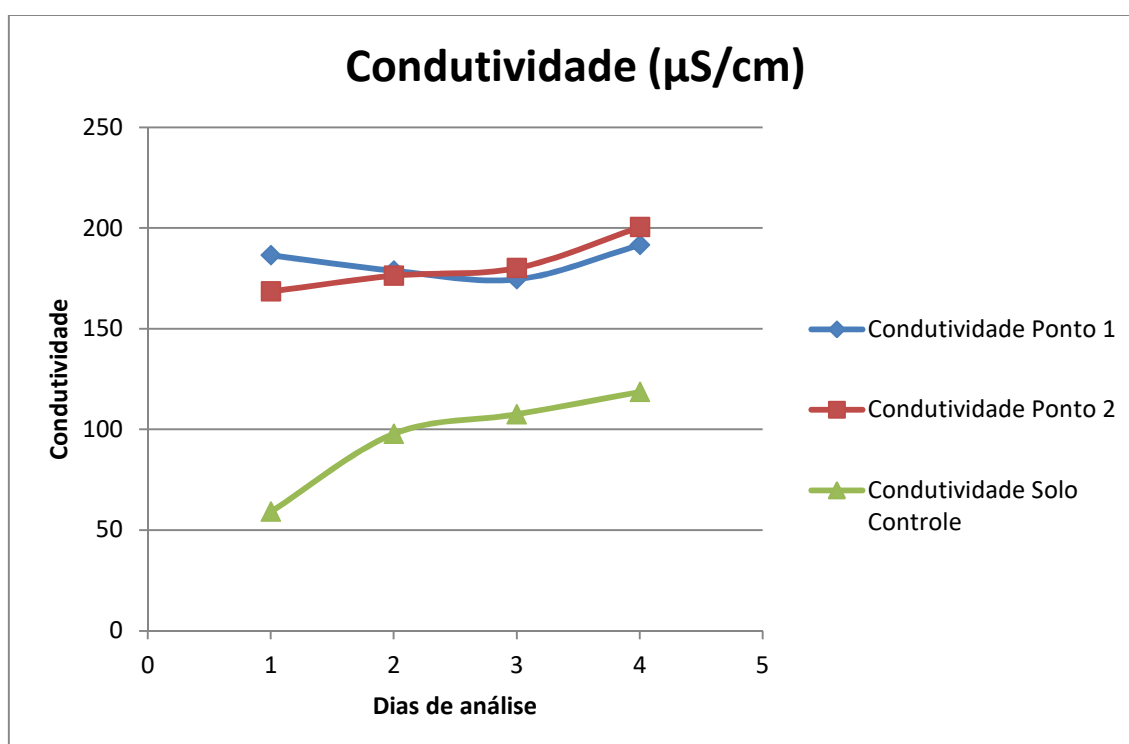


Fonte: Autor, 2019.

Esses gráficos demonstram uma queda nos valores de alcalinidade a partir das análises, uma vez que esses parâmetros tem relação porque uma solução de baixa alcalinidade terá variação no valor de pH com base em um ácido fraco, mas uma solução de alta alcalinidade não terá grande diferença no pH, porque seus íons livres neutralizarão esse ácido.

A figura 15 é referente ao gráfico com a evolução da condutividade nos dias de análise.

Figura 15 - Evolução da condutividade em cada ponto.

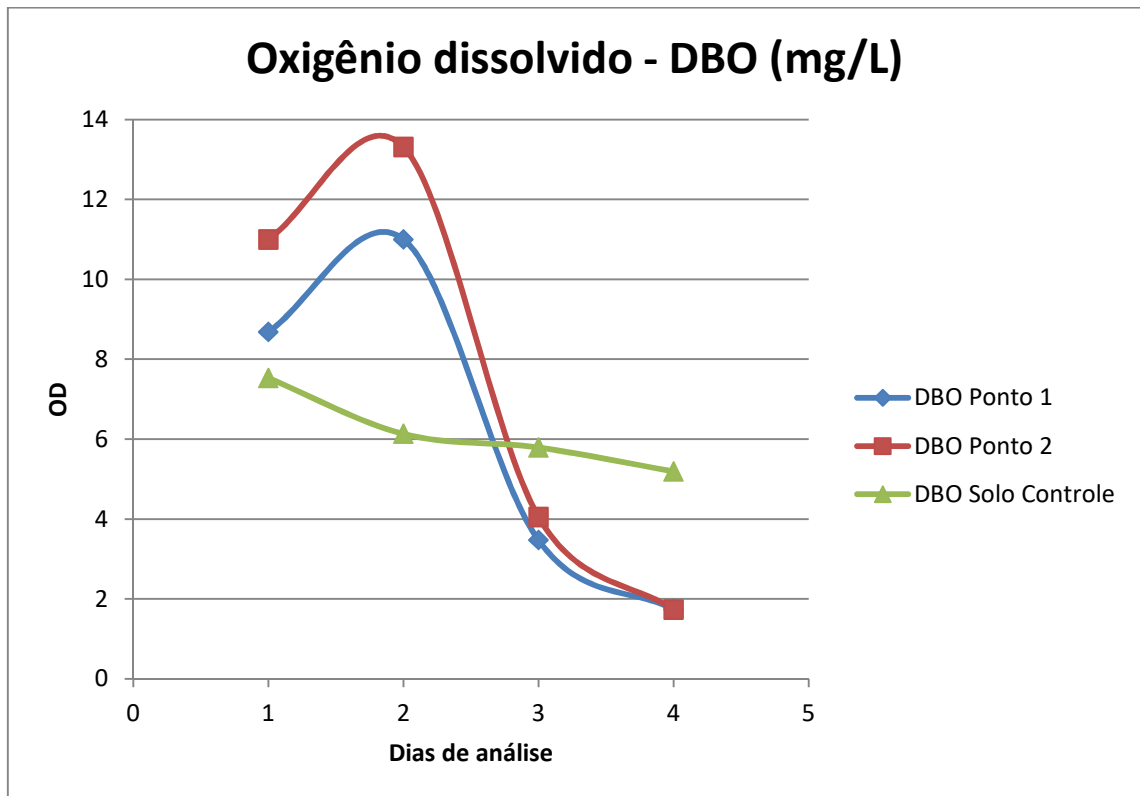


Fonte: Autor, 2019.

A condutividade foi um fator que apresentou pouca variação em seu valor demonstrando a baixa presença de sais dissolvidos, uma vez que quanto menor o parâmetro apresentado, melhor a qualidade da água.

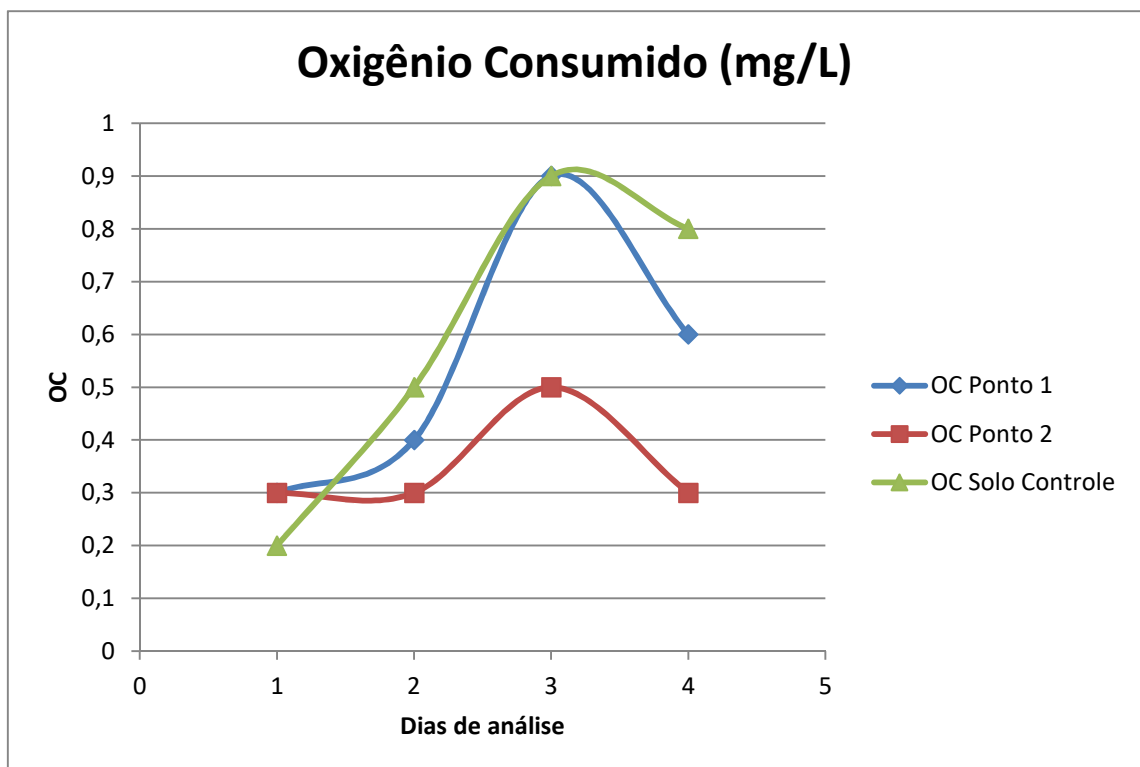
As figuras 16 e 17 representam a evolução dos parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que é a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica e Oxigênio consumido (parâmetro prévio para determinação de análise para demanda química de oxigênio, uma vez que se o valor encontrado estiver acima de  $0,8 \text{ mg.L}^{-1}$  se faz necessária a avaliação da água por DQO).

Figura 16 - Evolução da DBO em cada ponto



Fonte: Autor, 2019.

Figura 17 - Evolução do oxigênio consumido em cada ponto.



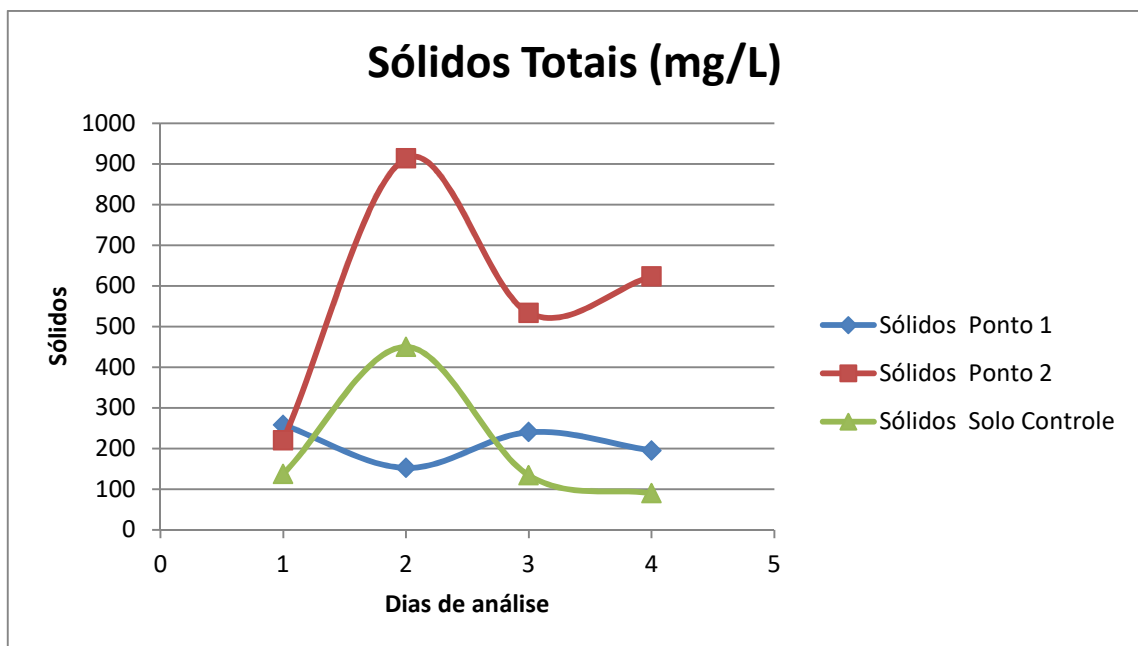
Fonte: Autor, 2019.

Para o caso das amostras estudadas é possível perceber que os parâmetros estão dentro do limite máximo estabelecido pelas normas para qualidade das águas, o que não ocasiona danos de contaminação no meio ambiente onde o fluido está sendo lançado.

### 6.3 Quantificação de sólidos totais

Quando se trata de sólidos totais é possível perceber a diferença entre os pontos 1 e 2, em que o segundo está acima do limite estabelecido. Uma das possibilidades dessa diferença significativa pode ser demonstrada na grande carga de matéria orgânica presente no lodo e como o ponto 2 é o primeiro a receber o rejeito, tem se por consequência a maior parte de matéria orgânica concentrada ali, enquanto o outro ponto recebe uma porção já diluída, de forma que não eleva os sólidos totais da amostra. Essa diferença é demonstrada a partir da Figura 13.

Figura 18: Evolução dos sólidos totais em cada ponto.

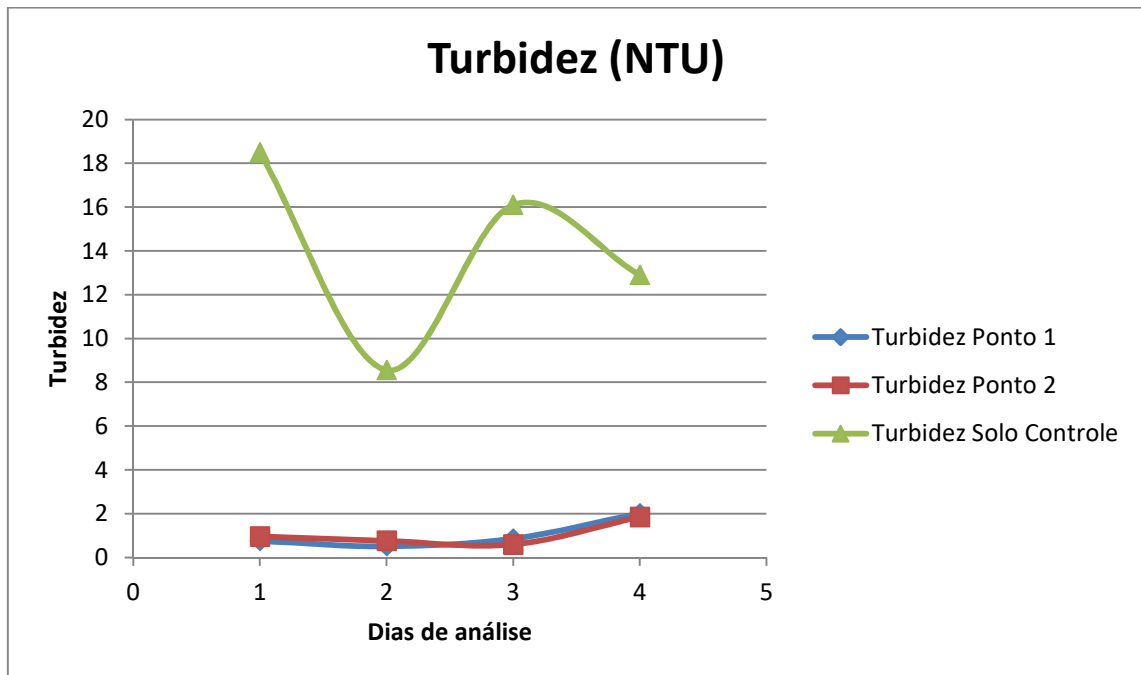


Fonte: Autor, 2019.

Ainda que os resultados dos sólidos totais estejam acima do permitido, esses valores não chegam a influenciar de maneira negativa a turbidez da amostra que está ligada indiretamente à esse fator, pois nos pontos 1 e 2 ela se mantém abaixo do limite, como demonstrado na Figura 14.



Figura 19 - Evolução da turbidez em cada ponto.



Fonte: Autor, 2019.

Dessa forma, pode se concluir que os demais parâmetros estudados estão dentro da norma tanto para águas superficiais quanto subterrâneas sem causar impactos negativos mesmo que sejam drenadas para o meio ambiente sem tratamento após o leito de secagem.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O lodo oriundo da estação de tratamento de água de Caçapava do Sul possui características em sua composição contendo alumínio, ferro e em sua maior parte com elevado teor de matéria orgânica.

Ao estudar a água lixiviada das amostras de lodo foi possível notar que a maior parte dos elementos continua retida na composição do resíduo sem que seja carregado junto do lixiviado e por consequência o arraste para o solo ou corpo hídrico por meio da água subterrânea (que se dá por infiltração e percolação da água superficial).

Porém, devido ao curto tempo de análise não se pode ter uma conclusão completa da qualidade com que a água percolada a partir do lodo terá e seus consequentes impactos. Considerando a degradação do resíduo conforme o tempo em que está depositado no leito de secagem, assim como o efeito da radiação e outros períodos do ano com muita chuva ou seca. E qual influência do possível

aumento de microrganismos no meio por se tratar de um material com alto grau de matéria orgânica e demais fatores. Dessa forma, uma análise mais completa tanto no número de amostras quanto no período que é feito o estudo do lodo se faz necessária.

A partir do estudo realizado, pode-se concluir que por mais que o lodo tenha uma composição de metais na sua estrutura com potenciais causadores de danos ao meio físico e biótico, esses elementos não são conduzidos em grandes quantidades pela água percolada, mas em mínimas quantidades que diluídas se encaixam nos padrões aceitáveis.

Os sólidos totais em excesso podem ser causados pela grande quantidade de matéria orgânica presente no lodo, porém essa água drenada do solo a partir do leito de secagem não afeta negativamente o meio ambiente podendo continuar sendo depositado no local de armazenagem atual.

## 8 ANEXOS

Tabela 8 - Análise química por fluorescência de Raios X para o solo controle.

| <b>Elemento</b>                    | <b>Lodo<br/>(ppm)</b> | <b>Porcentagem<br/>(%)</b> |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>MgO</b>                         | 81300,00              | 8,13                       |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 8500,00               | 0,85                       |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 6990,00               | 0,70                       |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>S</b>                           | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Cl</b>                          | 359,00                | 0,04                       |
| <b>K<sub>2</sub>O</b>              | 808,00                | 0,08                       |
| <b>CaO</b>                         | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Cr</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>MnO</b>                         | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 98,00                 | 0,01                       |
| <b>Co</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Ni</b>                          | 1,00                  | 0,00                       |
| <b>Cu</b>                          | 38,00                 | 0,00                       |
| <b>Zn</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>As</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Cd</b>                          | 6720,00               | 0,67                       |
| <b>Pt</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Au</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Rh</b>                          | 13800,00              | 1,38                       |
| <b>Hg</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>U</b>                           | 0,00                  | 0,00                       |

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 9 - Análise química por fluorescência de Raios X para o ponto 1.

| <b>Elemento</b>                    | <b>Lodo<br/>(ppm)</b> | <b>Porcentagem<br/>(%)</b> |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>MgO</b>                         | 80600,00              | 8,06                       |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 5200,00               | 0,52                       |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 5120,00               | 0,51                       |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>S</b>                           | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Cl</b>                          | 523,00                | 0,05                       |
| <b>K<sub>2</sub>O</b>              | 908,00                | 0,09                       |
| <b>CaO</b>                         | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Cr</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>MnO</b>                         | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Co</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Ni</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Cu</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Zn</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>As</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Cd</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Pt</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Au</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Rh</b>                          | 15500,00              | 1,55                       |
| <b>Hg</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>U</b>                           | 0,00                  | 0,00                       |

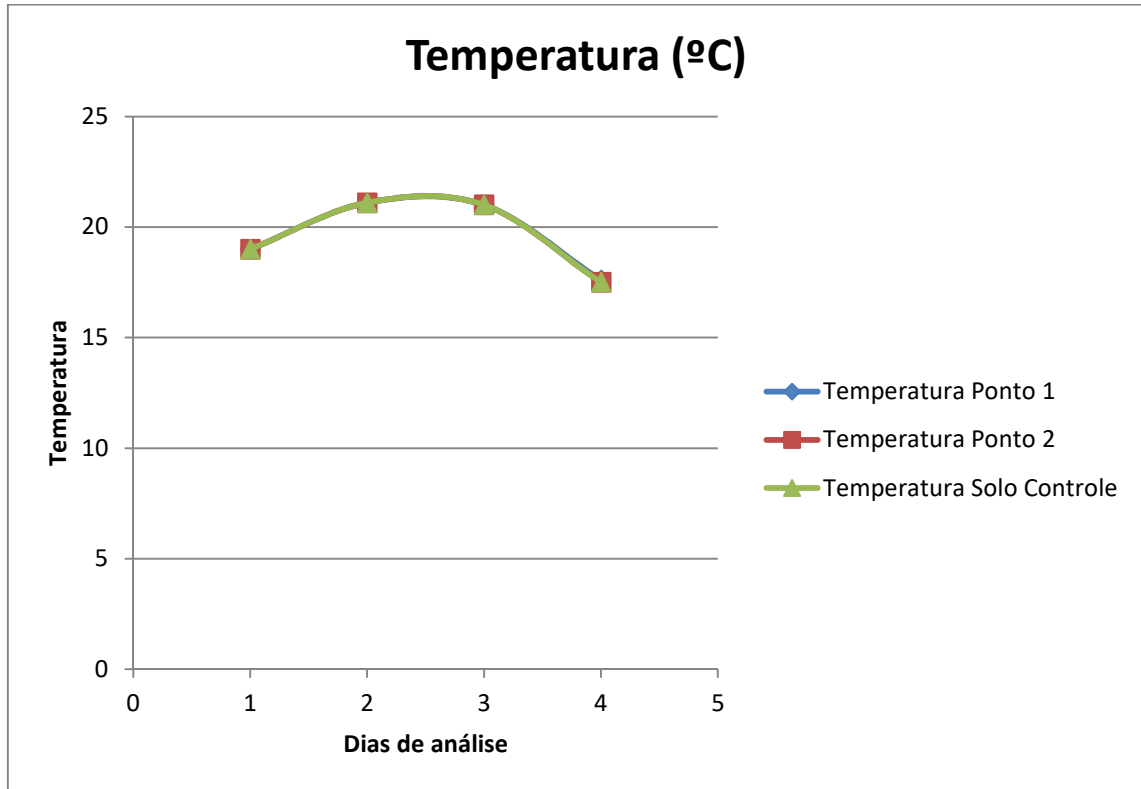
Fonte: Autor, 2019.

Tabela 10 - Análise química por fluorescência de Raios X para o ponto 2.

| <b>Elemento</b>                    | <b>Lodo<br/>(ppm)</b> | <b>Porcentagem<br/>(%)</b> |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>MgO</b>                         | 96600,00              | 9,66                       |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 6040,00               | 0,60                       |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 5510,00               | 0,55                       |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>S</b>                           | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Cl</b>                          | 564,00                | 0,06                       |
| <b>K<sub>2</sub>O</b>              | 879,00                | 0,09                       |
| <b>CaO</b>                         | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Cr</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>MnO</b>                         | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Co</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Ni</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Cu</b>                          | 41,00                 | 0,00                       |
| <b>Zn</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>As</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Cd</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Pt</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Au</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>Rh</b>                          | 16000,00              | 1,60                       |
| <b>Hg</b>                          | 0,00                  | 0,00                       |
| <b>U</b>                           | 0,00                  | 0,00                       |

Fonte: Autor, 2019.

Figura 20 - Evolução da temperatura em cada ponto.



Fonte: Autor, 2019.

## 9 REFERÊNCIAS

ABNT, NBR. 10004: 2004. **Resíduos sólidos: Classificação**. Associação Brasileira de Normas, 2004.

ACHON, Cali Laguna; CORDEIRO, João Sérgio. **Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA-Lei 12.305/2010**. XIX Exposição De Experiências Municipais Em Saneamento, 2015.

BAMBERG, A. L. et al. **Uso de colunas de lixiviação para a determinação da dinâmica de liberação de nutrientes a partir de rochas moídas**. In: Embrapa Clima Temperado-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: WORKSHOP

CASTRO, S. V. **Efeitos de metais pesados presentes na água sobre a estrutura das comunidades bentônicas do Alto Rio das Velhas-MG**. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. Belo Horizonte, 2006.

CONAMA, Resolução. **357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, 2005, 357.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA (BRASIL). **Resolução nº 420/2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial [da] União,, 2009, 249.

CONTE, Ana Maria et al. **COLONAS DE LIXIVIAÇÃO COM SOLOS DE TEXTURAS ARENOSA E ARGILOSA E APLICAÇÃO DE BÍOSSÓLIDOS**. Scientia Agraria Paranaensis – Sci. Agrar. Parana. 2016.

DA ROCHA PIETROBON, Carmen Lúcia et al. **Lixiviação de contaminantes de compostos de lodo-cimento**. *Acta Scientiarum*. Technology, v. 26, n. 1, p. 45-52, 2004.

DE GODOY, Lucia Camilo. **A logística na destinação do lodo de esgoto**. *Revista Científica on-line-Tecnologia, Gestão e Humanismo*, v. 2, n. 1, 2013.

DE PAIVA, Gabriela Santos; MOREIRA, Viviane Teles Goulart; SOARES, Alexandra Fátima Saraiva. **Lodo de estação de tratamento de água (LETA): resíduo ou insumo?**. *Revista Petra*, v. 3, n. 1, 2017.

DOS REIS, Edson Luís Tocaia et al. **Identificação da influência do descarte de lodo de estações de tratamento de água.** Química Nova, v. 30, n. 4, p. 865, 2007.

FERREIRA, Marco Antônio. **Tratamento convencional de águas para abastecimento humano: uma abordagem teórica dos processos envolvidos e dos indicadores de referência.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL IBEAS. 2011.

FUNASA, FN d S. **Manual prático de análise de água.** 2006.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial.** São Paulo: Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, 105p, 2004.

GONÇALVES, Ricardo Franci et al. Desidratação de lodo de esgotos. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**, v. 57, 2001.

GUERRA, R. C.; ANGELIS, D. F. **Classificação e biodegradação de lodo de estações de tratamento de água para descarte em aterro sanitário.** Arquivos do Instituto Biológico, v. 72, n. 1, p. 87-91, 2005.

HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano.** Editora UFMG, 2006.

**INSUMOS PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**, 2012, Pelotas. Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 1 CD-ROM., 2012.

LIMA, DP de et al. **Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil.** Acta Amazonica, v. 45, n. 4, p. 405-414, 2015.

METCALF; E. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** Editores: Tchobanoglous, G.; Burton, L. F.; Stensel, H. D. Metcalf e Eddy, 2003.

MORENO, José Alberto. Clima do Rio grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 11, p. 49-83, 1961.



NAGASHIMA, L. A. et al. **Caracterização do lodo gerado no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com coagulante à base de tanino**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 29, n. 1, p. 37-50, 2010.

PARRON, Lucilia Maria; MUNIZ, H. de F.; PEREIRA, Claudia Mara. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2011.

POHLMANN, Paulo Henrique Mazieiro et al. **Tratamento de Água para Abastecimento Humano: Contribuições da metodologia Seis Sigma**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 3, 2016.

PORTELLA, Kleber Franke et al. **Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna–Curitiba–PR**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental. 2003.

ROCHA, Daniel Fernando Santos. **Fauna aquática nos lagos do Jardim Botânico da Universidade do Porto**. 2017.

SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **Sistemas de tratamento de água**, 2006. Disponível em: <[http://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento\\_de\\_Agua.pdf](http://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf)>. Acesso em: 6 de Maio de 2019.

SANTOS, Fernanda Santosdos. **Estudo da incorporação do lodo de eta em argamassa**. 2016.

SECKLER, Sidney. **Tratamento de Água: Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento–Um Guia Prático para Alunos e Profissionais**. Elsevier Brasil, 2017.

SILVEIRA, Cristiane; KOGA, Daniele Satie; KURODA, Emília Kiyomi. **ESTUDO DA VIABILIDADE DE DISPOSIÇÃO FINAL DOS LODOS DE ETAS EM ATERROS SANITÁRIOS**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 11, 2013.

SMIDERLE, Juliana Jerônimo. **ESTUDO DE VIABILIDADE PARA DESTINAÇÃO FINAL DO LODO DA ETA LARANJAL/RJ**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

TAFAREL, Nathann Francisco. **Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

TARTARI, R. et al. **Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. Parte I: Caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense.** Cerâmica, v. 57, n. 343, p. 288-293, 2011.

TAVARES, SR de L.; DE OLIVEIRA, S. A. **Lixiviação de metais pesados em colunas de solo induzida por agente quelante.** Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E), 2017.

WREGE, Marcos Silveira et al. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012., 2012.