

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
ENGENHARIA QUÍMICA**

RAFAELA FERREIRA SOUZA

**COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO pH E OUTROS PARÂMETROS EM
DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS (DAM) MEDIANTE O USO DE Ca(OH)_2 E
COAGULANTE ORGÂNICO**

**Bagé
2022**

RAFAELA FERRIRA SOUZA

**COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO pH E OUTROS PARÂMETROS EM
DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS (DAM) MEDIANTE O USO DE Ca(OH)_2 E
COAGULANTE ORGÂNICO**

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

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Alejandra Liendo

Coorientador: Prof. Dr. Regis Sebben Paranhos

**Bagé
2022**

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) .

S719 Souza, Rafaela
COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO pH E OUTROS PARÂMETROS EM
DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS (DAM) MEDIANTE O USO DE Ca(OH)_2 E
COAGULANTE ORGÂNICO / Rafaela Souza.
81 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2022.
"Orientação: Maria Alejandra Liendo".

1. DAM. 2. Cal hidratada . 3. Coagulante orgânico. 4.
Neutralização/precipitação. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO
FEDERALMINISTÉRIO
DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

RAFAELA FERREIRA SOUZA

**COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO pH E OUTROS PARÂMETROS EM
DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS (DAM) MEDIANTE O USO DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$ E
COAGULANTE ORGÂNICO**

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

Trabalho de Conclusão de Curso II defendido e aprovado em: 24 de março de 2022.

Banca examinadora:

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Alejandra Liendo
UNIPAMPA

Coorientador: Prof. Dr. Regis Sebben Paranhos
UNIPAMPA

Prof. Dr. Flavio André Pavan
UNIPAMPA

Prof^a. Dr^a. Caroline Wagner
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **MARIA ALEJANDRA LIENDO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/03/2022, às 13:40, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais



aplicáveis.

Assinado eletronicamente por **FLAVIO ANDRE PAVAN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/03/2022, às 19:57, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CAROLINE WAGNER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/03/2022, às 11:10, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais

aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **REGIS SEBBEN PARANHOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/03/2022, às 11:15, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0762089** e o código CRC **3EEDEEC6**.

RESUMO

A drenagem ácida de minas (DAM) é considerada como um grave problema ambiental decorrente da mineração de carvão. Tal problema vem sendo objeto de estudo de diversas entidades ambientais. Os sistemas ativos de tratamento como a neutralização/precipitação estão sendo utilizados como alternativa para resolver esse problema. Desta forma o presente trabalho teve como objetivo o tratamento da DAM, em escala de bancada, onde foram utilizados os processos de neutralização/precipitação, assim foram feitas as correções do pH. Para isso, foram coletadas amostras da DAM, na cidade de Candiota no estado do Rio Grande do Sul, em uma mineradora da região, sendo tais amostras coletadas da mina a céu aberto. Foram avaliados aspectos físico-químicos como condutividade, sólidos totais dissolvidos, pH e turbidez. Os agentes empregados no processo foram a cal hidratada $Ca(OH)_2$, como agentes alcalinizantes, e como precipitante um coagulante orgânico. Para o parâmetro do pH usando a Cal hidratada, a melhor dosagem utilizada foi 0,9946 g, tal dosagem elevou o pH para 7,5 o que o faz ficar dentro da faixa de lançamento do efluente na natureza. O uso da melhor dosagem do coagulante orgânico mais a cal hidratada teve um valor de pH de 9,86. Para os sólidos totais dissolvidos, observou-se que o uso de cal hidratada e coagulante orgânico e o uso dos dois juntos, não obtiveram uma diferença significativa nos resultados. O parâmetro de condutividade teve uma diminuição de 2,57% com o uso de coagulante orgânico. O uso da melhor dosagem de cal hidratada mais coagulante, obteve um aumento no valor da condutividade, diferente do uso do coagulante mais a cal hidratada que o valor diminuiu. O valor de turbidez diminuiu como o uso das três dosagens da cal hidratada, sendo o melhor resultado obtido de 7,8 NTU. A dosagem de 0,2550 g do coagulante teve uma redução de 84,94% da condutividade, ficando com 3,4 NTU. O uso de cal hidratada mais coagulante orgânico e coagulante orgânico mais cal hidratada, obtiveram os mesmos resultados para condutividade sendo ele de 5,8 NTU.

Palavras-chave: DAM. Cal Hidratado. Coagulante Orgânico. Neutralização/precipitação.

RESUMEN

El Drenaje Ácido de Minas (DAM) se considera actualmente un grave problema medioambiental derivado de la minería del carbón. Este problema está siendo estudiado por varias entidades medioambientales. Los sistemas activos de tratamiento como la neutralización/precipitación se están utilizando como alternativa para resolver este problema. De esta manera el presente trabajo tuvo como objetivo el tratamiento de la DAM, en escala de banco laboratorio, donde se habían hecho los procesos de neutralización/precipitación, por lo que se habían hecho correcciones del pH. Para ello, se recogieron muestras de la DAM, en la ciudad de Candiota en el estado de Rio Grande do Sul, en una empresa minera de la región, siendo dichas muestras recogidas de la mina a cielo abierto. Se evaluaron aspectos fisicoquímicos como la conductividad, los sólidos totales disueltos, el pH y la turbidez. Los agentes empleados en el proceso fueron cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$, como agente alcalinizante, y un coagulante orgánico como precipitante. Para el parámetro del pH utilizando la cal hidratada, la mejor dosis utilizada fue de 0,9946 g, dicha dosis elevó el pH a 7,5 lo que hace que esté dentro del rango de liberación del efluente en la naturaleza. El uso de la mejor dosis del coagulante orgánico más la cal hidratada tuvo un valor de pH de 9,86. Para los sólidos disueltos totales, se observó que el uso de cal hidratada y coagulante orgánico y el uso de los dos juntos, no obtuvieron una diferencia significativa en los resultados. El parámetro de conductividad tuvo una disminución del 2,57% con el uso del coagulante orgánico. El uso de la mejor dosis de cal hidratada más coagulante, obtuvo un aumento en el valor de la conductividad, diferente del uso de coagulante más cal hidratada que el valor disminuye. Se observó que el valor de la turbidez disminuye con el uso de las tres dosis de cal hidratada, siendo el mejor resultado obtenido 7,8 NTU. La dosis de 0,2550 g del coagulante tuvo una reducción del 84,94% de la conductividad, quedando con 3,4 NTU. El uso de cal hidratada más coagulante orgánico y coagulante orgánico más cal hidratada, obtuvo los mismos resultados para la conductividad siendo ésta de 5,8 NTU.

Palabras clave: MAD. Cal hidratada. Coagulante orgánico.

Neutralización/precipitación.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Distribuição carbonífera no sul do Brasil..... | 16 |
| Figura 2 – Fatores que afetam a geração da DAM..... | 17 |
| Figura 3 – Águas com íons ferrosos (Fe^{2+})..... | 18 |
| Figura 4 – Águas com íons férricos (Fe^{3+})..... | 18 |
| Figura 5 – Ponto onde foram coletadas as amostras da DAM..... | 24 |
| Figura 6 – Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho..... | 26 |
| Figura 7 – Flocos formados após 7 minutos de decantação..... | 30 |
| Figura 8 – Flocos após 1 hora de decantação..... | 31 |
| Figura 9 – Formação dos flocos com melhor dosagem de cal hidratada mais coagulante..... | 32 |
| Figura 10 – Formação dos flocos com a melhor dosagem do coagulante seguido de cal hidratada..... | 32 |
| Figura 11 – DAM com coagulante..... | 33 |
| Figura 12 – Resultados de pH, após o tratamento com Cal Hidratada..... | 34 |
| Figura 13 – Resultados de turbidez, após o tratamento com Cal Hidratada..... | 35 |
| Figura 14 – Resultados de sólidos totais dissolvidos, após o tratamento com cal hidratada..... | 36 |
| Figura 15 – Resultados de condutividade, após o tratamento com cal hidratada..... | 37 |
| Figura 16 – Resultados de pH, após o tratamento com coagulante..... | 39 |
| Figura 17 – Resultados de turbidez, após o tratamento com coagulante..... | 40 |
| Figura 18 – Resultados de sólidos totais dissolvidos, após o tratamento com coagulante..... | 41 |
| Figura 19 – Resultados de condutividade, após o tratamento com coagulante..... | 42 |
| Figura 20 – Resultados de pH, após o tratamento com cal hidratada mais coagulante e vice-versa..... | 43 |
| Figura 21 – Resultados de turbidez, após o tratamento com cal hidratada mais coagulante e vice-versa..... | 44 |
| Figura 22 – Resultados de sólidos totais dissolvidos, após o tratamento com cal hidratada mais coagulante e vice-versa..... | 45 |
| Figura 23 – Resultados de condutividade, após o tratamento com cal hidratada mais coagulante e vice-versa..... | 46 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Aspectos e impactos ambientais..... | 14 |
| Tabela 2: Métodos de controle da drenagem ácida de minas..... | 20 |
| Tabela 3: Compostos químicos aplicados em DAM e suas eficiências..... | 21 |
| Tabela 4: Ensaio realizados..... | 28 |
| Tabela 5: Caracterização da amostra bruta da DAM..... | 29 |
| Tabela 6: Melhor dosagem de cal hidratada seguindo a CONAMA..... | 38 |
| Tabela 7: Melhor dosagem de coagulante orgânico seguindo a CONAMA.... | 43 |
| Tabela 8: Melhores resultados para cal hidratada seguida de coagulante e vice-versa orgânico seguindo o CONAMA..... | 47 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CE – Condutividade Elétrica

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DAM – Drenagem Ácida de Minas

D1 – Dosagem 1

D2 – Dosagem 2

D3 – Dosagem 3

MD – Melhor dosagem

pH – Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 14 |
| 2.1 Mineração e meio ambiente..... | 14 |
| 2.2 Mineração de Carvão no Brasil..... | 15 |
| 2.3 Drenagem ácida de minas..... | 16 |
| 2.3.1 Métodos de tratamento e controle de DAM..... | 19 |
| 2.3.2 Neutralização/ precipitação como tratamento da DAM..... | 20 |
| 2.4 Coagulante..... | 22 |
| 2.5 Parâmetros físico-químicos importantes na DAM..... | 22 |
| 2.5.1 Potencial hidrogeniônico (pH)..... | 22 |
| 2.5.2 Turbidez..... | 23 |
| 2.5.3 Outros parâmetros: sólidos totais dissolvidos e condutividade..... | 23 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 24 |
| 3.1 Local da Coleta..... | 24 |
| 3.2 Reagentes e Equipamentos..... | 25 |
| 3.3 Métodos..... | 25 |
| 3.3.1 Planejamento dos ensaios..... | 27 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 29 |
| 4.1 Floculação/Decantação para diferentes dosagens da cal hidratada..... | 29 |
| 4.2 Floculação/Decantação para diferentes dosagens de coagulante orgânico..... | 30 |
| 4.3 Floculação/Decantação a partir da adição de cal hidratada seguida de coagulante orgânico..... | 31 |
| 4.4 Floculação/Decantação a partir da adição de coagulante orgânico mais cal hidratada..... | 32 |
| 4.5 Amostra da DAM com o uso do coagulante antes da agitação..... | 33 |
| 4.6 DESEMPENHO DA CAL HIDRATADA COM RELAÇÃO OS PARÂMETROS ANALISADOS..... | 33 |
| 4.6.1 Potencial hidrogeniônico..... | 33 |
| 4.6.2 Turbidez..... | 34 |
| 4.6.3 Sólidos Totais Dissolvidos..... | 36 |
| 4.6.4 Condutividade..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 4.6.5 Melhor dosagens com uso da cal hidratada..... | 38 |
| 4.7 DESEMPENHO DO COAGULANTE ORGÂNICO COM RELAÇÃO AOS PARÂMETROS ANALISADOS..... | 38 |
| 4.7.1 Potencial hidrogeniônico..... | 38 |
| 4.7.2 Turbidez..... | 39 |
| 4.7.3 Sólidos Totais Dissolvidos..... | 40 |
| 4.7.4 Condutividade..... | 41 |
| 4.7.5 Melhor dosagens com uso da coagulante | 42 |
| 4.8 DESEMPENHO DA CAL HIDRATADA SEGUIDA DE COAGULANTE ORGÂNICO E VICE-VERSA..... | 43 |
| 4.8.1 Potencial hidrogeniônico..... | 43 |
| 4.8.2 Turbidez..... | 44 |
| 4.8.3 Sólidos Totais Dissolvidos..... | 45 |
| 4.8.4 Condutividade..... | 46 |
| 4.8.5 Melhor dosagens com uso de cal hidratada seguida de coagulante orgânico e vice-versa..... | 47 |
| 5 Considerações Finais | 48 |
| REFERÊNCIAS..... | 50 |
| APÊNDECE..... | 54 |

1 INTRODUÇÃO

Os rejeitos provenientes de mineração de carvão ocasionam grandes impactos no ambiente, seja com a deposição em lugares não adequados, seja com a contaminação dos lençóis freáticos (ARCER, 2012). Tais rejeitos da mineração de carvão contém uma elevada concentração de pirita (FeS_2). Quando descartados indevidamente causam a drenagem ácida de minas (DAM), que se forma da oxidação dos minerais sulfetados, no momento em que entram em contato com o ar, água e por bactérias, que aceleram o processo da oxidação. Caracteriza-se a DAM por possuir um grande teor de sulfetos, e por ter um baixo valor de pH (FARFAN et al, 2004).

Para o tratamento da DAM utiliza-se principalmente a cal hidratada e hidróxido de sódio (NaOH) que realizam o processo de tratamento por neutralização. Tais reagentes são usados como alcalinizantes, desse modo ocorrerá a precipitação de metais dissolvidos, elevando o pH para valores acima de 6 na DAM (ARCER, 2012). O tratamento por neutralização tem uma alta eficiência, assim atendendo grande parte dos padrões exigidos pela legislação CONAMA 430- 357/05 (HORN, 2015).

Os coagulantes podem ser inorgânicos ou orgânicos. Sendo os coagulantes inorgânicos mais usados são os de alumínio e sais férricos. Estes inorgânicos são aplicados em grande quantidade, para o tratamento de água potável e residual. Além disso, têm alta eficiência na remoção da turbidez. Porém, mesmo com uma elevada eficiência, podem vir a causar problemas à saúde e ao meio ambiente, devido ao acréscimo de alumínio e ferro na água. (MARTINS; OLIVEIRA; GUARDA, 2014)

Atualmente estão surgindo caminhos alternativos que podem ajudar no tratamento da DAM, como o uso de coagulantes naturais (orgânicos). Os coagulantes orgânicos apresentam vantagens em relação aos inorgânicos, como ter uma elevada disponibilidade de sua matéria prima, reduzida quantidade de lodo gerado, não ser necessário adição de metais no lodo e nem no efluente (TEIXEIRA et al. 2017).

Devido ao grande risco que a DAM causa ao ambiente, o presente trabalho visou avaliar parâmetros da amostra de drenagem ácida de minas (DAM) mediante o tratamento por neutralização/precipitação. Realizou-se a caracterização da amostra bruta e tratada da DAM com relação os seguintes parâmetros: condutividade, sólidos totais dissolvidos, pH e turbidez, sendo usado a melhor dosagem de cal hidratada e coagulante para o tratamento da DAM.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste estudo abrange aspectos que incluem conceitos relacionados com a mineração de carvão, DAM, tratamentos da DAM, parâmetros físico-químicos como: pH, turbidez, condutividade e sólidos totais dissolvidos.

2.1 Mineração e meio ambiente

A mineração consiste em uma atividade que estimula o desenvolvimento e favorece a economia, podendo ser fundamental para uma melhor implantação da infraestrutura, tecnologia, como também uma melhor qualidade de vida das pessoas que vivem nas cidades onde ocorre o processo de mineração (LORENZO, 2015). Tal como as outras atividades econômicas, a mineração implica em impactos negativos e positivos.

A mineração do carvão causa alguns problemas ao meio ambiente, a tabela a seguir apresenta alguns dos impactos e aspectos que essa atividade resulta.

Tabela 1: Aspectos e impactos ambientais

| Meio Ambiente | Impactos ambientais |
|--------------------|------------------------------|
| Físicos e Químicos | Alteração da turbidez |
| | Alteração do pH |
| | Contaminação química |
| Bióticos | Redução da flora |
| | Redução de habitats da fauna |
| | Supressão da vegetação |
| Socioeconômico | Modificação da paisagem |

Fonte: Adaptado de Santos, 2020

Tanto a mineração subterrânea quanto a céu aberto causa problemas para o meio ambiente, porque levam a mudanças na estrutura do meio natural, por meio do descarte impróprio de rejeitos. Tais descartes causam contaminação de águas superficiais e subterrâneas, podem vir a causar alterações na atmosfera ao redor da mina devido a geração de gases e poeiras (FERREIRA, 2017).

Com a mineração de carvão, o meio ambiente sofre grande impacto no meio físico. Alguns fatores como a alteração de paisagem, desmatamento, alterações de qualidade dos corpos d'água entre outros, tornam a mineração de carvão uma grande degradadora do meio ambiente. Para realizar a extração de carvão, utilizam-se diversos métodos de escavações, sendo normalmente utilizados explosivos, uma grande quantidade de água, produtos químicos, entre outros (KOPEZINSKI, 2020).

A poluição hídrica é um dos problemas causados pela drenagem ácida de minas, pois grande parte dos organismos aquáticos precisam de condições onde o pH seja neutro, assim mantendo sua sobrevivência. Conforme as soluções geradas pela drenagem ácida de minas se infiltram no solo, elas solubilizam com íons metálicos e tóxicos, assim podendo comprometer as águas subterrâneas e superficiais. A flora e fauna acabam danificadas pela contaminação dos rios com esse efluente gerado pela mineração de carvão. A água que vem a ser contaminada com a DAM, se torna inadequada para o consumo humano e para uso industrial (SANTOS, 2020; SEGREDO, 2014).

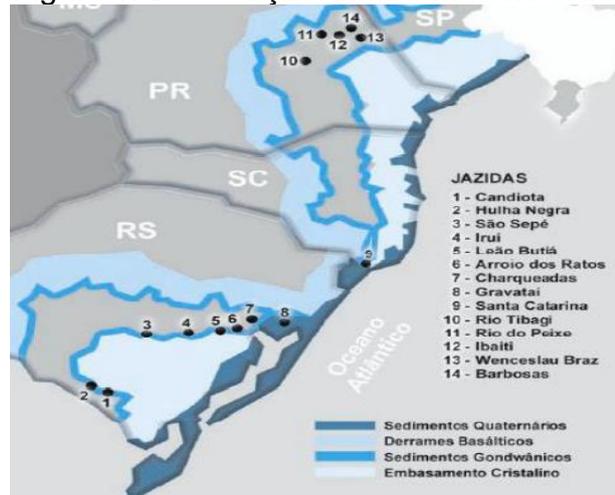
2.2 Mineração de Carvão no Brasil

O carvão brasileiro tem como principal característica a alta quantidade de cinzas, enxofre e ferro. O uso do carvão é apenas para a produção de energia térmica, devido a sua composição (SANTOS, 2020).

No estado do Rio Grande do Sul, as minas de carvão mineral encontram-se nos municípios de Cachoeira do Sul, Butiá, Arroio dos Ratos, Minas do Leão e Candiota.

Na figura 1 encontram-se os principais distritos carboníferos do sul do Brasil.

Figura 1: Distribuição Carbonífera no Sul do Brasil



Fonte: Monteiro (2004).

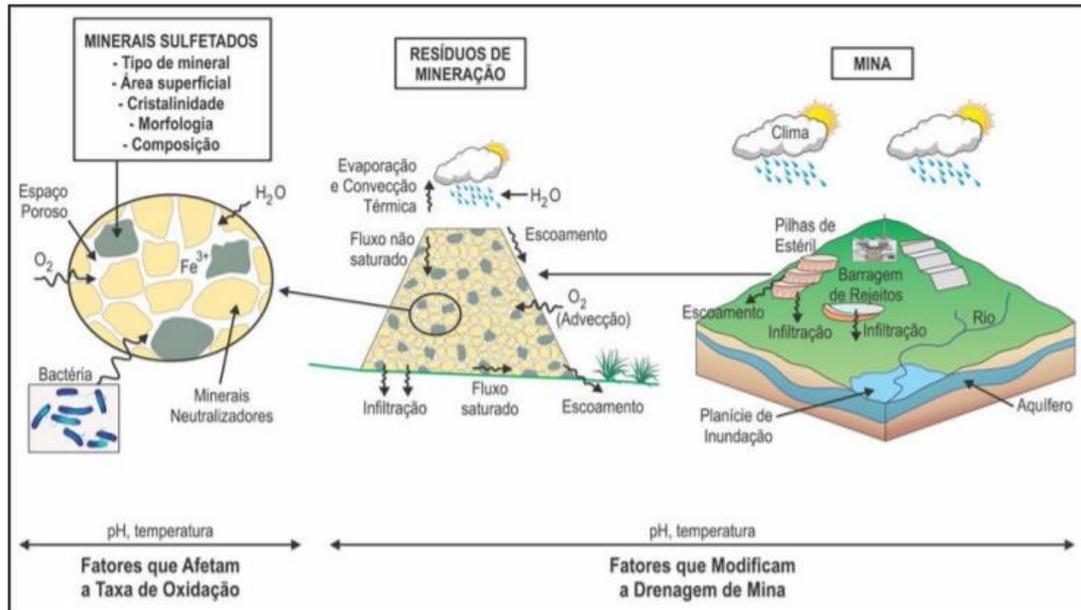
Como mostra a Figura 1, o estado, no sul do Brasil, que mais tem distribuição carbonífera é o Rio Grande do Sul com 8 jazidas de carvão, seguido do Paraná e Santa Catarina. Com o passar dos anos, algumas ações, como o baixo incentivo do governo, a negligência das mineradoras e o pouco cuidado pelo meio ambiente causaram uma situação grave de degradação ambiental. Atualmente ocorreu uma mudança no cenário, pois as mineradoras estão em busca de reduzir os impactos causados pela mineração de carvão no meio ambiente, através de implantações de políticas internas e externas (SANTOS, 2020).

2.3 Drenagem ácida de minas

A drenagem ácida de minas (DAM), conforme comentado, é consequência do processo da oxidação natural de minerais sulfetados (por exemplo a pirita), presentes em rochas, a partir da combinação de água e oxigênio da atmosfera (DUARTE; LADEIRA; MELLO, 2014).

A Figura 2 apresenta alguns fatores que afetam a geração de DAM.

Figura 2: Fatores que afetam a geração da DAM.



Fonte: HidroGe

A Figura 2 mostra a formação da DAM, que ocorre no momento em que, o mineral sulfetado (pirita (FeS_2), arsenopirita ($CuFeS_2$) e calcocita (Cu_2S)) está na superfície terrestre, assim sofrendo a oxidação por estar em contato com o oxigênio e água. Deste modo, com a geração de íons sulfatos, a acidez será elevada causando uma baixa qualidade das águas superficiais (BORMA; SOARES, 2002).

A DAM caracteriza-se como um efluente com um pH ácido, com concentrações altas de íons metálicos dissolvidos, uma elevada concentração de sulfatos e alta condutividade elétrica. Os metais dissolvidos que se encontram na DAM são: ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), alumínio (Al), chumbo (Pb), arsênio (As), entre outros. Tais metais, quando alcançam os mananciais hídricos, podem ser agregados nas cadeias alimentares, causando assim graves modificações ecológicas (HORN, 2015).

O efluente apresenta-se com uma tonalidade marrom avermelhada, na presença de íons férricos (Fe^{3+}) solúveis ou uma tonalidade de azul-esverdeado devido ao predomínio de íons ferrosos (Fe^{2+}) (HORN, 2015). As figuras 3 e 4 mostram a tonalidade da água em contato com íons férricos (Fe^{3+}) e íons ferrosos (Fe^{2+}).

Figura 3: Água com íons ferrosos (Fe^{2+})



Fonte: Philippi (2014).

Figura 4: Água com íons férricos (Fe^{3+})



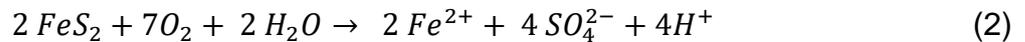
Fonte: Arcer (2012).

No processo de formação da drenagem ácida de minas acontecem algumas reações químicas, tal como as reações da pirita, sendo esta representada pela equação:

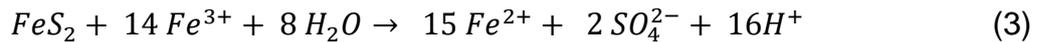


As reações químicas associadas a oxidação da pirita são normalmente representadas pelas equações a seguir:

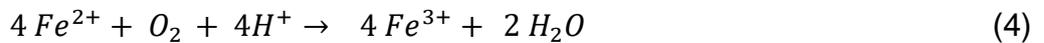
Oxidação direta, sendo essa a oxidação da pirita por O_2 :



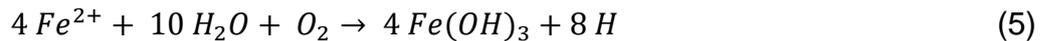
Oxidação indireta, sendo está a oxidação da pirita por Fe^{3+} :



Oxidação de Fe^{2+} para Fe^{3+} :



Precipitação de $Fe(OH)_3$:



A velocidade da equação 2, depende da temperatura, superfície a qual a pirita é exposta ao oxigênio e concentração do oxigênio no meio (BORMA; SOARES, 2002).

2.3.1 Métodos de tratamento e controle de DAM

Considera-se relevante prevenir a contaminação do meio ambiente por drenagem ácida de minas. Kontopoulos (1998) classifica os métodos de controle em três categorias: método preventivo, de contenção e remediação.

Os métodos de prevenção têm como objetivo diminuir o contato entre os sulfetos e a água/oxigênio, assim impedindo a formação da drenagem ácida de minas. Os métodos de contenção consistem em diminuir ou até mesmo evitar que a drenagem ácida de minas seja liberada no meio ambiente, assim diminuindo o contato do efluente com o ambiente. Métodos de remediação consistem em tratar a DAM e podem ser classificados em métodos ativos e passivos. Os métodos ativos demandam de um controle operacional forte, pois haverá o emprego de dosagens de reagentes, ocorrendo continuamente. Nos métodos passivos ou contrário dos ativos, não haverá um controle intensivo de operação (SANTOS, 2020). A tabela 2 apresenta de um modo geral alguns dos métodos mais aplicados na remediação e no controle de DAM.

Tabela 2: Métodos de controle da drenagem ácida de minas

| Métodos | | | |
|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Preventivos | Contenção | Remediação sistema ativo | Remediação sistema passivo |
| Remoção | Paredes relativas porosa | Neutralização/ Precipitação | Leitos de calcário |
| Cobertura Seca | Disposição em estruturas de contenção | Adsorção/troca iônica | Wetlands |
| Cobertura úmida | | | Reator de fluxo vertical |
| Aditivos alcalinos | | | Barreira permeável relativa |

Fonte: Adaptada de Santos (2020).

O processo de neutralização/precipitação é o método de tratamento ativo mais utilizado na drenagem ácida de minas.

2.3.2 Neutralização/ precipitação como tratamento da DAM

O método compreende a neutralização do escoamento aquoso resultando na precipitação dos íons metálicos em forma de hidróxidos. A partir do acréscimo de um material alcalinizante será neutralizada a acidez da drenagem de minas. O reagente tem por objetivo aumentar o pH e oferecer íons hidroxila (OH^-) fazendo com que ocorra uma reação com os íons metálicos dissolvidos na água. Nesta etapa acontece a formação de hidróxidos metálicos insolúveis que precipitam, ocorrendo pôr fim a remoção por meio de separação sólido-líquido (SANTOS, 2020).

Os reagentes mais empregados no tratamento da DAM são o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), conhecida como cal hidratada e hidróxido de sódio (NaOH) (ARCE, 2012). A tabela a seguir apresenta a eficiência de neutralização dos compostos citados acima.

Tabela 3: Compostos químicos aplicados em DAM e suas eficiências.

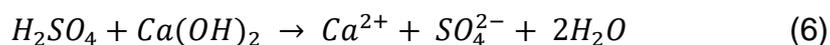
| Compostos | Fórmula | Eficiência da neutralização |
|---------------------|------------|-----------------------------|
| Carbonato de cálcio | $CaCO_3$ | 30 % |
| Hidróxido de Cálcio | $Ca(OH)_2$ | 90% |
| Óxido de cálcio | CaO | 90% |
| Carbonato de sódio | Na_2CO_3 | 60% |
| Hidróxido de sódio | $NaOH$ | 100% |
| Amônia anidra | NH_3 | 100% |

Fonte: Adaptado de Santos (2020)

Deve-se levar em conta fatores como estado de oxidação, concentração e interação entre metais dissolvidos, pois estes fatores influenciam na velocidade da reação e eficiência na remoção (SANTOS, 2020).

O hidróxido de cálcio ou cal hidratado é distribuído em forma de um pó com características hidrofóbicas, o que ocasiona um custo adicional em energia para viabilizar que ocorra uma mistura eficiente no meio aquoso. A principal aplicação da cal hidratado é em circunstâncias onde as vazões do efluente são elevadas e em efluentes com uma grande acidez (ARCE, 2012). Sua principal vantagem em relação a outros agentes alcalinizantes, é o baixo custo e na formação de uma quantidade menor de lodo quando comparado com o outros reagentes.

A reação do hidróxido de cálcio com a drenagem ácida está representada a seguir:



A cal virgem é empregada em sistemas de elevadas vazões e grande acidez, tendo custo relativo pequeno.

A reação a seguir consiste na reação de óxido de cálcio com a drenagem ácida.



2.4 Coagulante Orgânico

A coagulação compreende fenômenos físicos e químicos, que ajudam a melhorar a qualidade dos efluentes (LOPES, 2014). Os coagulantes normalmente empregados para correção de pH e turbidez são agentes não biodegradáveis e inorgânicos que adicionam elementos químicos à água ou ao lodo, assim dificultando o tratamento da mesma (CRUZ, 2004).

Coagulantes de origem orgânica vem sendo utilizados como alternativas aos de origem inorgânica, devido à sua baixa toxicidade e também a sua baixa produção de lodo e alta biodegradabilidade. O uso de coagulantes orgânicos pode possibilitar algumas vantagens, como a eficiência na remoção de cor e turbidez nas amostras de água. Compostos derivados de taninos vem sendo muito utilizados para tratamento de água para consumo humano e águas residuais, tendo uma alta eficiência no tratamento das mesmas (TREVISAN, 2014).

A empresa TANAC produz um coagulante denominado Tanfloc, o qual deriva de um tanino proveniente da Acácia Negra (GUSMÃO, 2014). O mesmo pode ser utilizado como um coagulante em conjunto com um floculante no processo consecutivos de coagulação/floculação, ou até mesmo de forma individual. O Tanfloc atua numa faixa grande de pH, tal coagulante pode vir a eliminar o uso de agentes alcalinizantes (soda ou cal), a utilização dos mesmos não acrescenta metais e também reduz o volume de lodo no processo (TREVISAN, 2014).

2.5 Parâmetros físico-químico importantes na DAM

Nesta seção serão apresentados os parâmetros os quais foram avaliados no presente trabalhos, são eles: pH, turbidez, condutividade e sólidos totais dissolvidos.

2.5.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH é um dos aspectos ambientais mais importantes e difíceis de se interpretar. Tamaña complexidade se deve aos inúmeros fatores que influenciam, podendo estar relacionado a fontes de poluição difusa ou pontual (GASPAROTTO, 2011).

A DAM caracteriza-se como um efluente com um pH ácido, estando na faixa de 2 a 4 (HORN, 2015).

A precipitação de íons metálicos existentes na drenagem ácida de minas, acontece com pH que pode variar com o tipo de metal existente. O pH acima de 3,5 é responsável por precipitar o hidróxido férrico, já o hidróxido de alumínio precipita na faixa de pH de 4,5 a 9,0, e em uma faixa acima de 8,5 o hidróxido de manganês que será precipitado. Deste modo o melhor tratamento da drenagem ácida de minas ocorre com pH neutro ou levemente alcalino. O pH mais utilizado para tratamento da DAM no Brasil está entre 8,5 e 8,7, assim obtendo uma remoção mais elevada dos metais (SANTOS, 2020).

2.5.2 Turbidez

A origem natural da turbidez se dá por partículas de rochas, silte, argila e microrganismos, também pode citar os despejos domésticos, industriais e erosão (PARRON *et al*, 2011). A turbidez é medida a partir de um aparelho denominado turbidímetro e sua unidade é expressa em NTU (PARRON *et al*, 2011).

A turbidez é um dos parâmetros mais utilizados que indicam a formação da drenagem ácida de minas (FARFAN, 2004). A turbidez na DAM pode ocorrer no período de oxidação do ferro, assim podendo influenciar em parâmetros como a transparência da água (GONÇALVES, 2013).

2.5.3 Outros parâmetros: sólidos totais dissolvidos e condutividade

Os sólidos totais dissolvidos são constituintes químicos dissolvidos em água. Tal parâmetro tem relação com a qualidade estética da água, ou seja, é como um indicador de produtos químicos contaminantes (PARRON *et al*, 2011).

Segundo PARRON *et al* (2011) a condutividade elétrica (CE) é a medida da capacidade da solução de conduzir corrente elétrica. A condutividade depende dos íons presentes em solução e de suas concentrações, tal como da temperatura da solução (PARRON *et al*, 2011). A temperatura é um parâmetro importante na medição da condutividade, a partir desse fato os dados de condutividade devem ser seguidos dos valores de temperatura medidos (NOGUEIRA *et al*, 2015).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão apresentados os materiais e métodos utilizados no presente estudo, utilizando como amostra a drenagem ácida de minas proveniente do município de Candiota/RS.

3.1 Local da Coleta

A coleta foi realizada no município de Candiota/RS, no mês de dezembro de 2021, em uma empresa mineradora, situada no bairro de Dario Lassance. A mina na qual foi coletada a amostra é dos anos 80, estando desativada atualmente. Mesmo assim, tal mina continua gerando a DAM. A coleta ocorreu em um ponto próximo a mina, tal ponto fica situado entre a mata como mostra a Figura 5.

Figura 5: Ponto onde foram coletadas as amostras da DAM



Fonte: Autora (2022)

3.2 Reagentes e Equipamentos

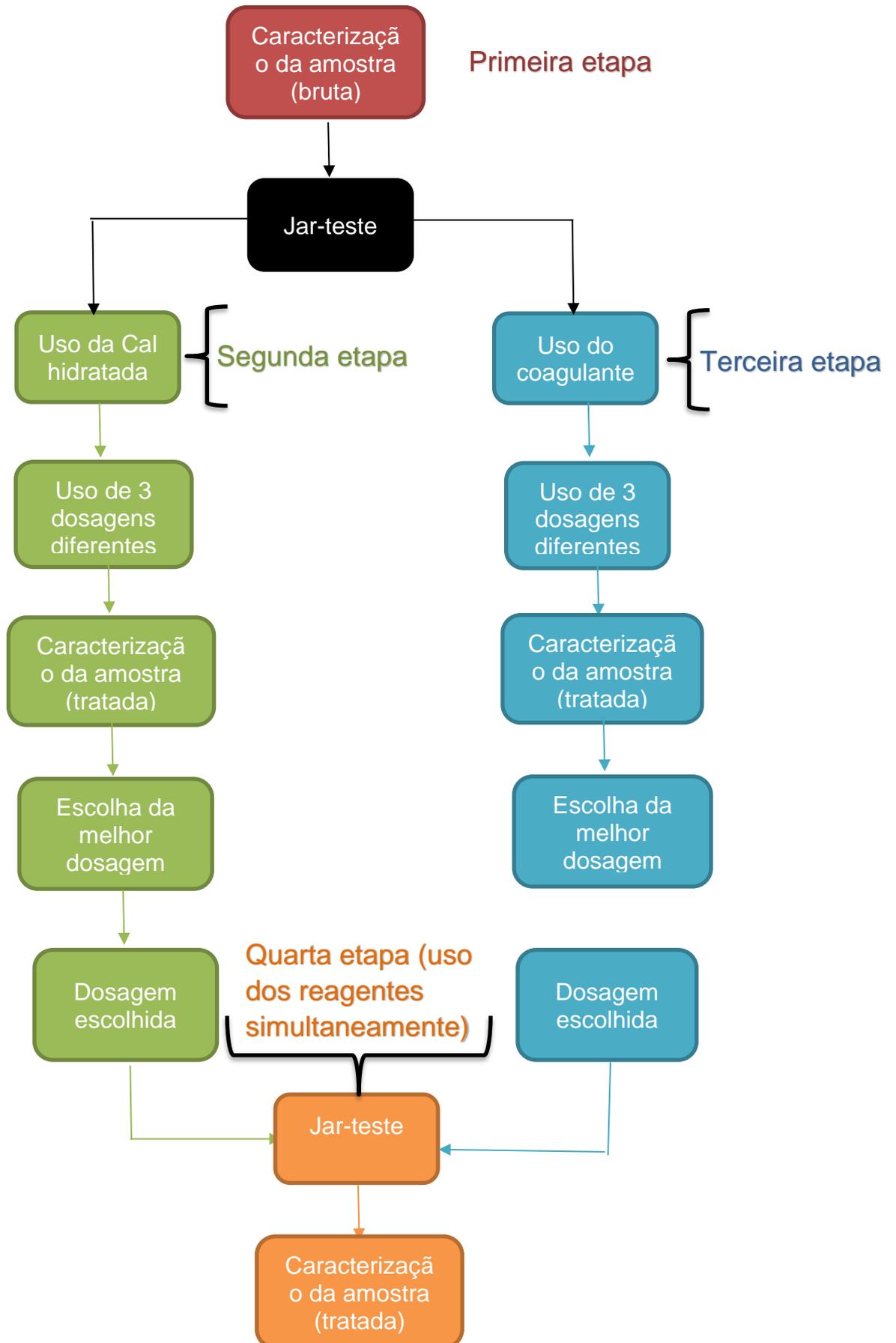
Para a realização das análises foram utilizados os seguintes reagentes: cal hidratado (tipo CHII especial), tal reagente é de uma indústria local, coagulante orgânico (Tanfloc – SG) da marca TANAC.

Para realizar as análises físico-química e a neutralização/precipitação, foram utilizados os equipamentos disponíveis no laboratório de Engenharia Química na Unipampa. Sendo eles: pHmetro da marca Methrom modelo 827 pH; medidor de turbidez da marca Del Lab modelo DLT-WV; Medidor de condutividade elétrica da marca Hanna Instruments modelo HI9835; Medidor de Sólidos dissolvidos totais da marca Hanna Instruments modelo HI9835; Jar-Test da marca ECO educacional; Balança analítica da marca Shimadzu modelo AUY 22.

3.3 Métodos

A Figura 6 mostra de forma geral as metodologias que foram realizados no presente trabalho, observa-se que todas as análises foram feitas em triplicatas.

Figura 6: Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho.



A seguir será descrito o procedimento adotado na realização da caracterização de drenagem ácida de minas, o tratamento pelo método de precipitação/neutralização.

Na primeira etapa os parâmetros analisados na DAM foram inicialmente o pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade, sendo estes realizados pelos equipamentos citados anteriormente. As primeiras caracterizações foram realizadas na amostra bruta, isto é, a amostra a qual não foram adicionados os reagentes (cal hidratada e coagulante).

Na segunda etapa foram realizados ensaios em escala de bancada baseados no método de neutralização/precipitação. Utilizando o equipamento Jar-teste, sendo adicionado a cal hidratada como agente alcalinizante como mostrado no fluxograma. Onde as amostras da DAM foram colocadas em três pequenos jarros de 500ml, sendo adicionadas em cada um, uma concentração diferente de $Ca(OH)_2$. Após essa adição ocorreu a mistura da DAM com o reagente $Ca(OH)_2$. Logo após foi interrompida a agitação e após o tempo de sedimentação/neutralização de 7 minutos foram retiradas alíquotas do efluente tratado. Posteriormente ocorreu a caracterização das alíquotas, após esta etapa foi escolhida a dosagem que obteve um melhor valor de pH seguindo Resolução CONAMA 430- 357/05 e turbidez.

Na terceira etapa, da metodologia proposta, apresentada no fluxograma, foram adicionadas três concentrações diferentes do coagulante orgânico, o procedimento ocorreu da mesma forma que o descrito anteriormente, sendo a última a realização da medição dos parâmetros de pH seguindo Resolução CONAMA 430- 357/05 e turbidez.

Na quarta etapa representada no fluxograma, foram utilizadas as amostras que apresentaram uma melhor concentração de cal hidratada e coagulante. Sendo que estas colocadas no Jar-teste, onde primeiro foi colocada, em sequência primeiro a cal hidratada e posteriormente o coagulante, tal etapa foi feita em triplicata. Finalmente realizou-se a caracterização dessa amostra em relação aos parâmetros de pH e turbidez.

3.3.1 Planejamento dos ensaios

Para realização os ensaios, foram realizados teste em laboratório para que ocorresse a escolha de três concentrações diferentes de cal hidratada e coagulante orgânico, após esses testes as concentrações escolhidas estão mostradas na Tabela

4. Foram realizados um total de vinte e cinco ensaios, sendo todos realizados em triplicatas.

A tabela 4 apresenta de forma mais detalhada o planejamento de como ocorreu a realização dos ensaios.

Tabela 4: Ensaios realizados.

| Ensaios | Cal hidratada (g) | Coagulante (g) | Cal hidratada + Coagulante (g) | Coagulante + Cal Hidratada (g) |
|---------|----------------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 0,7699 | - | - | - |
| 2 | 0,7699 | - | - | - |
| 3 | 0,7699 | - | - | - |
| 4 | 0,9946 | - | - | - |
| 5 | 0,9946 | - | - | - |
| 6 | 0,9946 | - | - | - |
| 7 | 1,5108 | - | - | - |
| 8 | 1,5108 | - | - | - |
| 9 | 1,5108 | - | - | - |
| 10 | - | 0,7699 | - | - |
| 11 | - | 0,7699 | - | - |
| 12 | - | 0,7699 | - | - |
| 13 | - | 0,9946 | - | - |
| 14 | - | 0,9946 | - | - |
| 15 | - | 0,9946 | - | - |
| 16 | - | 1,5108 | - | - |
| 17 | - | 1,5108 | - | - |
| 18 | - | 1,5108 | - | - |
| 19 | - | - | 0,9946-0,2250 | - |
| 21 | - | - | 0,9946-0,2250 | - |
| 22 | - | - | 0,9946-0,2250 | - |
| 23 | - | - | - | 0,2250-0,9946 |
| 24 | - | - | - | 0,2250-0,9946 |
| 25 | - | - | - | 0,2250-0,9946 |

Fonte: Autora (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo foram apresentados os resultados obtidos para as análises do presente trabalho.

A tabela 5 apresenta os resultados da caracterização da drenagem ácida de minas e os valores máximos permitidos para lançamento da mesma conforme a Resolução CONAMA 430- 357/05. Observa-se que o valor de pH é inferior ao exigido para o lançamento da mesma. Os parâmetros de turbidez, sólidos totais dissolvidos e condutividade da amostra bruta estão no padrão exigido pela Resolução CONAMA 430- 357/05.

Tabela 5: Caracterização da amostra bruta da DAM para lançamento em corpo d'água classe 2- Resolução Conama

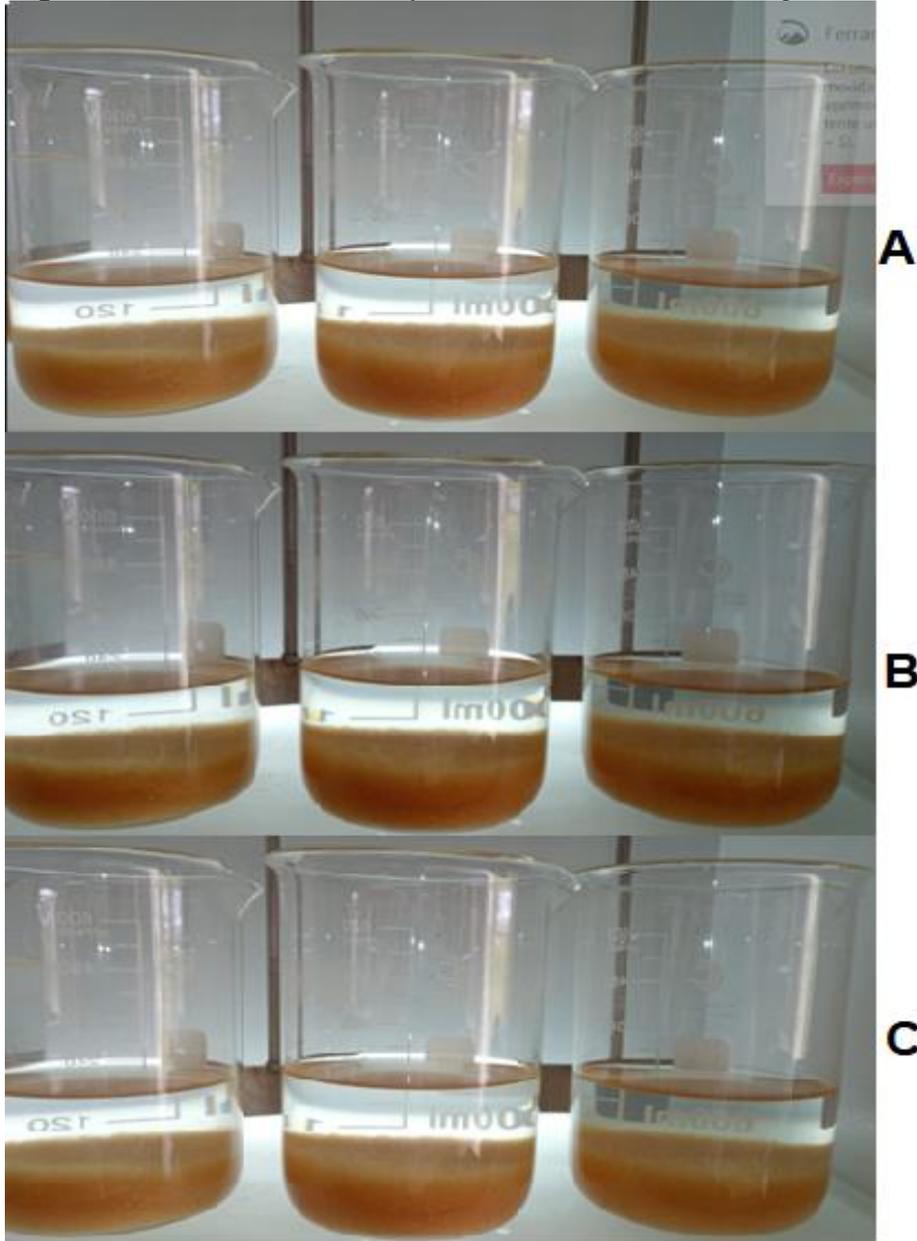
| Parâmetro | Média dos Valores encontrados | CONAMA 430-357/05 |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| pH | 3,55 | 5-9 |
| Turbidez (NTU) | 21,9 | 100 |
| Condutividade elétrica (mS/cm) | 3,11 | - |
| Sólidos totais dissolvidos (g/l) | 1,56 | 500 |

Fonte: Autora (2022)

4.1 Floculação/Decantação para diferentes dosagens da cal hidratada

A seguir será mostrada imagens da formação dos flocos após a adição de 0,7699 g (figura A), 0,9946 g (figura B), 1,5108 g (figura C) da cal hidratada em 500 ml da amostra, sendo o tempo de decantação de 7 minutos. Observa-se pela Figura 7 que não ocorreu diferença na formação dos flocos, mesmo tendo usado dosagens diferentes da cal hidratada.

Figura 7: Flocos formados após 7 minutos de decantação

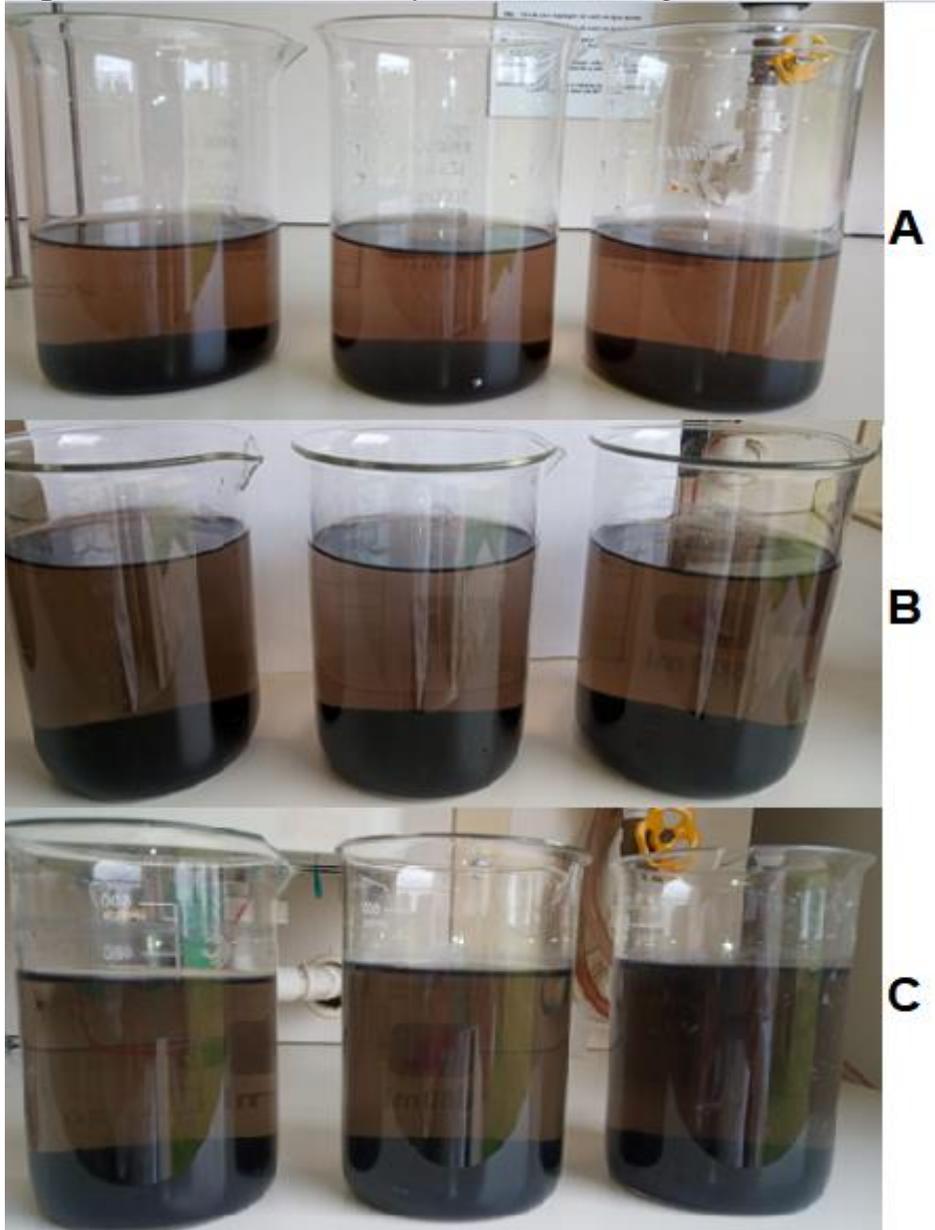


Fonte: Autora (2022)

4.2 Floculação/Decantação para diferentes dosagens de coagulante orgânico

Na Figura 8 estão demonstrados os flocos formados a partir da adição de coagulante orgânico com as dosagens de 0,1113 g (figura A), 0,2550 g (figura B), 0,5115 g (figura C) em 500 ml da amostra, tendo como tempo de decantação de 1 hora. É possível visualizar pela Figura 8 que os flocos apresentaram uma coloração mais escura quando comparados ao da Figura 7, que apresentou uma coloração de marrom claro.

Figura 8: Flocos formados após 1 de decantação



Fonte: Autora (2022)

4.3 Floculação/Decantação a partir da adição de cal hidratada seguida de coagulante orgânico

A seguir será mostrada a imagem da formação dos flocos após a adição de 0,9946 g de cal hidratada e 0,2550 g do coagulante orgânico em 500 ml da amostra, sendo o tempo de decantação de 1 hora. Observa-se na Figura 9 que o uso de cal hidratada mais coagulante a cor ficou um pouco mais avermelhada quando comparada a Figura 10.

Figura 9: Formação dos flocos com melhor dosagem de cal hidratada coagulante



Fonte: Autora (2022)

4.4 Floculação/Decantação a partir da adição de coagulante orgânico mais cal hidratada

A Figura 10 mostra a formação dos flocos após a adição de 0,2550 g do coagulante orgânico e 0,9946 g de cal hidratada em 500 ml da amostra, sendo o tempo de decantação de 1 hora. É possível visualizar na Figura 10 que foram formados uma quantidade menor de flocos quando comparados a Figura 9 que representa o uso da cal seguida do coagulante orgânico.

Figura 10: Formação dos flocos com a melhor dosagem do coagulante seguida de cal hidratada



Fonte: Autora (2022)

4.5 Amostra da DAM com o uso do coagulante antes da agitação

Quando adicionado o coagulante na amostra de drenagem ácida de minas, tal amostra ficou com uma cor escura como mostra a Figura 11. É suposto que a amostra da DAM que contém Fe^{2+} possa ter reduzido resultando na a formação de partículas de ferro elementar o qual pode ser devido à capacidade antioxidante (reduzora) dos taninos (PESSUTO *et al*, 2009). Os taninos formam parte do coagulante orgânico utilizado no presente trabalho.

Figura 11: DAM com coagulante



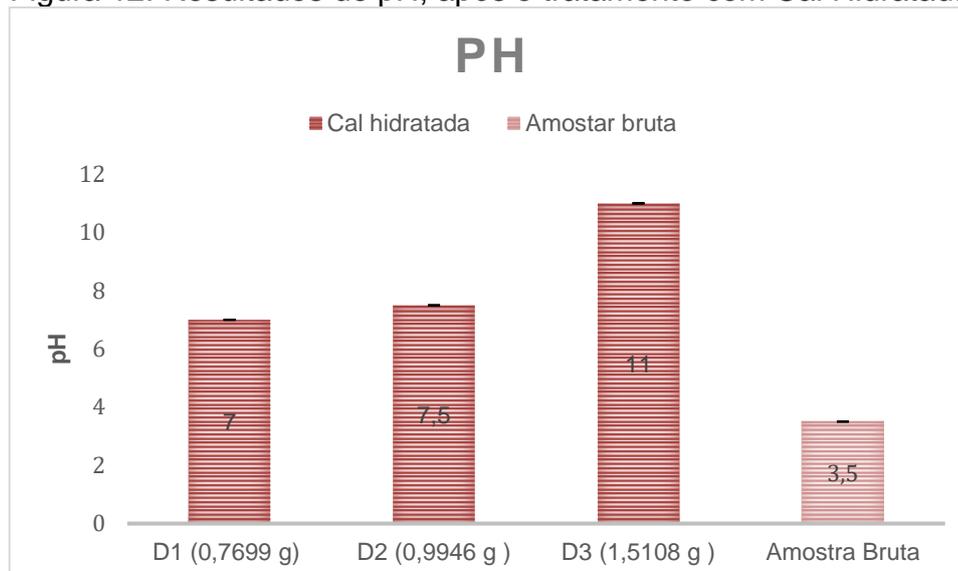
Fonte: Autora (2022)

4.6 DESEMPENHO DA CAL HIDRATADA COM RELAÇÃO OS PARÂMETROS ANALISADOS

4.6.1 Potencial hidrogeniônico

A amostra bruta da DAM teve um resultado de pH de $3,5 \pm 0,01$. Sendo considerado um valor de pH ácido segundo Santos (2020) e Horn (2015) que falam que a DAM é representada por valores de pH na faixa de 2 a 4. A Figura 12 mostra os valores encontrados de pH da amostra bruta, assim como os resultados após o tratamento da mesma com a cal hidratada.

Figura 12: Resultados de pH, após o tratamento com Cal Hidratada



Fonte: Autora (2022)

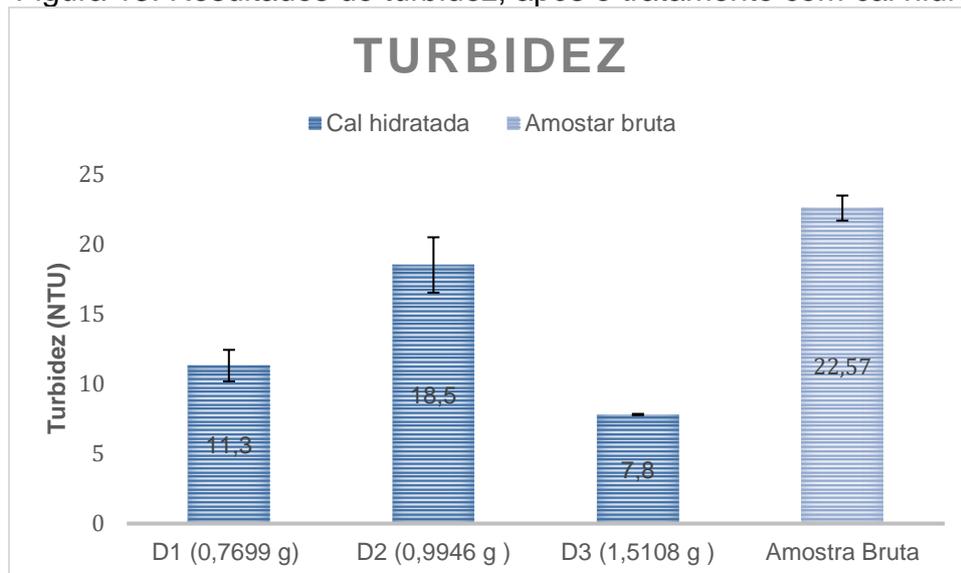
Para as dosagens D1 e D2, foram medidos valores de pH de $7 \pm 0,00$ e $7,5 \pm 0,00$. Tais dosagens elevaram o valor do pH em 100% para D1 e 114,29% para D2. Assim ficando na faixa de lançamento permitida pela Resolução CONAMA 430-357/05, que é de 5 a 9. Já quando se utilizou a D3 os resultados encontrados foi de $11 \pm 0,00$, esse pH passou dos padrões de lançamento.

Ao verificar o resultado da Figura 12 observa-se que o uso da cal hidratada elevou o pH da DAM, isso ocorre pelo fato deste agente alcalinizante se dissolver com o meio aquoso, assim formando íons hidroxila que reagem com os íons metálicos da amostra da DAM, tal fato é comprovado por Santos (2020); Horn (2015), onde em seus respectivos trabalhos utilizando cal hidratada conseguiram elevar seus pH da DAM em respectivamente 8,70 e 8.

4.6.2 Turbidez

Para o parâmetro de turbidez, a amostra bruta da DAM apresentou o resultado de $22,57 \text{ NTU} \pm 0,89$. Tal valor pode ser considerado alto quando comparado com o encontrado por FOSSATTI *et al* que é de 1,2 NTU, essa diferença pode se dar pelo tipo de mina ou até mesmo pelas condições climáticas. Observa-se na Figura 13 os resultados encontrados de turbidez para amostra bruta, assim como para amostra tratamento com a cal hidratada.

Figura 13: Resultados de turbidez, após o tratamento com cal hidratada



Fonte: Autora (2022)

Para a dosagem de D1 mediu-se 11,3 NTU \pm 1,13, tendo uma redução de turbidez de 49,93% quando comparada à amostra bruta.

A D2 teve uma menor redução de 18,03% da turbidez, ficando com um valor de 18,5 NTU \pm 1,98.

A dosagem D3 foi a que apresentou uma melhor remoção de turbidez ficando em 65,44%, ficando assim com um resultado de 7,8 \pm 0,05.

Os resultados encontrados após o tratamento com a cal hidratada, ficaram todos dentro dos parâmetros de lançamento, segundo a resolução CONAMA 430-357/05 que é até 100 NTU.

Em seu trabalho referente a caracterização físico-química e comparativa de drenagem ácida (DAM) gerada em laboratório e naturalmente em áreas de mineração de carvão, Fossatti et al, encontrou valores de Turbidez de 0,94 para gerada em laboratório e 1,2 para amostra natural, o que comparado com o valor da amostra bruta da Figura 13, observou-se que ocorreu uma diferença, mas se manteve nos parâmetros de lançamento.

Não foram encontrados resultados de turbidez para que ocorra comparação com a amostra tratada com cal hidratada nas seguintes literaturas: Santos (2020), Horn (2015), Arcer (2012), Ferreiro *et al* (2017), Farfan (2004).

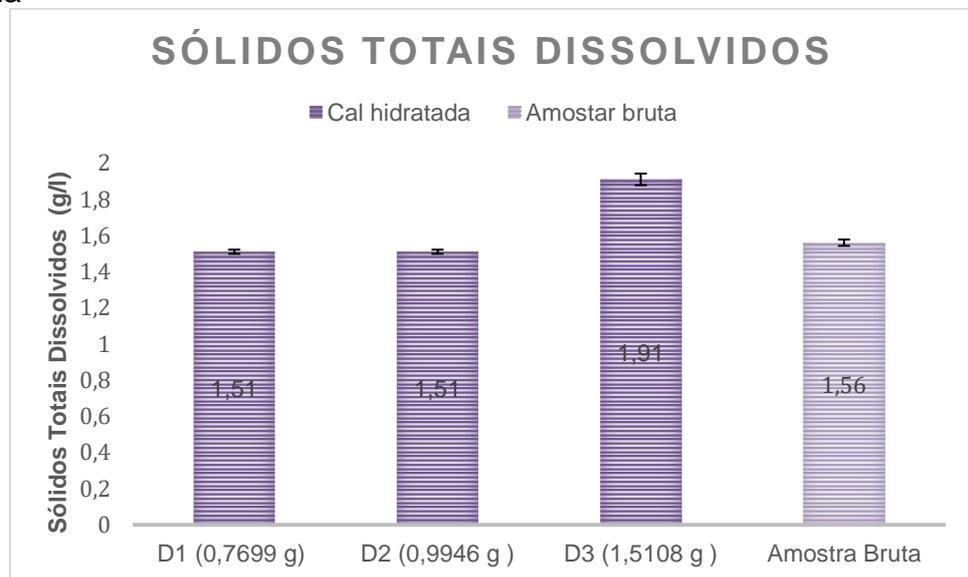
4.6.3 Sólidos Totais Dissolvidos

Os valores de sólidos totais dissolvidos são encontrados na Figura 14, tanto para a amostra bruta como tratada.

Observa-se que o valor da amostra bruta é de $1,56 \text{ g/L} \pm 0,017$.

Para as D1 e D2 os valores medidos foram os mesmos, sendo esses $1,5 \text{ g/l} \pm 0,011$. Tendo uma pequena redução de 3,21% do parâmetro de sólidos totais dissolvidos.

Figura 14: Resultados sólidos totais dissolvidos, após o tratamento com cal hidratada



Fonte: Autora (2022)

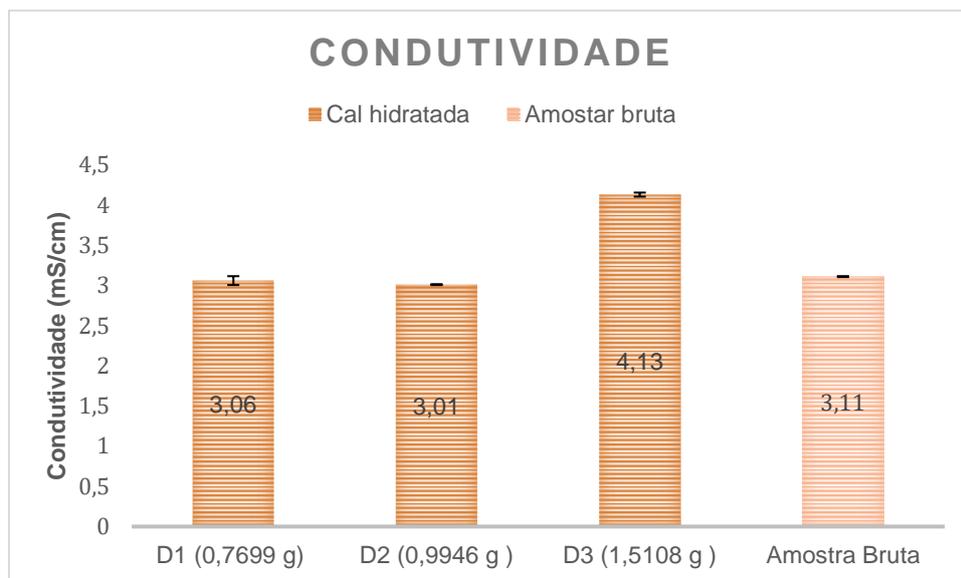
Na dosagem D3 ocorreu um aumento de 22%, ficando assim com um valor de $1,91 \text{ g/l} \pm 0,032$.

Segundo SEGREDO (2014), os valores de sólidos totais dissolvidos ficam em torno de 1,0-30 g/l, tendo esse parâmetro associados a espécies químicas como Mn e Al. Observa-se que após o tratamento com dosagens diferentes de cal hidratada tais valores ficaram entre os parâmetros de lançamento da Resolução CONAMA 430-357/05, que para sólidos totais dissolvidos é até 500 g/l.

4.6.4 Condutividade

A Figura 15 mostra os resultados encontrados de condutividade para amostra bruta e tratamento com a cal hidratada.

Figura 15: Resultados de condutividade, após o tratamento com Cal Hidratada



Fonte: Autora (2022)

Santos (2020), encontrou um resultado de 7,79 mS/cm em um pH de 2,33 para sua amostra bruta, sendo o valor entrado no presente trabalho é de 3,11 mS/cm \pm 0,0058 para um pH de 3,11, tal diferença se dá pelo valor do pH.

Para as dosagens de D1 e D2 ocorreu uma diminuição de 1,61% para D1 e 3,21% para D2. Ficando com valores de condutividade de 3,06 mS/cm \pm 0,0058 e 3,01 mS/cm \pm 0,0252. Já para a D3 ocorreu um aumento de 32,79% quando comparada com a amostra bruta. Ficando com um valor de 4,13 mS/cm \pm 0,0058.

Segundo a Resolução CONAMA 430- 357/05, não tem um valor estipulado para o lançamento da DAM com relação ao parâmetro de condutividade.

Em seu trabalho de drenagem ácida de minas por neutralização/precipitação-efeito do pH, agente neutralizante e tratamento complementar por biossorção com microalgas, Santos (2020), encontrou após o tratamento com cal hidratada um resultado de condutividade de 5,15 mS/cm. Tal autor observou que com o uso da cal hidratada como agente neutralizante, o valor da condutividade diminui. O que também se observa no presente trabalho.

4.6.5 Melhor dosagens com uso da cal hidratada

Na Tabela 6, estão representados os melhores resultados após o tratamento com cal hidratado, seguindo o Resolução CONAMA 430- 357/05.

Tabela 6: Melhores resultados para cal hidratada seguindo o CONAMA.

| Dosagem (g) | Parâmetro | Valor encontrado | CONAMA 430-357/05 |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 0,9946 | pH | 7,5 | 5-9 |
| 1,5108 | Turbidez (NTU) | 7,8 | 100 |
| 0,9946 | Sólidos Totais Dissolvidos (g/l) | 1,51 | 500 |
| 0,9946 | Condutividade (mS/cm) | 3,01 | - |

Fonte: Autora (2022)

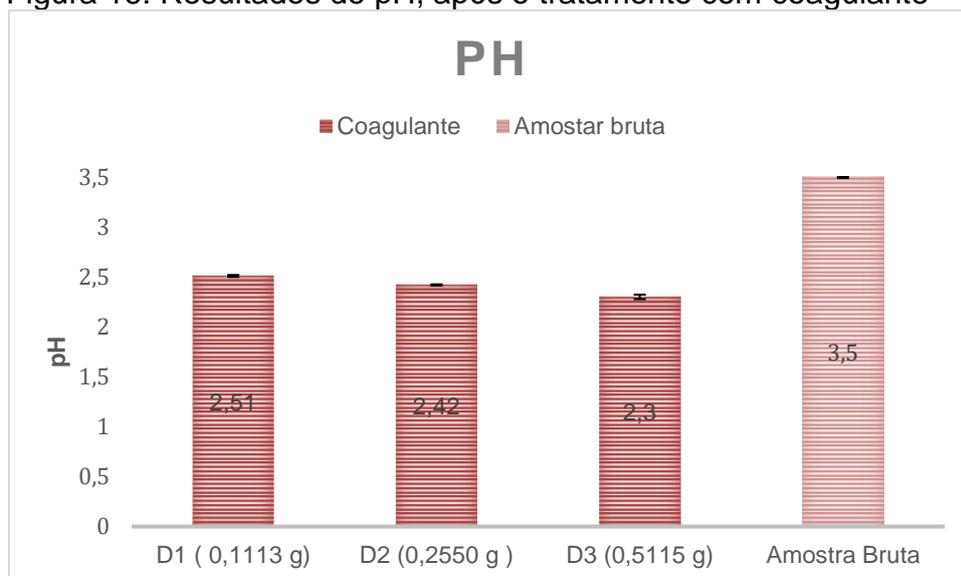
Observou-se que com o uso da cal hidratada como tratamento para drenagem ácida de minas, obteve resultados satisfatórios, tendo todos os parâmetros atendido à resolução CONAMA 430- 357/05.

4.7 DESEMPENHO DO COAGULANTE ORGÂNICO COM RELAÇÃO AOS PARÂMETROS ANALISADOS

4.7.1 Potencial hidrogeniônico

Os resultados encontrados para a o pH estão mostrados na Figura 16, para amostra bruta, assim como para tratamento da mesma com coagulante.

Figura 16: Resultados de pH, após o tratamento com coagulante



Fonte: Autora (2022)

A amostra bruta da DAM teve um resultado de pH de $3,5 \pm 0,01$.

Para a dosagem de 0,1113 g ocorreu uma redução de 28,29% quando comparado com a amostra bruta, ficando com um valor de $2,51 \pm 0,01$.

A dosagem de 0,2550 g tem um resultado de $2,42 \pm 0,0058$. Tendo assim uma redução de 30,86 % do pH.

A dosagem que teve uma menor redução 34,29%, foi a D3, ficando com um valor de $2,3 \pm 0,023$.

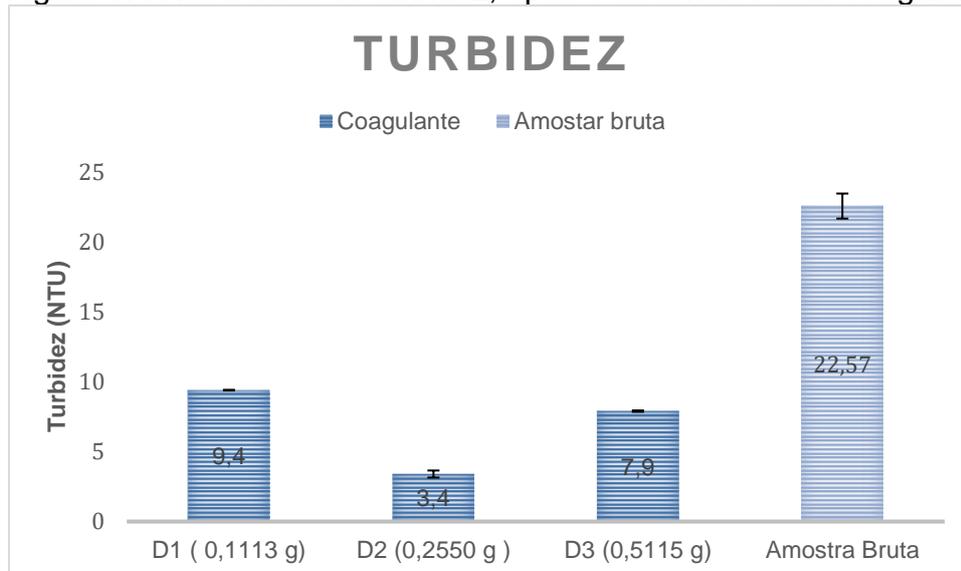
Segundo Ferreiro *et al* (2017), o coagulante orgânico (Tanfloc) por não possuir um caráter ácido se adicionado em água, não consome a alcalinidade do meio, assim proporcionando a diminuição do pH. O que se observou nos resultados da Figura 16.

Nas literaturas a seguir de Santos (2020), Lemos (2015), Arce (2012), Horn (2015), não foram encontrados valores para que houvesse uma comparação de resultados, pois os mesmos não utilizavam tal coagulante orgânico.

4.7.2 Turbidez

A Figura 17 apresenta os valores encontrados de turbidez na amostra bruta, assim como os resultados após o tratamento da mesma com coagulante.

Figura 17: Resultados de turbidez, após o tratamento com coagulante



Fonte: Autora (2022)

Para o parâmetro de turbidez, a amostra bruta da DAM apresentou o resultado de 22,57 NTU \pm 0,89.

Para a dosagem de 0,1113 g ocorreu uma redução da turbidez de 58,35% e o valor encontrado é de 9,4 NTU \pm 0,025.

A dosagem com a melhor redução de 84,94% foi de 0,2550 g, tendo um valor de 3,4 NTU \pm 0,25.

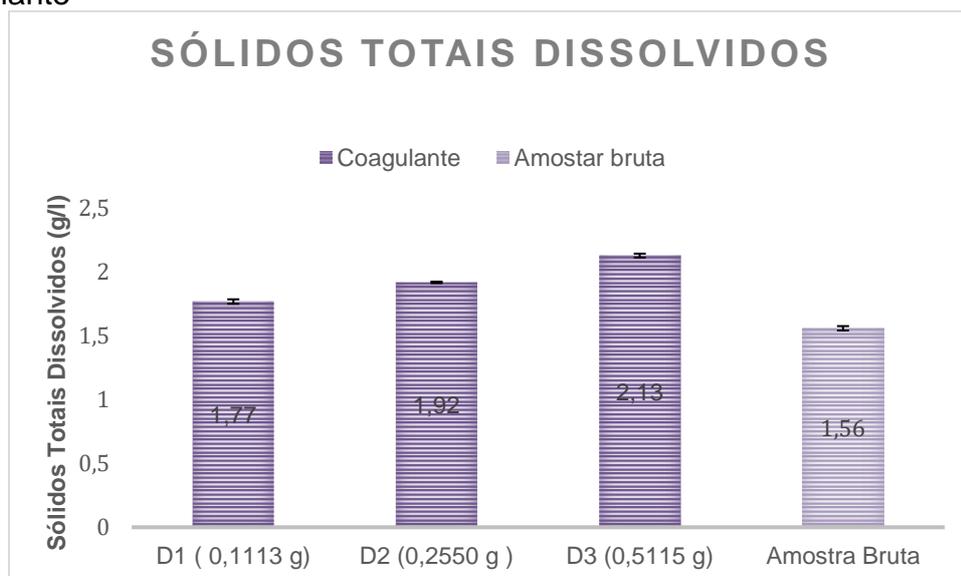
Encontrou-se um valor de 7,9 NTU \pm 0,049 para a dosagem de 0,5115 g, tendo uma redução de 64,99% da turbidez quando comparada a amostra bruta.

De acordo com Nepomuceno *et al* (2018) os tamanhos dos flocos produzidos pelo coagulante orgânico são maiores quando comparados a outros coagulantes, isso faz com que o tempo de sedimentação seja mais rápido assim tendo uma melhor eficiência na redução da turbidez. O que é possível observar-se pela Figura 17, onde todos os parâmetros de turbidez foram reduzidos.

4.7.3 Sólidos Totais Dissolvidos

Os valores de sólidos totais dissolvidos da amostra bruta e tratada como coagulante, estão mostrados na Figura 18.

Figura 18: Resultados de sólidos totais dissolvidos, após o tratamento com Coagulante



Fonte: Autora (2022)

O valor da amostra bruta é de 1,56 g/L \pm 0,017.

Para a dosagem de 0,1113 g ocorreu um aumento de 13,46% quando comparado a amostra bruta. Ficando o valor de 1,77 g/l \pm 0,017. Já para dosagem de 0,2550 g o resultado é de 1,92 g/l \pm 0,0058, tendo um aumento de 23,08%.

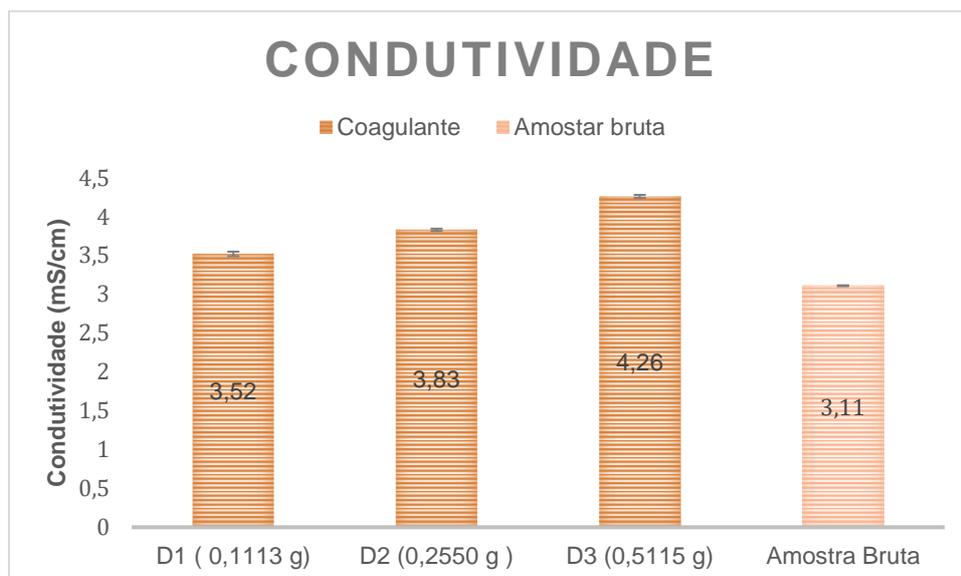
A dosagem que teve um pior desempenho foi a de 0,5115 g, tendo um maior aumento de 36,53% dos sólidos totais dissolvidos quando comparados ao da amostra bruta.

Os resultados encontrados na Figura 18, ficaram nos padrões de lançamento segundo a Resolução CONAMA 430- 357/05, onde o padrão de lançamento é de até 500 g/l.

4.7.4 Condutividade

A Figura 19 mostra os valores encontrados de condutividade da amostra bruta, assim como os resultados após o tratamento da mesma com o coagulante.

Figura 19: Resultados de condutividade, após o tratamento com coagulante



Fonte: Autora (2022)

Para a amostra bruta encontrou-se valores de 3,11 mS/cm \pm 0,0058.

A dosagem de 0,1113 g teve um aumento de 13,18% quando comparado com a amostra bruta, tendo um valor de 3,52 mS/cm \pm 0,028. Já no uso da dosagem de 0,2550 g o valor encontrado foi de 3,83 mS/cm \pm 0,015, observou-se que ocorreu um aumento de 23,15%.

A dosagem D3 teve o maior aumento de 36,98% quando comparado com as dosagens D1 e D2. Tendo um valor encontrado de 4,26 mS/cm \pm 0,02.

Em seu trabalho de uso de tanino no tratamento de água para abastecimento, Gusmão (2014) diz que o coagulante orgânico possui um alto peso molecular, isso faz com que aja uma baixa mobilidade, o que provoca um pequeno aumento na condutividade.

4.7.5 Melhor dosagens com uso de coagulante orgânico

As melhores dosagem de coagulante orgânicos está apresentada na Tabela 7, assim como os valores de padrão de lançamento segundo a CONAMA.

Tabela 7: Melhores resultados para coagulante orgânico seguindo o CONAMA.

| Dosagem (g) | Parâmetro | Valor encontrado | CONAMA 430-357/05 |
|-------------|----------------------------------|------------------|-------------------|
| 0,2550 | pH | 2,42 | 5-9 |
| 0,2550 | Turbidez (NTU) | 3,42 | 100 |
| 0,1113 | Sólidos Totais Dissolvidos (g/l) | 1,77 | 500 |
| 0,1113 | Condutividade (mS/cm) | 3,52 | - |

Fonte: Autora (2022)

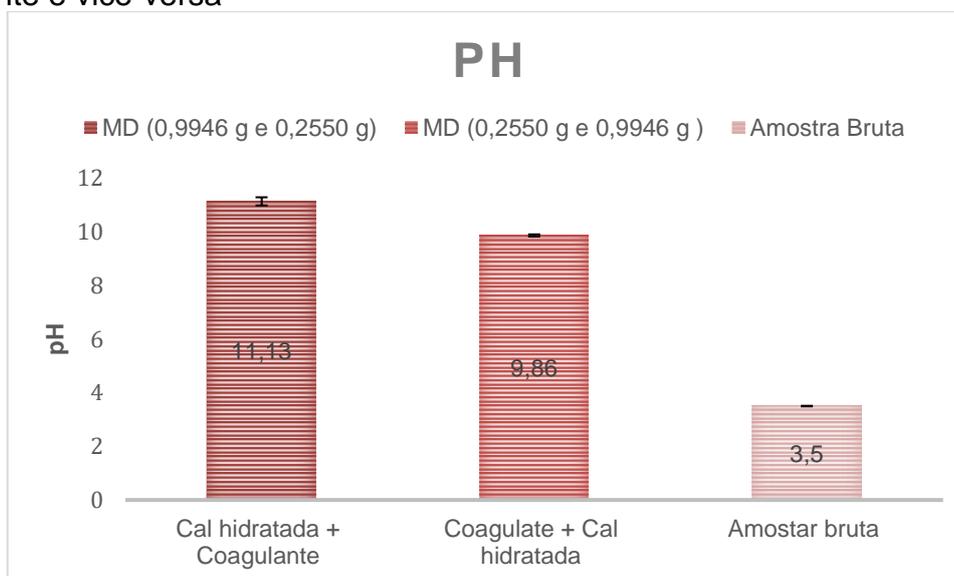
O valor de pH utilizando o coagulante orgânico como tratamento não obteve um resultado que ficasse nos padrões de lançamento da Resolução CONAMA 430-357/05. Em contra ponto os demais parâmetros ficaram no padrão de lançamento.

4.8 DESEMPENHO DA CAL HIDRATADA SEGUIDA DE COAGULANTE ORGÂNICO E VICE-VERSA

4.8.1 Potencial hidrogeniônico

Os resultados encontrados a partir da adição de cal hidratada mais coagulante e de coagulante mais cal hidratada estão apresentados na Figura 20.

Figura 20: Resultados de pH, após o tratamento com Cal Hidratada mais coagulante e vice-versa



Fonte: Autora (2022)

A amostra bruta da DAM teve um resultado de pH de $3,5 \pm 0,01$.

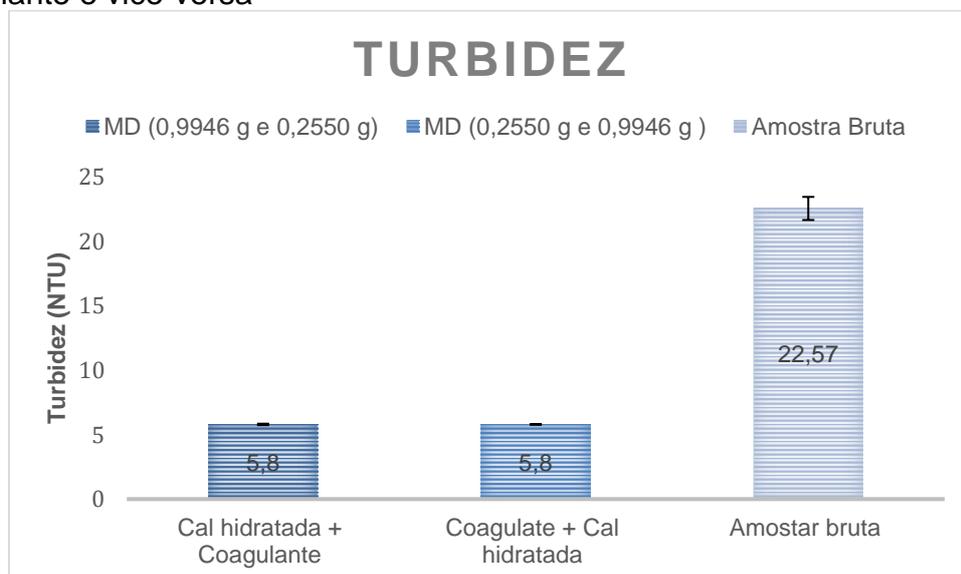
Constatou-se que o uso da melhor dosagem da cal hidratada mais coagulante orgânico nessa respectiva ordem, conseguiu elevar o valor de pH 218%, tendo um valor de pH de $11,13 \pm 0,15$. O que passa da faixa permitida para o lançamento segundo a Resolução CONAMA 430- 357/05. Já o uso da melhor dosagem de coagulante orgânico mais a cal hidratada, obteve um resultado de pH de $9,86 \pm 0,04$. O que podemos considerar mais próximo do exigido pela Resolução CONAMA 430-357/05 que é de 5 a 9. Observa-se que o uso da cal hidratada mais coagulante obteve um melhor valor de pH quando comparado com o uso do coagulante mais cal hidratada.

Nas seguintes literaturas Santos (2020), Horn (2015), Arcer (2012), Ferreira; Silva (2015), Farfan (2004), Gusmão (2014), Nepomuceno *et al* (2018), Ferreiro *el at* (2017), Segredo (2014), não foram encontrados resultados usando cal hidratada mais coagulante para que ocorresse uma comparação com os resultados obtidos na Figura 19.

4.8.2 Turbidez

A Figura 21 mostra os valores encontrados de turbidez da amostra bruta, assim como os resultados após o tratamento da mesma com a cal hidratada mais coagulante e coagulante mais cal hidratada.

Figura 21: Resultados de turbidez, após o tratamento com Cal Hidratada mais coagulante e vice-versa



Fonte: Autora (2022)

O uso das melhores dosagens de cal hidratada mais coagulante e coagulante mais cal hidratada tiveram uma mesma diminuição de 74,30% quando comparados a amostra bruta. Já os valores encontrados foram de $5,8 \text{ NTU} \pm 0,05$ e $5,8 \text{ NTU} \pm 0,005$. Observa-se que não fez diferença a ordem do uso da cal hidratada e coagulante.

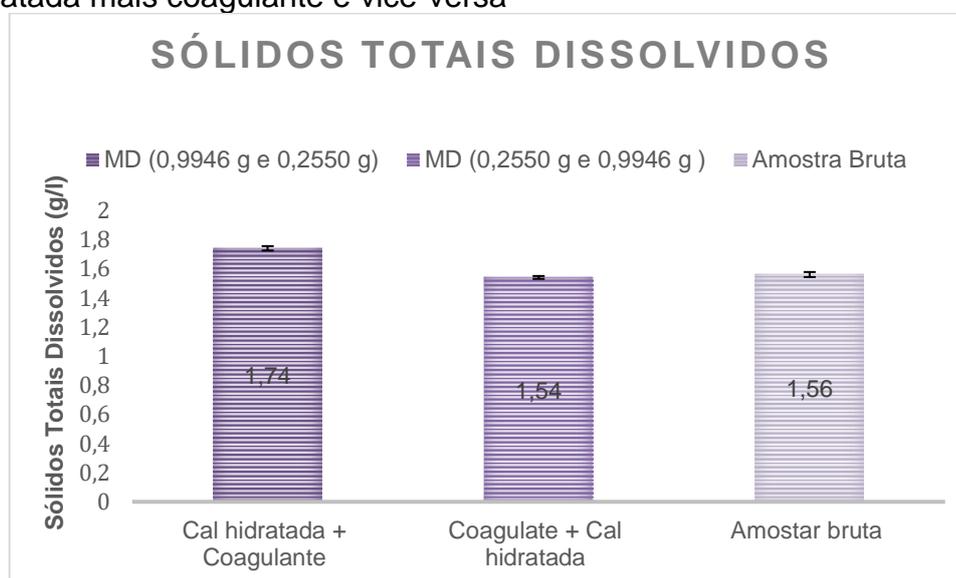
Os resultados encontrados na Figura 20 ficaram no padrão de lançamento segundo a Resolução CONAMA 430- 357/05, que para turbidez é de até 100 NTU.

Nos trabalhos de Santos (2020), Horn (2015), Arcer (2012), Farfan (2004), Gusmão (2014), Nepomuceno *et al* (2018), Ferreira *et al* (2017), Segredo (2014), não encontrou-se resultados de turbidez para que ocorresse a comparação do usando cal hidratada mais coagulante e coagulante mais cal hidratada.

4.8.3 Sólidos Totais Dissolvidos

Os resultados de sólidos totais dissolvidos usando a cal hidratada mais coagulante e coagulante mais cal hidratada estão apresentados na Figura 22.

Figura 22: Resultados de sólidos totais dissolvidos, após o tratamento com Cal Hidratada mais coagulante e vice-versa



Fonte: Autora (2022)

Os resultados utilizando as melhores dosagem de cal hidratada mais coagulante tiveram um aumento do valor dos sólidos totais dissolvidos de 11,54%, sendo esse valor de $1,74 \text{ g/l} \pm 0,015$. Já o uso de coagulante mais a cal hidratada o valor dos sólidos toais diminuiram 1,28%, quando comparados com a amostra bruta, ficando $1,54 \text{ g/l} \pm 0,01$.

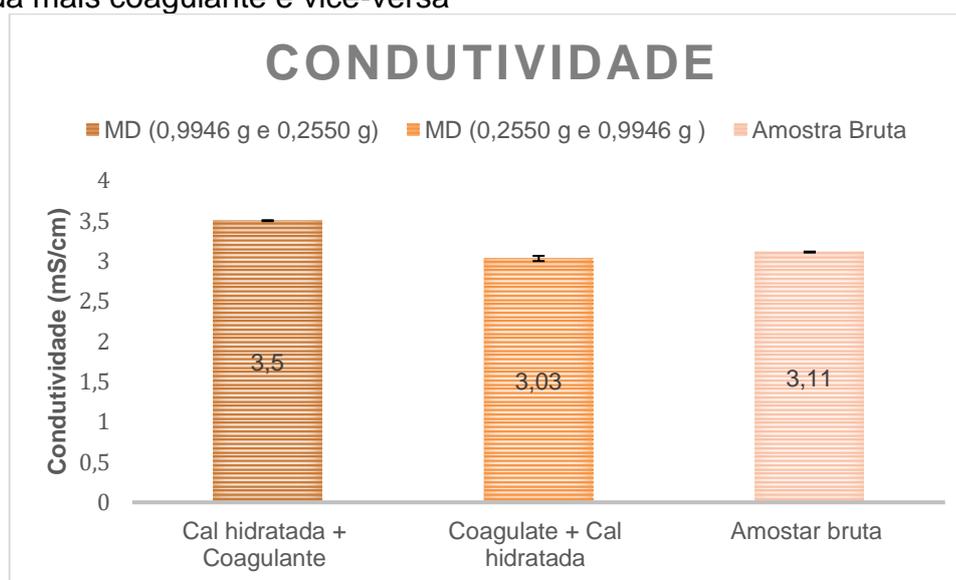
Não foram encontrados resultados para que ocorresse comparação com os valores obtidos no presente trabalho nas seguintes literaturas Farfan (2004), Gusmão (2014), Nepomuceno *et al* (2018), Ferreira *et al* (2017), Segredo (2014), Santos (2020), Horn (2015), Arcer (2012).

Os resultados encontrados para sólidos totais dissolvidos estão conforme a Resolução CONAMA 430- 357/05 sendo de até 500 g/l.

4.8.4 Condutividade

A figura 23 mostra os valores encontrados de condutividade da amostra bruta, assim como os resultados após o tratamento da mesma com a cal hidratada mais coagulante e vice-versa.

Figura 23: Resultados de condutividade, após o tratamento com Cal Hidratada mais coagulante e vice-versa



Fonte: Autora (2022)

O tratamento com a melhor dosagem de cal hidratada mais coagulante teve resultado de 3,5 mS/cm \pm 0,0058. Tendo um aumento de 12,54%. Com o uso do coagulante mais cal hidratada ocorreu uma diminuição de 2,57%, ficando com um valor de 3,03 \pm 0,032. Observa-se que o uso de coagulante mais cal hidratada teve um melhor resultado quando comparado ao uso da cal mais coagulante.

Segundo a Resolução CONAMA 430- 357/05 não há um valor para que ocorra o lançamento da drenagem ácida de minas com relação ao parâmetro de condutividade.

Em Santos (2020), Horn (2015), Arcer (2012), Farfan (2004), Gusmão (2014), Nepomuceno *et al* (2018), Ferreira *et al* (2017), Segredo (2014), tais autores não trabalharam com o uso de cal hidratada mais coagulante orgânicos para reduzir o parâmetro de condutividade.

4.8.5 Melhor dosagens com uso de cal hidratada seguida de coagulante orgânico e vice-versa

A Tabela 8 apresenta os melhores resultados entre o uso de cal hidratada mais coagulante orgânico e vice-versa, seguindo a Resolução CONAMA 430- 357/05.

Tabela 8: Melhores resultados para cal hidratada seguida de coagulante e vice-versa orgânico seguindo o CONAMA

| Ordem dos reagentes | Parâmetro | Valor encontrado | CONAMA 430-357/05 |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Coagulante + cal hidratada | pH | 9,8 | 5-9 |
| Coagulante + cal hidratada | Turbidez (NTU) | 5,8 | 100 |
| Coagulante + cal hidratada | Sólidos Totais Dissolvidos (g/l) | 1,54 | 500 |
| Coagulante + cal hidratada | Condutividade (mS/cm) | 3,08 | - |

Fonte: Autora (2022)

É possível notar pela Tabela 8 que os melhores resultados encontrados foram usando a ordem de coagulante orgânico seguido de cal hidratada. Sendo o parâmetro de pH o único que não ficou nos padrões de lançamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas após o tratamento da drenagem ácida de minas, com relação ao parâmetro de pH, observaram-se que o uso da cal hidratada obteve resultados satisfatórios, utilizando as dosagens de 0,7699 g, 0,9946 g conseguindo elevar o pH de ácido para um alcalino, assim ficando nos parâmetros de lançamento da Resolução CONAMA 430- 357/05. A dosagem de 1,5108 g obteve um pH alcalino, porém, não se encaixa nos parâmetros de lançamento. O uso do coagulante orgânico, fez com que a DAM se tornasse mais ácida, quando comparada a amostra bruta. Observou-se que o uso da cal hidratada mais o coagulante elevou o pH 218% quando comparado com a amostra bruta, já o uso da coagulante orgânico mais cal hidratada teve um aumento de 181,7%, sendo assim o uso do coagulante mais cal hidratada teve um melhor desempenho, pois o valor de pH ficou mais próximo ao exigido pela Resolução CONAMA 430- 357/05.

O uso da cal hidratada para reduzir a turbidez obteve resultados satisfatórios, conseguindo reduzir tal parâmetro em 49,93%, 18,03% e 65,44%, para as respectivas dosagens de 0,7699 g, 0,9946 g e 1,5108 g. O uso do coagulante orgânico se mostrou mais eficiente do que a cal hidratada, obtendo resultados de redução de 58,35% para primeira dosagem (D1), 84,94% para segunda dosagem (D2) e 64,99% para terceira dosagem (D3). O uso de cal hidratada mais coagulante e vice-versa tiveram o mesmo valor de redução sendo ele 74,30%, o que se observa que entre todos os tratamentos foi o mais eficiente, tendo uma maior redução.

Os sólidos totais dissolvidos, quando tratados com a cal hidratada, coagulante orgânico e o uso dos dois juntos, não obtiveram uma grande variação, quando comparados à amostra bruta.

A condutividade quando tratada com a cal hidratada obteve reduções com as dosagens de 0,7699 g e 0,9946 g, já a com a dosagem de 1,5108 g ocorreu um aumento. O uso do coagulante orgânico não obteve resultados satisfatórios, pois ocorreu um aumento dos valores de condutividade. A cal hidratada mais coagulante obteve uma aumentos do valor da condutividade de 12,54%, já o uso do coagulante orgânico mais a cal hidratada teve uma diminuição de 2,57%, a partir disso constata se que a uma diferença quando usada em ordens diferentes os agentes neutralização/precipitação.

O coagulante orgânico utilizado no presente trabalho, apesar de não obter um efeito positivo no aumento do pH, seria interessante que ocorresse um estudo mais

aprofundado com relação a uso do mesmo em drenagem ácida de minas, devido os efeitos sinérgicos que se observou.

Para trabalhos futuros, a sugestão é:

- 1- Testadas outras dosagens de cal hidratada e coagulante orgânico (Tanfloc);
- 2- Analisar os metais presentes na drenagem ácida de minas;
- 3- Avaliar o seu comportamento verificando suas reduções com o uso de tais agentes precipitantes.

REFERÊNCIAS

ARCE, I. **Obtenção de um coagulante férrico por precipitação seletiva a partir da drenagem ácida de minas da mineração de carvão.** 2012. Trabalho de Diplomação em Engenharia química. (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/110102>. Acesso em 12 jun. 2021.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 29. fev. 2022.

BORMA, L. S.; SOARES, P. S. M. **Drenagem ácida e gestão de resíduos sólidos de mineração.** In: **Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente.** Cap.10. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p.253-276.

CRUZ, João G. H. **Alternativas para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial.** 2004. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DUARTE. A. H.; LADEIRA. Q. C. A.; MELLO. V. W. J. **Origem e controle do fenômeno drenagem ácida de mina.** Caderno Temático de Química Nova na Escola, n. 8, p. 24-29, 2014. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/08/06-CTN4.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2021.

ESTUDO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS. **HidroGe.** Disponível em: <https://tecnoblog.net/247956/referencia-site-abnt-artigos/>. Acesso em: 10 set. 2021.

FARFAN, J. R. J. Z.; FILHO, O. B.; SOUZA, V. P. **Avaliação do potencial de drenagem ácida de rejeitos da indústria mineral.** CETEM/ MCT, 2004.

FERREIRA. L. R.; SILVA. M. L. Impacto ambiental pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 6, n. 4, p. 55-71, 2015. Disponível em: <https://www.cadernosuninter.com/index.php/meioAmbiente/article/view/461>. Acesso em: 10 Ago. 2021.

FERRIRO. B. W; *et al.* **Estudo da alcalinidade total e pH de coagulação após ensaio de tratabilidade realizados com coagulantes de natureza orgânica e inorgânica.** 2017. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/I-348.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2022.

FOSSATI, J. **Caracterização físico-química e comparativa de drenagem ácida (DAM) gerada em laboratório e naturalmente formada em áreas de mineração de carvão.** Disponível em : https://www.ufrgs.br/rede-carvao/Sess%C3%B5es_C1_C2_C3/C1_ARTIGO_01.pdf. Acesso em: 19 fev. 2022.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 90. 2011.

GONÇALVES, V, L. **Qualidade da água em lagoas de mineração- estudo de caso: Águas Claras e Riacho dos Machado**. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1048M.PDF>. Acesso em: 25 jul. 2021.

GUSMÃO, A.L.S. **Uso de Taninos no tratamento de água para abastecimento**. dissertação de engenharia química - Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre: [s.n.], 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/109719/000950670.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 20 fev. 2022.

HORN, M. **Remoção de material da drenagem ácida de minas por precipitação química por troca iônica com zeólita NaP1**. 2015. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas Metalúrgica e de materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestrado em Engenharia, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/130089>. Acesso em: 10 jun. 2021.

KNEVITZ, L. **Avaliação da eficiência de remoção de turbidez de um sistema de clarificação**. 2017. Trabalho de Diplomação em Engenharia química. (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/165251/001045367.pdf?sequenc>. Acesso em 12 Ago. 2021.

KONTOPOULOS, A. Acid Mine Drainage Control. In: CASTRO, S.H. et alii. (Eds.). Effluent Treatment in the Mining Industry Chile: University of Concepción, p.57-118, 1998.

KOPEZINSKI, I. Mineração x Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais Impactos Ambientais e seus Processos Modificadores, Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 103 p., 2000.

LEMOS, L. **Tratamento de drenagem ácida de minas**. 2015. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas Minas Gerais, Poços de Caldas, 2015. Disponível em: https://www.unifal-mg.edu.br/engenhariaquimica/system/files/imce/TCC_2015_2/TCC%20-%20Luis%20Lemos.pdf. Acesso em: 10 jun. 2021.

LOPPES, V, B. **Eficiência de coagulante na remoção de diferentes concentrações de ferro e manganês para ATA Terras Baixas**. 2014. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitarista) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/esa/files/2014/10/TCC-BRUNO-LOPES.pdf>. Acesso em: 10 Ago. 2021.

MARTINS, A. A.; OLIVEIRA, R. M. S.; GUARDA, E. A. **Potencial de uso de compostos orgânicos como, coagulantes, floculantes e adsorventes no tratamento de água e efluentes.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, 10, 2014.

MONTEIRO, K. V. (Org.). **Carvão: o combustível de ontem.** Porto Alegre: Núcleo Amigos da Terra Brasil, 2004. 80p.

NEPOMUCENO, T. C. *et al.* **Aplicabilidade de coagulantes a base de tanino em estações de tratamento de água.** [s.l.]: Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.9, n.7, p.110-123, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0011>. Acesso em: 22 fev. 2022.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás.** Trabalho de Conclusão de Curso. Goiânia, 2015.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água.** Embrapa Florestas. Colombo, PR, 2011.

PESSUTO, B. M; *et al.* Atividade antioxidante de extratos e taninos condensados das folhas de *Maytenus ilicifolia* Mart. Ex Reiss. **Química Nova**, V. 32, n.2, p 412-416, 2009. Disponível em : <https://www.scielo.br/j/qn/a/5FvtbTkRJMfMCH88xS3959x/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 21 fev. 2022.

POSSA, M. V.; SANTOS, M. D. C. **Tratamento de drenagem ácida de mina por processo de neutralização controlada.** Seminário Brasil - Canadá de Recuperação Ambiental de Áreas Mineradas, Florianópolis, 2003.

PHILIPPI, V. **Microalgas de drenagem ácida de minas de carvão de Santa Catarina – Brasil: levantamento florístico e parâmetros ecofisiológicos de uma cepa isolada de *Chlmydomonas* sp.** 2014. Dissertação (Pós-Graduação em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina. Mestrado em Biologia vegetal, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/129099>. Acesso em: 25 jun. 2021

SANTOS, K. **Tratamento de drenagem ácida de minas por neutralização/precipitação-efeito do pH, agente neutralizante e tratamento complementar por biossorção com microalgas.** 2020. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestrado em tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/212987>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SEGREDO, A. **Proposta de um sistema passivo para o tratamento da drenagem ácida de mina gerada no depósito de rejeito de Capão da Roça, Charqueadas/RS-Copelmi Mineração LTDA.** 2014. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestrado em Engenharia, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/143599> . Acesso em: 25 fev. 2022.

TEIXEIRA, M. R.; CAMACHO, F. P.; SOUSA, V. S.; BERGAMASCO, R. Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products. *Journal of Cleaner Production*, v. 162, 484, 2017.

TREVISAN, T. **Coagulação tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulante químicos no tratamento de água na ATA cafezal.** 2014. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação Engenharia ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2610/1/LD_COEAM_2013_2_23.pdf. Acesso em: 24 Ago. 2021.

APÊNDICE

ARTIGO

Neste capítulo será descrita a metodologia do presente trabalho de conclusão de curso a qual consiste em expor tanto a metodologia utilizada na obtenção de dados experimentais quanto à interpretação e discussão dos resultados na forma de um artigo científico.

COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO pH E OUTROS PARÂMETROS EM DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS (DAM) MEDIANTE O USO DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$ E COAGULANTE ORGÂNICO

Rafaela Ferreira Souza

UNIPAMPA, Brasil

E-mail: rafaelasouza.aluno@unipampa.edu.br

Maria Alejandra Liendo

UNIPAMPA, Brasil

E-mail: marialiendo@unipampa.edu.br

Regis Sebben Paranhos

UNIPAMPA, Brasil

E-mail: regisparanhos@unipampa.edu.br

Resumo

Os sistemas ativos de tratamento como a neutralização/precipitação estão sendo utilizados como alternativa para resolver esse problema. Desta forma o presente trabalho teve como objetivo o tratamento da DAM, em escala de bancada, onde foram utilizados os processos de neutralização/precipitação, assim foram feitas as correções do pH. Para isso, foram coletadas amostras da DAM, na cidade de Candiota no estado do Rio Grande do Sul, em uma mineradora da região, sendo tais amostras coletadas da mina a céu aberto. Foram avaliados aspectos físico-químicos como condutividade, sólidos totais dissolvidos, pH e turbidez. Os agentes empregados no processo foram a cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$, como agentes alcalinizantes, e como precipitante um coagulante orgânico. Para o parâmetro do pH usando a Cal hidratada, a melhor dosagem utilizada foi 0,9946 g, tal dosagem elevou o pH para 7,5 o que o faz ficar dentro da faixa de lançamento do efluente na natureza. O uso da melhor dosagem do coagulante orgânico mais a cal hidratada teve um valor de pH de 9,86. Para os sólidos totais dissolvidos, observou-se que o uso de cal hidratada e

coagulante orgânico e o uso dos dois juntos, não obtiveram uma diferença significativa nos resultados. O parâmetro de condutividade teve uma diminuição de 2,57% com o uso de coagulante orgânico. O valor de turbidez diminuiu como o uso das três dosagens da cal hidratada, sendo o melhor resultado obtido de 7,8 NTU. A dosagem de 0,2550 g do coagulante teve uma redução de 84,94% da condutividade, ficando com 3,4 NTU. O uso de cal hidratada mais coagulante orgânico e coagulante orgânico mais cal hidratada, obtiveram os mesmos resultados para condutividade sendo ele de 5,8 NTU.

1 INTRODUÇÃO

Os rejeitos provenientes de mineração de carvão ocasionam grandes impactos no ambiente, seja com a deposição em lugares não adequados, seja com a contaminação dos lençóis freáticos (ARCER, 2012).

Tais rejeitos da mineração de carvão contém uma elevada concentração de pirita (FeS_2). Quando descartados indevidamente causam a drenagem ácida de minas (DAM), que se forma da oxidação dos minerais sulfetados, no momento em que entram em contato com o ar, água e por bactérias, que aceleram o processo da oxidação. Caracteriza-se a DAM por possuir um grande teor de sulfetos, e por ter um baixo valor de pH (FARFAN *et al*, 2004).

Para o tratamento da DAM utiliza-se principalmente a cal hidratada e hidróxido de sódio que realizam o processo de tratamento por neutralização. Tais reagentes são usados como alcalinizantes, desse modo ocorrerá a precipitação de metais dissolvidos, elevando o pH para valores acima de 6 na DAM (ARCER, 2012). O tratamento por neutralização tem uma alta eficiência, assim atendendo grande parte dos padrões exigidos pela legislação CONAMA 430- 357/05 (HORN, 2015).

Por outro lado, os coagulantes podem ser inorgânicos ou orgânicos. Os coagulantes inorgânicos mais usados são os de alumínio e sais férricos. Estes inorgânicos são aplicados em grande quantidade, para o tratamento de água potável e residual. Além disso, têm alta eficiência na remoção da turbidez. Porém, mesmo com uma elevada eficiência, podem vir a causar problemas à saúde e ao meio ambiente, devido ao acréscimo de alumínio e ferro na água. (MARTINS; OLIVEIRA; GUARDA, 2014)

Atualmente estão surgindo caminhos alternativos que podem ajudar no tratamento da DAM, como o uso de coagulantes naturais (orgânicos). Os coagulantes orgânicos apresentam vantagens em relação aos inorgânicos, como ter uma elevada

disponibilidade de sua matéria prima, reduzida quantidade de lodo gerado, não ser necessário adição de metais no lodo e nem no efluente (TEIXEIRA *et al.* 2017).

Devido ao grande risco que a DAM causa ao ambiente, o presente trabalho visou avaliar parâmetros da amostra de drenagem ácida de minas (DAM) mediante o tratamento por neutralização/precipitação. Realizou-se a caracterização da amostra bruta da DAM com relação aos seguintes parâmetros: condutividade, sólidos totais dissolvidos, pH e turbidez. O presente trabalho propôs três concentrações de cal hidratada e coagulante orgânico para que ocorresse a neutralização/precipitação, tendo como parâmetros analisados: pH, turbidez, condutividade e sólidos totais dissolvidos mediante o uso de *Jar Test*. Ocorreu o uso da melhor dosagem de cal hidratada e coagulante para o tratamento da DAM.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão apresentados os materiais e métodos utilizados no presente estudo, utilizando como amostra a drenagem ácida de minas proveniente do município de Candiota/RS.

2.1 Local da Coleta

A coleta foi realizada no município de Candiota/RS, no mês de dezembro de 2021, em uma empresa mineradora, situada no bairro de Dario Lassance. A mina na qual foi coletada a amostra é dos anos 80, estando desativada atualmente. Mesmo assim, tal mina continua gerando a DAM. A coleta ocorreu em um ponto próximo a mina, tal ponto fica situado entre a mata como mostra a Figura 1.

Figura 1: Ponto onde foram coletadas as amostras da DAM



Fonte: Autora (2022)

2.2 Reagentes e Equipamentos

Para a realização das análises foram utilizados os seguintes reagentes: cal hidratado (tipo CHII especial), tal reagente é de uma indústria local, coagulante orgânico (Tanfloc – SG) da marca TANAC.

Para realizar as análises físico-química e a neutralização/precipitação, foram utilizados os equipamentos disponíveis no laboratório de Engenharia Química na Unipampa. Sendo eles: pHmetro da marca Methrom modelo 827 pH; medidor de turbidez da marca Del Lab modelo DLT-WV; Medidor de condutividade elétrica da marca Hanna Instruments modelo HI9835; Medidor de Sólidos dissolvidos totais da marca Hanna Instruments modelo HI9835; Jar-Test da marca ECO educacional; Balança analítica da marca Shimadzu modelo AUY 22.

2.3 Métodos

A seguir será descrito o procedimento adotado na realização da caracterização de drenagem ácida de minas, o tratamento pelo método de precipitação/neutralização. Foram divididos em quatro etapas a metodologia.

Na primeira etapa os parâmetros analisados na DAM foram inicialmente o pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade, sendo estes realizados pelos equipamentos citados anteriormente. As primeiras caracterizações foram realizadas na amostra bruta, isto é, a amostra a qual não foram adicionados os reagentes (cal hidratada e coagulante).

Na segunda etapa foram realizados ensaios em escala de bancada baseados no método de neutralização/precipitação. Utilizando o equipamento Jar-teste, sendo adicionado a cal hidratada como agente alcalinizante. Onde as amostras da DAM foram colocadas em três pequenos jarros de 500ml, sendo adicionadas em cada um, uma concentração diferente de $Ca(OH)_2$. Após essa adição ocorreu a mistura da DAM com o reagente $Ca(OH)_2$. Logo após foi interrompida a agitação e após o tempo de sedimentação/neutralização de 7 minutos foram retiradas alíquotas do efluente tratado. Posteriormente ocorreu a caracterização das alíquotas, após esta etapa foi escolhida a dosagem que obtive um melhor valor de pH seguindo Resolução CONAMA 430- 357/05 e turbidez.

Na terceira etapa, da metodologia proposta, foram adicionadas três concentrações diferentes do coagulante orgânico, o procedimento ocorreu da mesma

forma que o descrito anteriormente, sendo a última a realização da medição dos parâmetros de pH seguindo Resolução CONAMA 430- 357/05 e turbidez.

Na quarta etapa, foram utilizadas as amostras que apresentaram uma melhor concentração de cal hidratada e coagulante. Sendo que estas colocadas no Jar-teste, onde primeiro foi colocada, em sequência primeiro a cal hidratada e posteriormente o coagulante, tal etapa foi feita em triplicata. Finalmente realizou-se a caracterização dessa amostra em relação aos parâmetros de pH e turbidez.

2.3.1 Planejamento dos ensaios

Para realização os ensaios, foram realizados teste em laboratório para que ocorresse a escolha de três concentrações diferentes de cal hidratada e coagulante orgânico, após esses testes as concentrações escolhidas estão mostradas na Tabela 4. Foram realizados um total de vinte e cinco ensaios, sendo todos realizados em triplicatas.

A tabela 1 apresenta de forma mais detalhada o planejamento de como ocorreu a realização dos ensaios.

Tabela 1: Ensaios realizados.

| Ensaios | Cal hidratada (g) | Coagulante (g) | Cal hidratada + Coagulante (g) | Coagulante + Cal Hidratada (g) |
|---------|----------------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 0,7699 | - | - | - |
| 2 | 0,7699 | - | - | - |
| 3 | 0,7699 | - | - | - |
| 4 | 0,9946 | - | - | - |
| 5 | 0,9946 | - | - | - |
| 6 | 0,9946 | - | - | - |
| 7 | 1,5108 | - | - | - |
| 8 | 1,5108 | - | - | - |
| 9 | 1,5108 | - | - | - |
| 10 | - | 0,7699 | - | - |
| 11 | - | 0,7699 | - | - |
| 12 | - | 0,7699 | - | - |
| 13 | - | 0,9946 | - | - |
| 14 | - | 0,9946 | - | - |
| 15 | - | 0,9946 | - | - |
| 16 | - | 1,5108 | - | - |
| 17 | - | 1,5108 | - | - |
| 18 | - | 1,5108 | - | - |
| 19 | - | - | 0,9946-0,2250 | - |
| 21 | - | - | 0,9946-0,2250 | - |
| 22 | - | - | 0,9946-0,2250 | - |
| 23 | - | - | - | 0,2250-0,9946 |
| 24 | - | - | - | 0,2250-0,9946 |
| 25 | - | - | - | 0,2250-0,9946 |

Fonte: Autora (2022)

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo foram apresentados os resultados obtidos para as análises do presente trabalho.

A tabela 2 apresenta os resultados da caracterização da drenagem ácida de minas e os valores máximos permitidos para lançamento da mesma conforme a Resolução CONAMA 430- 357/05. Observa-se que o valor de pH é inferior ao exigido para o lançamento da mesma. Os parâmetros de turbidez, sólidos totais dissolvidos e condutividade da amostra bruta estão no padrão exigido pela Resolução CONAMA 430- 357/05.

Tabela 2: Caracterização da amostra bruta da DAM para lançamento em corpo d'água classe 2- Resolução Conama

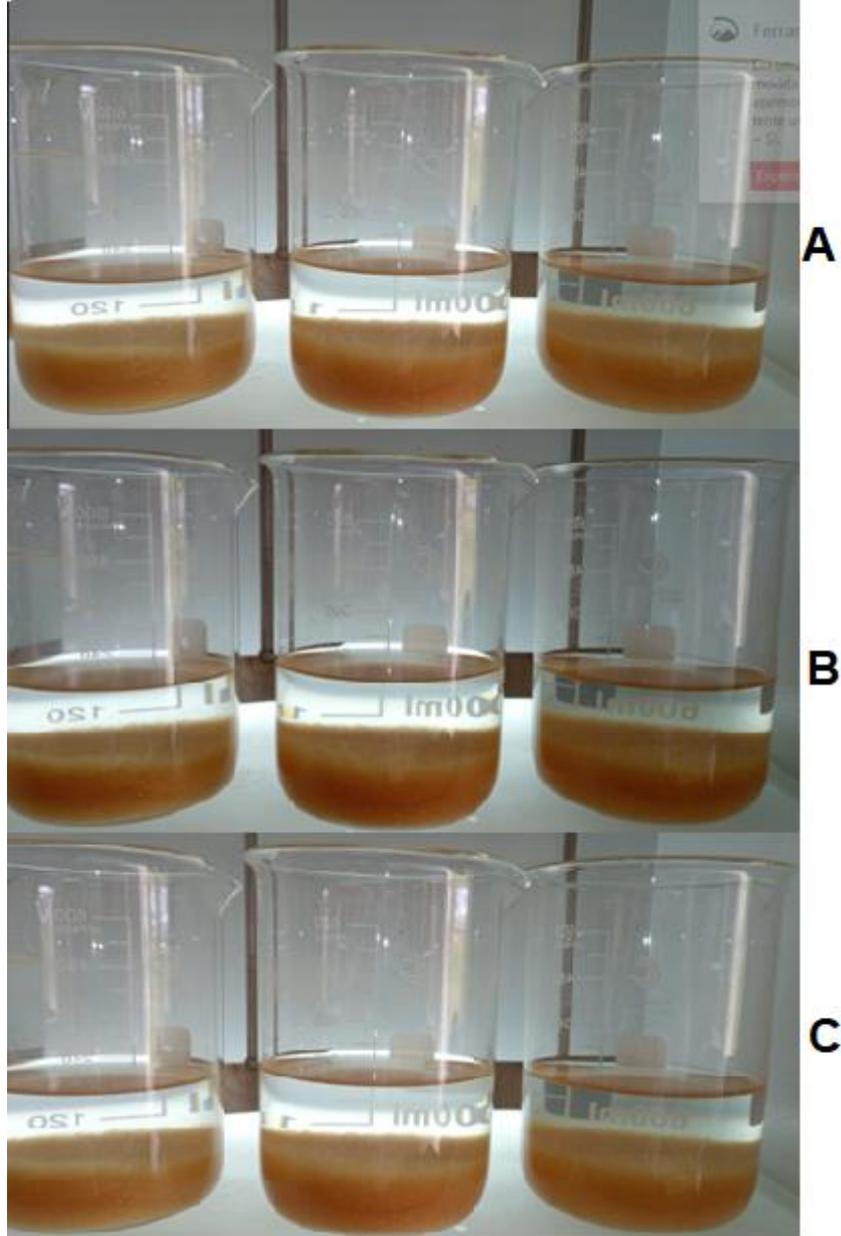
| Parâmetro | Média dos Valores encontrados | CONAMA 430-357/05 |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| pH | 3,55 | 5-9 |
| Turbidez (NTU) | 21,9 | 100 |
| Condutividade elétrica (mS/cm) | 3,11 | - |
| Sólidos totais dissolvidos (g/l) | 1,56 | 500 |

Fonte: Autora (2022)

3.1 Floculação/Decantação para diferentes dosagens da cal hidratada

A seguir será mostrada imagens da formação dos flocos após a adição de 0,7699 g (figura A), 0,9946 g (figura B), 1,5108 g (figura C) da cal hidratada em 500 ml da amostra, sendo o tempo de decantação de 7 minutos. Observa-se pela Figura 2 que não ocorreu diferença na formação dos flocos, mesmo tendo usado dosagens diferentes da cal hidratada.

Figura 2: Flocos formados após 7 minutos de decantação

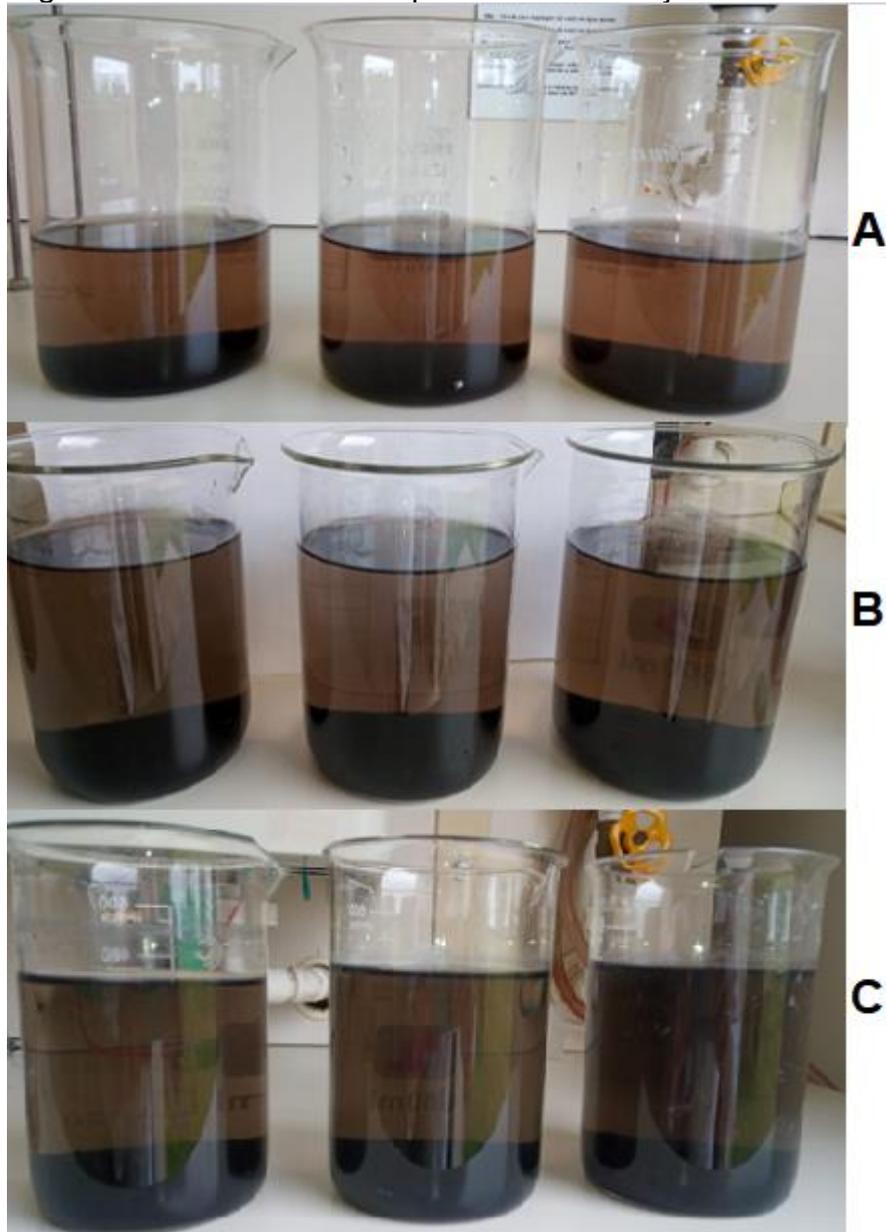


Fonte: Autora (2022)

3.2 Floculação/Decantação para diferentes dosagens de coagulante orgânico

Na Figura 3 estão demonstrados os flocos formados a partir da adição de coagulante orgânico com as dosagens de 0,1113 g (figura A), 0,2550 g (figura B), 0,5115 g (figura C) em 500 ml da amostra, tendo como tempo de decantação de 1 hora. É possível visualizar pela Figura 8 que os flocos apresentaram uma coloração mais escura quando comparados ao da Figura 2, que apresentou uma coloração de marrom claro.

Figura 3: Flocos formados após 1 de decantação



Fonte: Autora (2022)

3.3 Floculação/Decantação a partir da adição de cal hidratada seguida de coagulante orgânico

A seguir será mostrada a imagem da formação dos flocos após a adição de 0,9946 g de cal hidratada e 0,2550 g do coagulante orgânico em 500 ml da amostra, sendo o tempo de decantação de 1 hora. Observa-se na Figura 4 que o uso de cal hidratada mais coagulante a cor ficou um pouco mais avermelhada quando comparada a Figura 5.

Figura 4: Formação dos flocos com melhor dosagem de cal hidratada mais coagulante



Fonte: Autora (2022)

3.4 Floculação/Decantação a partir da adição de coagulante orgânico mais cal hidratada

A Figura 5 mostra a formação dos flocos após a adição de 0,2550 g do coagulante orgânico e 0,9946 g de cal hidratada em 500 ml da amostra, sendo o tempo de decantação de 1 hora. É possível visualizar na Figura 5 que foram formados uma quantidade menor de flocos quando comparados a Figura 4 que representa o uso da cal seguida do coagulante orgânico.

Figura 5: Formação dos flocos com a melhor dosagem do coagulante seguida de cal hidratada



Fonte: Autora (2022)

3.5 Amostra da DAM com o uso do coagulante antes da agitação

Quando adicionado o coagulante na amostra de drenagem ácida de minas, tal amostra ficou com uma cor escura como mostra a Figura 6. É suposto que a amostra da DAM que contém Fe^{2+} possa ter reduzido resultando na a formação de partículas de ferro elementar o qual pode ser devido à capacidade antioxidante (redutora) dos taninos (PESSUTO *et al*, 2009). Os taninos formam parte do coagulante orgânico utilizado no presente trabalho.

Figura 6: DAM com coagulante



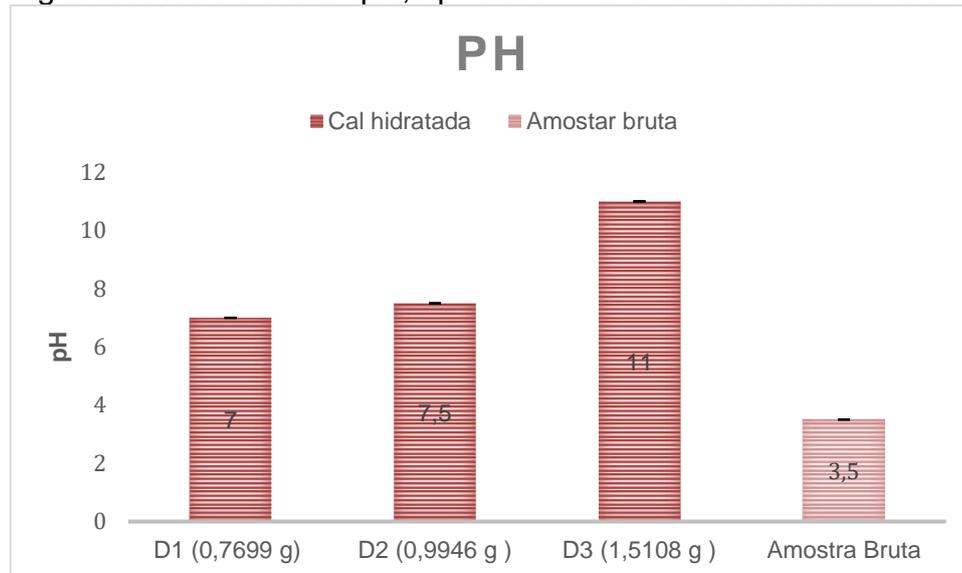
Fonte: Autora (2022)

3.6 DESEMPENHO DA CAL HIDRATADA COM RELAÇÃO OS PARÂMETROS ANALISADOS

3.6.1 Potencial hidrogeniônico

A amostra bruta da DAM teve um resultado de pH de $3,5 \pm 0,01$. Sendo considerado um valor de pH ácido segundo Santos (2020) e Horn (2015) que falam que a DAM é representada por valores de pH na faixa de 2 a 4. A Figura 7 mostra os valores encontrados de pH da amostra bruta, assim como os resultados após o tratamento da mesma com a cal hidratada.

Figura 7: Resultados de pH, após o tratamento com Cal Hidratada



Fonte: Autora (2022)

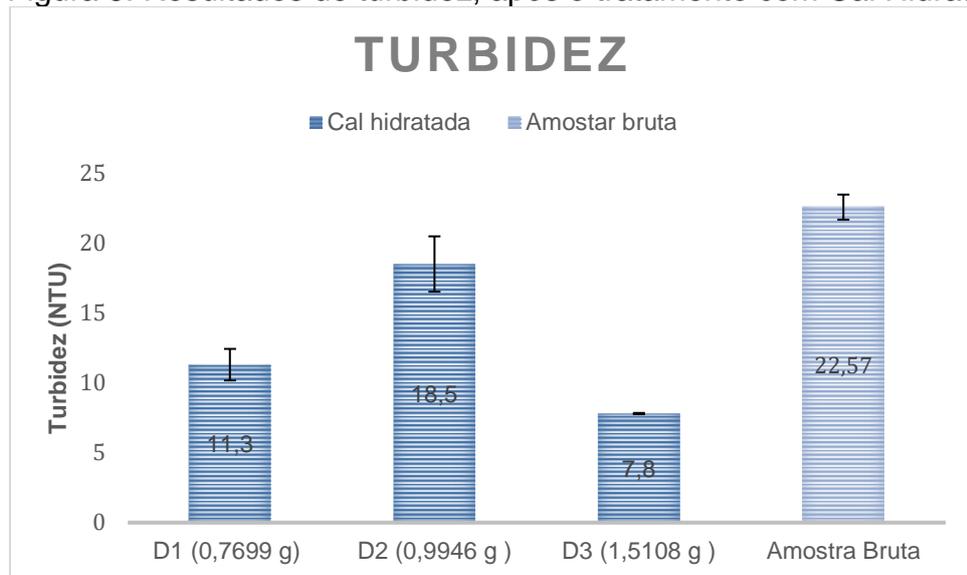
Para as dosagens D1 e D2, foram medidos valores de pH de $7 \pm 0,00$ e $7,5 \pm 0,00$. Tais dosagens elevaram o valor do pH em 100% para D1 e 114,29% para D2. Assim ficando na faixa de lançamento permitida pela Resolução CONAMA 430-357/05, que é de 5 a 9. Já quando se utilizou a D3 os resultados encontrados foi de $11 \pm 0,00$, esse pH passou dos padrões de lançamento.

Ao verificar o resultado da Figura 7 observa-se que o uso da cal hidratada elevou o pH da DAM, isso ocorre pelo fato deste agente alcalinizante se dissolver com o meio aquoso, assim formando íons hidroxila que reagem com os íons metálicos da amostra da DAM, tal fato é comprovado por Santos (2020); Horn (2015), onde em seus respectivos trabalhos utilizando cal hidratada conseguiram elevar seus pH da DAM em respectivamente 8,70 e 8.

3.6.2 Turbidez

Para o parâmetro de turbidez, a amostra bruta da DAM apresentou o resultado de $22,57 \text{ NTU} \pm 0,89$. Tal valor pode ser considerado alto quando comparado com o encontrado por FOSSATTI *et al* que é de 1,2 NTU, essa diferença pode se dar pelo tipo de mina ou até mesmo pelas condições climáticas. Observa-se na Figura 8 os resultados encontrados de turbidez para amostra bruta, assim como para amostra tratamento com a cal hidratada.

Figura 8: Resultados de turbidez, após o tratamento com Cal Hidratada



Fonte: Autora (2022)

Para a dosagem de D1 mediu-se 11,3 NTU \pm 1,13, tendo uma redução de turbidez de 49,93% quando comparada à amostra bruta.

A D2 teve uma menor redução de 18,03% da turbidez, ficando com um valor de 18,5 NTU \pm 1,98.

A dosagem D3 foi a que apresentou uma melhor remoção de turbidez ficando em 65,44%, ficando assim com um resultado de 7,8 \pm 0,05.

Os resultados encontrados após o tratamento com a cal hidratada, ficaram todos dentro dos parâmetros de lançamento, segundo a resolução CONAMA 430-357/05 que é até 100 NTU.

Em seu trabalho referente a caracterização físico-química e comparativa de drenagem ácida (DAM) gerada em laboratório e naturalmente em áreas de mineração de carvão, Fossatti *et al*, encontrou valores de Turbidez de 0,94 para gerada em laboratório e 1,2 para amostra natural, o que comparado com o valor da amostra bruta da Figura 8, observou-se que ocorreu uma diferença, mas se manteve nos parâmetros de lançamento.

Não foram encontrados resultados de turbidez para que ocorra comparação com a amostra tratada com cal hidratada nas seguintes literaturas: Santos (2020), Horn (2015), Arcer (2012), Farfan (2004).

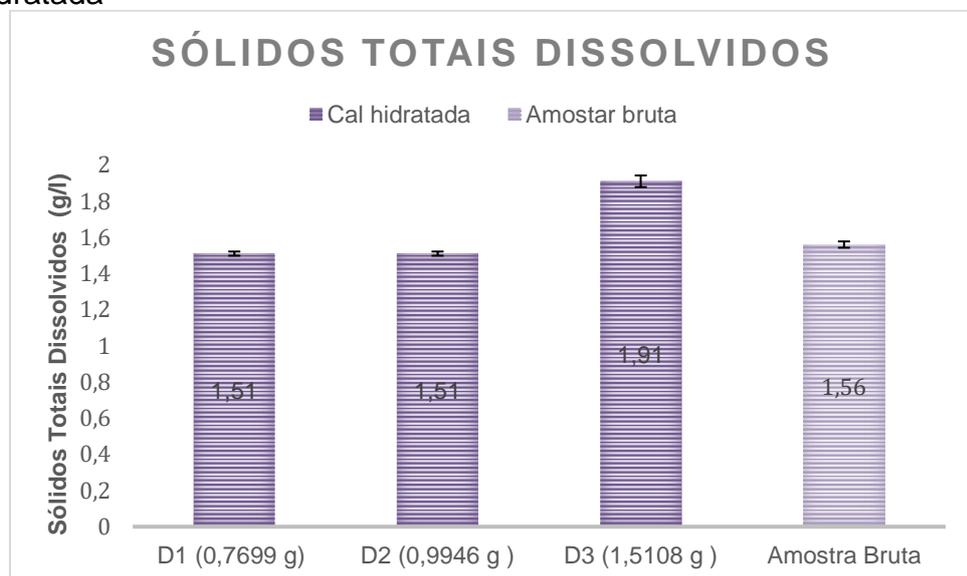
3.6.3 Sólidos Totais Dissolvidos

Os valores de sólidos totais dissolvidos são encontrados na Figura 9, tanto para a amostra bruta como tratada.

Observa-se que o valor da amostra bruta é de $1,56 \text{ g/L} \pm 0,017$.

Para as D1 e D2 os valores medidos foram os mesmos, sendo esses $1,5 \text{ g/l} \pm 0,011$. Tendo uma pequena redução de 3,21% do parâmetro de sólidos totais dissolvidos.

Figura 9: Resultados de sólidos totais dissolvidos, após o tratamento com Cal Hidratada



Fonte: Autora (2022)

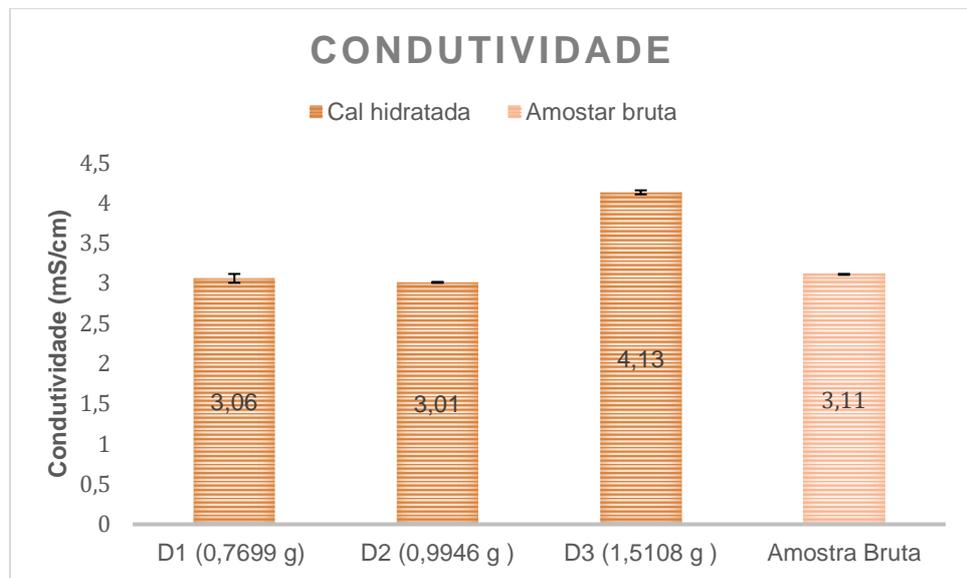
Na dosagem D3 ocorreu um aumento de 22%, ficando assim com um valor de $1,91 \text{ g/l} \pm 0,032$.

Segundo SEGREDO (2014), os valores de sólidos totais dissolvidos ficam em torno de 1,0-30 g/l, tendo esse parâmetro associados a espécies químicas como Mn e Al. Observa-se que após o tratamento com dosagens diferentes de cal hidratada tais valores ficaram entre os parâmetros de lançamento da Resolução CONAMA 430-357/05, que para sólidos totais dissolvidos é até 500 g/l.

3.6.4 Condutividade

A Figura 10 mostra os resultados encontrados de condutividade para amostra bruta e tratamento com a cal hidratada.

Figura 10: Resultados de condutividade, após o tratamento com Cal Hidratada



Fonte: Autora (2022)

Santos (2020), encontrou um resultado de 7,79 mS/cm em um pH de 2,33 para sua amostra bruta, sendo o valor entrado no presente trabalho é de 3,11 mS/cm \pm 0,0058 para um pH de 3,11, tal diferença se dá pelo valor do pH.

Para as dosagens de D1 e D2 ocorreu uma diminuição de 1,61% para D1 e 3,21% para D2. Ficando com valores de condutividade de 3,06 mS/cm \pm 0,0058 e 3,01 mS/cm \pm 0,0252. Já para a D3 ocorreu um aumento de 32,79% quando comparada com a amostra bruta. Ficando com um valor de 4,13 mS/cm \pm 0,0058.

Segundo a Resolução CONAMA 430- 357/05, não tem um valor estipulado para o lançamento da DAM com relação ao parâmetro de condutividade.

Em seu trabalho de drenagem ácida de minas por neutralização/precipitação-efeito do pH, agente neutralizante e tratamento complementar por biossorção com microalgas, Santos (2020), encontrou após o tratamento com cal hidratada um resultado de condutividade de 5,15 mS/cm. Tal autor observou que com o uso da cal hidratada como agente neutralizante, o valor da condutividade diminui. O que também se observa no presente trabalho.

3.6.5 Melhor dosagens com uso da cal hidratada

Na Tabela 3, estão representados os melhores resultados após o tratamento com cal hidratado, seguindo o Resolução CONAMA 430- 357/05.

Tabela 3: Melhores resultados para cal hidratada seguindo o CONAMA.

| Dosagem (g) | Parâmetro | Valor encontrado | CONAMA 430-357/05 |
|-------------|----------------------------------|------------------|-------------------|
| 0,9946 | pH | 7,5 | 5-9 |
| 1,5108 | Turbidez (NTU) | 7,8 | 100 |
| 0,9946 | Sólidos Totais Dissolvidos (g/l) | 1,51 | 500 |
| 0,9946 | Condutividade (mS/cm) | 3,01 | - |

Fonte: Autora (2022)

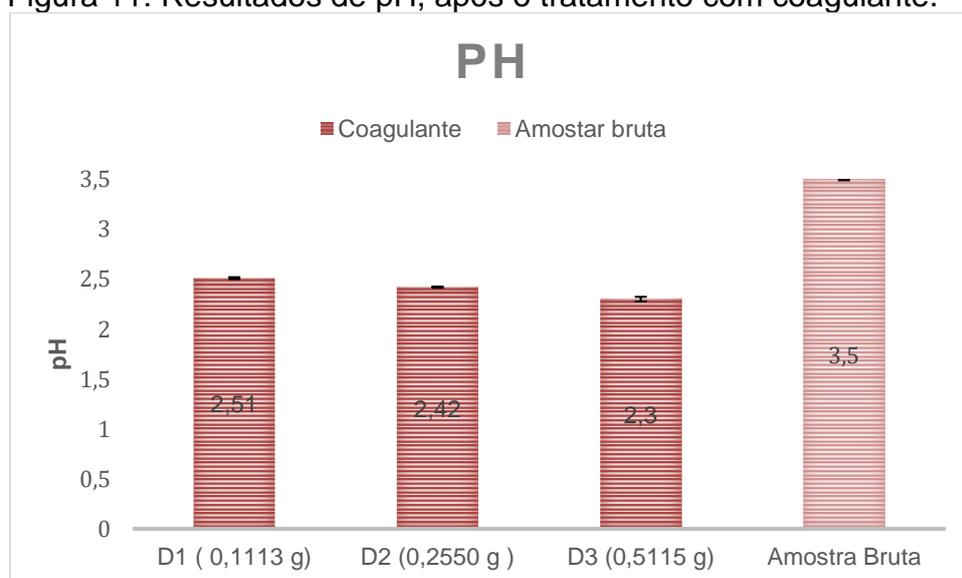
Observou-se que com o uso da cal hidratada como tratamento para drenagem ácida de minas, obteve resultados satisfatórios, tendo todos os parâmetros atendido à resolução CONAMA 430- 357/05.

3.7 DESEMPENHO DO COAGULANTE ORGÂNICO COM RELAÇÃO AOS PARÂMETROS ANALISADOS

3.7.1 Potencial hidrogeniônico

Os resultados encontrados para a o pH estão mostrados na Figura 11, para amostra bruta, assim como para tratamento da mesma com coagulante.

Figura 11: Resultados de pH, após o tratamento com coagulante.



Fonte: Autora (2022)

A amostra bruta da DAM teve um resultado de pH de $3,5 \pm 0,01$.

Para a dosagem de 0,1113 g ocorreu uma redução de 28,29% quando comparado com a amostra bruta, ficando com um valor de $2,51 \pm 0,01$.

A dosagem de 0,2550 g tem um resultado de $2,42 \pm 0,0058$. Tendo assim uma redução de 30,86 % do pH.

A dosagem que teve uma menor redução 34,29%, foi a D3, ficando com um valor de $2,3 \pm 0,023$.

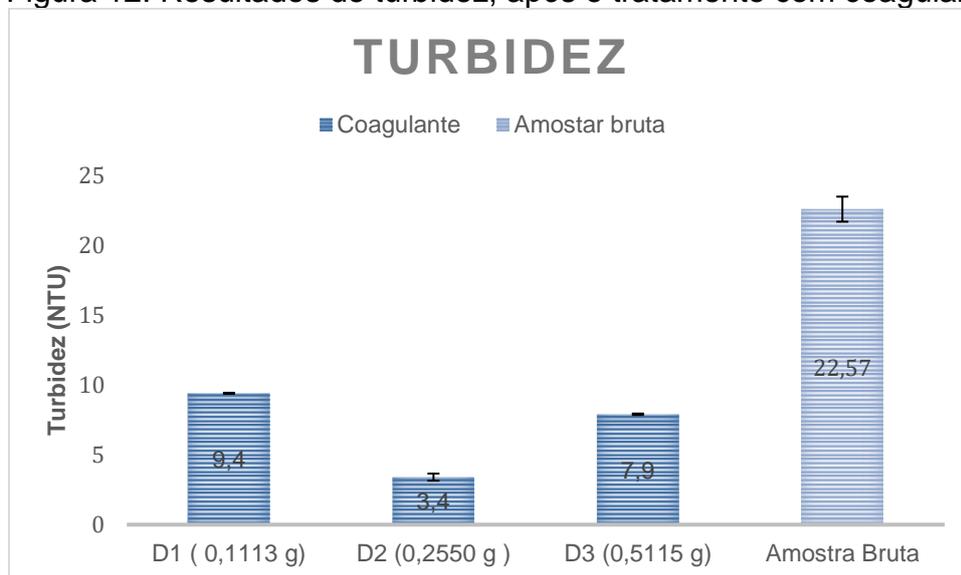
Segundo Ferreira et al (2017), o coagulante orgânico (Tanfloc) por não possuir um caráter ácido se adicionado em água, não consome a alcalinidade do meio, assim proporcionando a diminuição do pH. O que se observou nos resultados da Figura 16.

Nas literaturas a seguir de Santos (2020), Lemos (2015), Arce (2012), Horn (2015), não foram encontrados valores para que houvesse uma comparação de resultados, pois os mesmos não utilizavam tal coagulante orgânico.

3.7.2 Turbidez

A Figura 12 apresenta os valores encontrados de turbidez na amostra bruta, assim como os resultados após o tratamento da mesma com coagulante.

Figura 12: Resultados de turbidez, após o tratamento com coagulante



Fonte: Autora (2022)

Para o parâmetro de turbidez, a amostra bruta da DAM apresentou o resultado de $22,57 \text{ NTU} \pm 0,89$.

Para a dosagem de 0,1113 g ocorreu uma redução da turbidez de 58,35% e o valor encontrado é de $9,4 \text{ NTU} \pm 0,025$.

A dosagem com a melhor redução de 84,94% foi de 0,2550 g, tendo um valor de 3,4 NTU \pm 0,25.

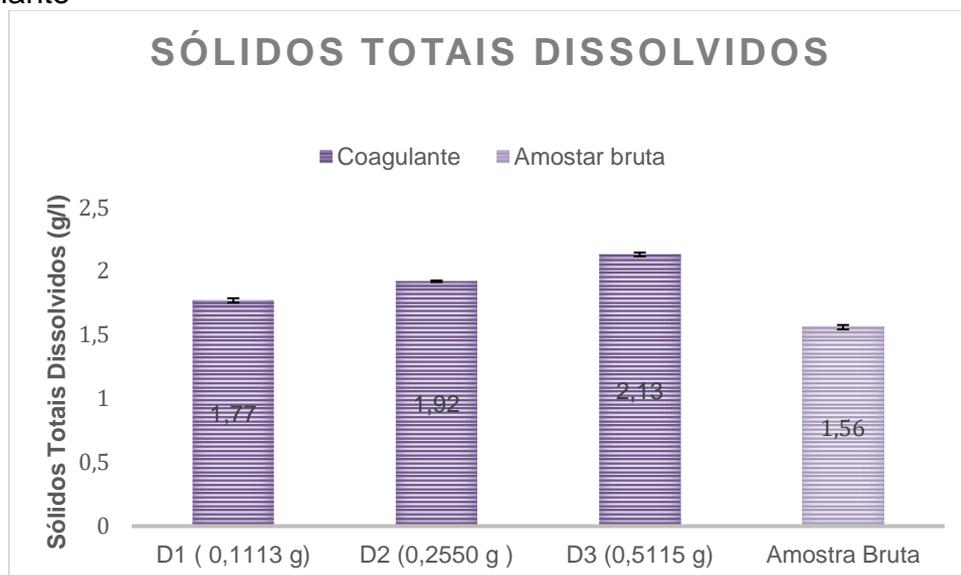
Encontrou-se um valor de 7,9 NTU \pm 0,049 para a dosagem de 0,5115 g, tendo uma redução de 64,99% da turbidez quando comparada a amostra bruta.

De acordo com Nepomuceno *et al* (2018) os tamanhos dos flocos produzidos pelo coagulante orgânico são maiores quando comparados a outros coagulantes, isso faz com que o tempo de sedimentação seja mais rápido assim tendo uma melhor eficiência na redução da turbidez. O que é possível observar-se pela Figura 12, onde todos os parâmetros de turbidez foram reduzidos.

3.7.3 Sólidos Totais Dissolvidos

Os valores de sólidos totais dissolvidos da amostra bruta e tratada como coagulante, estão mostrados na Figura 13.

Figura 13: Resultados de sólidos totais dissolvidos, após o tratamento com Coagulante



Fonte: Autora (2022)

O valor da amostra bruta é de 1,56 g/L \pm 0,017.

Para a dosagem de 0,1113 g ocorreu um aumento de 13,46% quando comparado a amostra bruta. Ficando o valor de 1,77 g/l \pm 0,017. Já para dosagem de 0,2550 g o resultado é de 1,92 g/l \pm 0,0058, tendo um aumento de 23,08%.

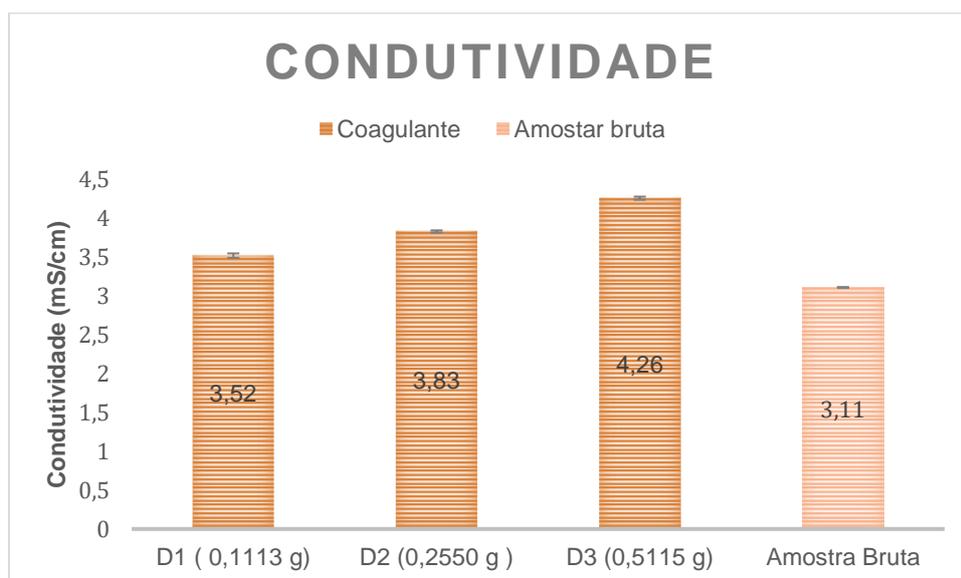
A dosagem que teve um pior desempenho foi a de 0,5115 g, tendo um maior aumento de 36,53% dos sólidos totais dissolvidos quando comparados ao da amostra bruta.

Os resultados encontrados na Figura 13, ficaram nos padrões de lançamento segundo a Resolução CONAMA 430- 357/05, onde o padrão de lançamento é de até 500 g/l.

3.7.4 Condutividade

A Figura 14 mostra os valores encontrados de condutividade da amostra bruta, assim como os resultados após o tratamento da mesma com o coagulante.

Figura 14: Resultados de condutividade, após o tratamento com coagulante



Fonte: Autora (2022)

Para a amostra bruta encontrou-se valores de 3,11 mS/cm \pm 0,0058.

A dosagem de 0,1113 g teve um aumento de 13,18% quando comparado com a amostra bruta, tendo um valor de 3,52 mS/cm \pm 0,028. Já no uso da dosagem de 0,2550 g o valor encontrado foi de 3,83 mS/cm \pm 0,015, observou-se que ocorreu um aumento de 23,15%.

A dosagem D3 teve o maior aumento de 36,98% quando comparado com as dosagens D1 e D2. Tendo um valor encontrado de 4,26 mS/cm \pm 0,02.

Em seu trabalho de uso de tanino no tratamento de água para abastecimento, Gusmão (2014) diz que o coagulante orgânico possui um alto peso molecular, isso faz

com que aja uma baixa mobilidade, o que provoca um pequeno aumento na condutividade.

3.7.5 Melhor dosagens com uso de coagulante orgânico

As melhores dosagem de coagulante orgânicos está apresentada na Tabela 4, assim como os valores de padrão de lançamento segundo a CONAMA.

Tabela 4: Melhores resultados para coagulante orgânico seguindo o CONAMA.

| Dosagem (g) | Parâmetro | Valor encontrado | CONAMA 430-357/05 |
|-------------|----------------------------------|------------------|-------------------|
| 0,2550 | pH | 2,42 | 5-9 |
| 0,2550 | Turbidez (NTU) | 3,42 | 100 |
| 0,1113 | Sólidos Totais Dissolvidos (g/l) | 1,77 | 500 |
| 0,1113 | Condutividade (mS/cm) | 3,52 | - |

Fonte: Autora (2022)

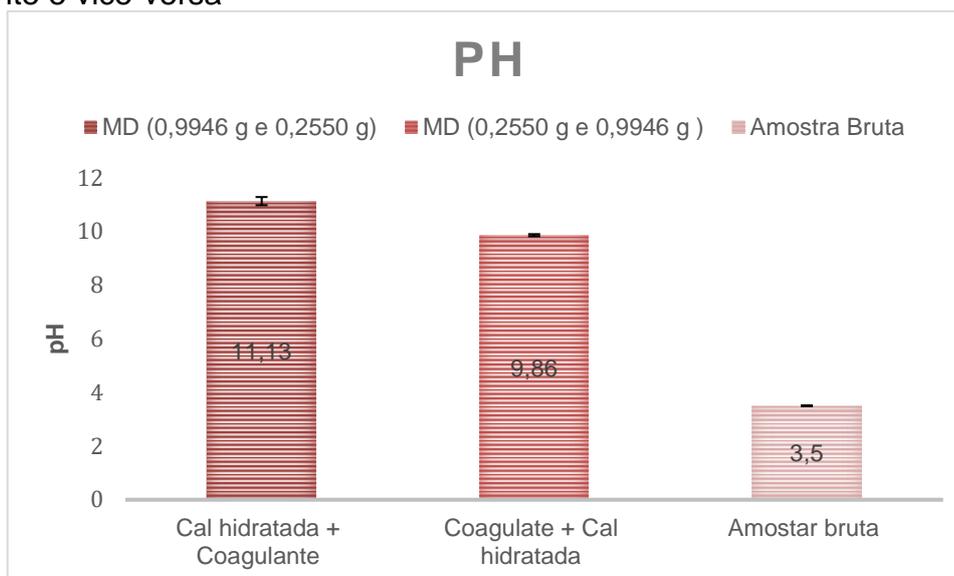
O valor de pH utilizando o coagulante orgânico como tratamento não obteve um resultado que ficasse nos padrões de lançamento da Resolução CONAMA 430-357/05. Em contra ponto os demais parâmetros ficaram no padrão de lançamento.

3.8 DESEMPENHO DA CAL HIDRATADA SEGUIDA DE COAGULANTE ORGÂNICO E VICE-VERSA

3.8.1 Potencial hidrogeniônico

Os resultados encontrados a partir da adição de cal hidratada mais coagulante e de coagulante mais cal hidratada estão apresentados na Figura 15.

Figura 15: Resultados de pH, após o tratamento com Cal Hidratada mais coagulante e vice-versa



Fonte: Autora (2022)

A amostra bruta da DAM teve um resultado de pH de $3,5 \pm 0,01$.

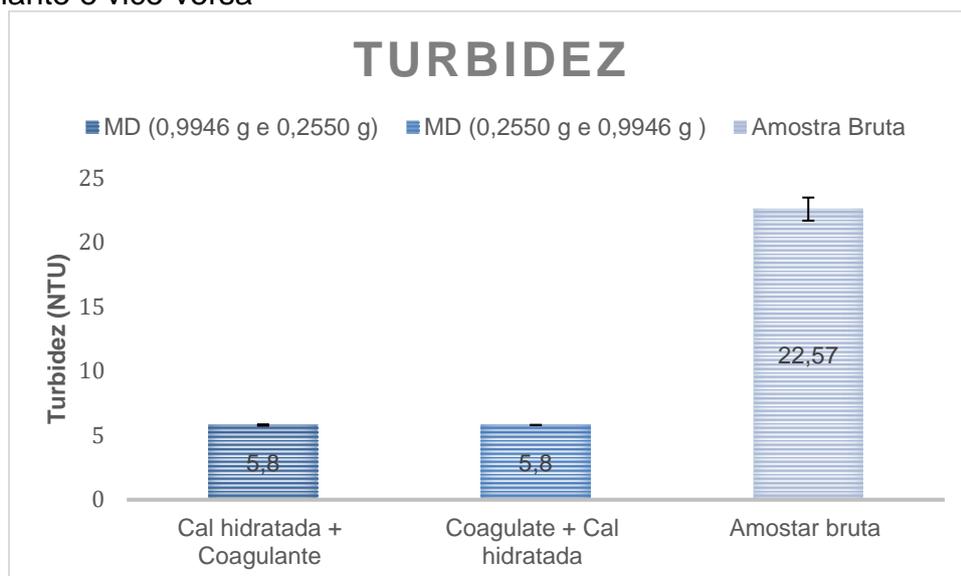
Constatou-se que o uso da melhor dosagem da cal hidratada mais coagulante orgânico nessa respectiva ordem, conseguiu elevar o valor de pH 218%, tendo um valor de pH de $11,13 \pm 0,15$. O que passa da faixa permitida para o lançamento segundo a Resolução CONAMA 430- 357/05. Já o uso da melhor dosagem de coagulante orgânico mais a cal hidratada, obteve um resultado de pH de $9,86 \pm 0,04$. O que podemos considerar mais próximo do exigido pela Resolução CONAMA 430-357/05 que é de 5 a 9. Observa-se que o uso da cal hidratada mais coagulante obteve um melhor valor de pH quando comparado com o uso do coagulante mais cal hidratada.

Nas seguintes literaturas Santos (2020), Horn (2015), Arcer (2012), Ferreira; Silva (2015), Farfan (2004), Gusmão (2014), Nepomuceno *et al* (2018), Ferreira *et al* (2017), Segredo (2014), não foram encontrados resultados usando cal hidratada mais coagulante para que ocorresse uma comparação com os resultados obtidos na Figura 15.

3.8.2 Turbidez

A Figura 16 mostra os valores encontrados de turbidez da amostra bruta, assim como os resultados após o tratamento da mesma com a cal hidratada mais coagulante e coagulante mais cal hidratada.

Figura 16: Resultados de turbidez, após o tratamento com Cal Hidratada mais coagulante e vice-versa



Fonte: Autora (2022)

O uso das melhores dosagens de cal hidratada mais coagulante e coagulante mais cal hidratada tiveram uma mesma diminuição de 74,30% quando comparados a amostra bruta. Já os valores encontrados foram de 5,8 NTU \pm 0,05 e 5,8 NTU \pm 0,005. Observa-se que não fez diferença a ordem do uso da cal hidratada e coagulante.

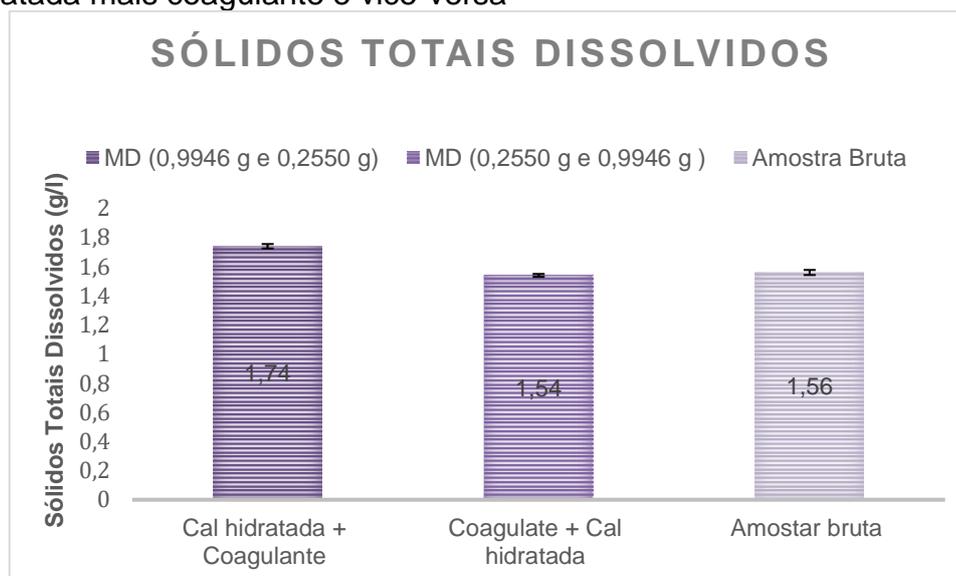
Os resultados encontrados na Figura 16 ficaram no padrão de lançamento segundo a Resolução CONAMA 430- 357/05, que para turbidez é de até 100 NTU.

Nos trabalhos de Santos (2020), Horn (2015), Arcer (2012), Farfan (2004), Gusmão (2014), Nepomuceno *et al* (2018), Ferreiro *el at* (2017), Segredo (2014), não encontrou-se resultados de turbidez para que ocorresse a comparação do usando cal hidratada mais coagulante e coagulante mais cal hidratada.

3.8.3 Sólidos Totais Dissolvidos

Os resultados de sólidos totais dissolvidos usando a cal hidratada mais coagulante e coagulante mais cal hidratada estão apresentados na Figura 17.

Figura 17: Resultados de sólidos totais dissolvidos, após o tratamento com Cal Hidratada mais coagulante e vice-versa



Fonte: Autora (2022)

Os resultados utilizando as melhores dosagem de cal hidratada mais coagulante tiveram um aumento do valor dos sólidos totais dissolvidos de 11,54%, sendo esse valor de $1,74 \text{ g/l} \pm 0,015$. Já o uso de coagulante mais a cal hidratada o valor dos sólidos toais diminuiram 1,28%, quando comparados com a amostra bruta, ficando $1,54 \text{ g/l} \pm 0,01$.

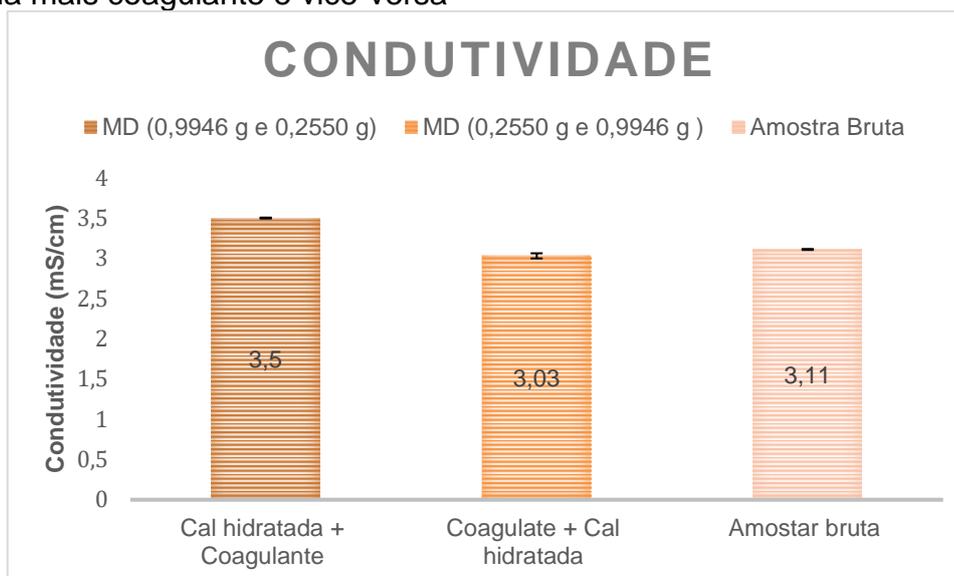
Não foram encontrados resultados para que ocorresse comparação com os valores obtidos no presente trabalho nas seguintes literaturas Farfan (2004), Gusmão (2014), Nepomuceno *et al* (2018), Ferreiro *el at* (2017), Segredo (2014), Santos (2020), Horn (2015), Arcer (2012).

Os resultados encontrados para sólidos totais dissolvidos estão conforme a Resolução CONAMA 430- 357/05 sendo de até 500 g/l.

3.8.4 Condutividade

A Figura 18 mostra os valores encontrados de condutividade da amostra bruta, assim como os resultados após o tratamento da mesma com a cal hidratada mais coagulante e vice-versa.

Figura 18: Resultados de condutividade, após o tratamento com Cal Hidratada mais coagulante e vice-versa



Fonte: Autora (2022)

O tratamento com a melhor dosagem de cal hidratada mais coagulante teve resultado de 3,5 mS/cm \pm 0,0058. Tendo um aumento de 12,54%. Com o uso do coagulante mais cal hidratada ocorreu uma diminuição de 2,57%, ficando com um valor de 3,03 \pm 0,032. Observa-se que o uso de coagulante mais cal hidratada teve um melhor resultado quando comparado ao uso da cal mais coagulante.

Segundo a Resolução CONAMA 430- 357/05 não há um valor para que ocorra o lançamento da drenagem ácida de minas com relação ao parâmetro de condutividade.

Em Santos (2020), Horn (2015), Arcer (2012), Farfan (2004), Gusmão (2014), Nepomuceno *et al* (2018), Ferreiro *et al* (2017), Segredo (2014), tais autores não trabalharam com o uso de cal hidratada mais coagulante orgânicos para reduzir o parâmetro de condutividade.

3.8.5 Melhor dosagens com uso de cal hidratada seguida de coagulante orgânico e vice-versa

A Tabela 5 apresenta os melhores resultados entre o uso de cal hidratada mais coagulante orgânico e vice-versa, seguindo a Resolução CONAMA 430- 357/05.

Tabela 5: Melhores resultados para cal hidratada seguida de coagulante e vice-versa orgânico seguindo o CONAMA

| Ordem dos reagentes | Parâmetro | Valor encontrado | CONAMA 430-357/05 |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Coagulante + cal hidratada | pH | 9,8 | 5-9 |
| Coagulante + cal hidratada | Turbidez (NTU) | 5,8 | 100 |
| Coagulante + cal hidratada | Sólidos Totais Dissolvidos (g/l) | 1,54 | 500 |
| Coagulante + cal hidratada | Condutividade (mS/cm) | 3,08 | - |

Fonte: Autora (2022)

É possível notar pela Tabela 5 que os melhores resultados encontrados foram usando a ordem de coagulante orgânico seguido de cal hidratada. Sendo o parâmetro de pH o único que não ficou nos padrões de lançamento.

4 CONCLUSÃO

Em conclusão, na realização desse trabalho, verificou-se que as diferentes dosagens da cal hidratada foram eficientes na melhoria dos parâmetros de pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos e condutividade.

O coagulante orgânico utilizado no presente trabalho, apesar de não obter um efeito positivo no aumento do pH, seria interessante que ocorresse um estudo mais aprofundado com relação a uso do mesmo em drenagem ácida de minas, devido os efeitos sinérgicos que se observou.

Observou-se que a melhor ordem do uso dos reagentes foi com coagulante orgânico seguido da cal hidratada.

REFERÊNCIAS

ARCE, I. **Obtenção de um coagulante férrico por precipitação seletiva a partir da drenagem ácida de minas da mineração de carvão.** 2012. Trabalho de Diplomação em Engenharia química. (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/110102>. Acesso em 12 jun. 2021.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 29. fev. 2022.

FARFAN, J. R. J. Z.; FILHO, O. B.; SOUZA, V. P. **Avaliação do potencial de drenagem ácida de rejeitos da indústria mineral.** CETEM/ MCT, 2004.

FERRIRO. B. W; *et al.* **Estudo da alcalinidade total e pH de coagulação após ensaio de tratabilidade realizados com coagulantes de natureza orgânica e inorgânica.** 2017. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/I-348.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2022.

FOSSATI, J. **Caracterização físico-química e comparativa de drenagem ácida (DAM) gerada em laboratório e naturalmente formada em áreas de mineração de carvão.** Disponível em : https://www.ufrgs.br/rede-carvao/Sess%C3%B5es_C1_C2_C3/C1_ARTIGO_01.pdf. Acesso em: 19 fev. 2022.

GUSMÃO, A.L.S. **Uso de Taninos no tratamento de água para abastecimento.** dissertação de engenharia química - Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre: [s.n.], 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/109719/000950670.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 20 fev. 2022.

HORN, M. **Remoção de material da drenagem ácida de minas por precipitação química por troca iônica com zeólita NaP1.** 2015. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas Metalúrgica e de materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestrado em Engenharia, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/130089>. Acesso em: 10 jun. 2021.

LEMOS, L. **Tratamento de drenagem ácida de minas.** 2015. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas Minas Gerais, Poços de Caldas, 2015. Disponível em: https://www.unifal-mg.edu.br/engenhariaquimica/system/files/imce/TCC_2015_2/TCC%20-%20Luis%20Lemos.pdf. Acesso em: 10 jun. 2021.

MARTINS, A. A.; OLIVEIRA, R. M. S.; GUARDA, E. A. **Potencial de uso de compostos orgânicos como, coagulantes, floculantes e adsorventes no**

tratamento de água e efluentes. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, 10, 2014.

NEPOMUCENO, T. C. *et al.* **Aplicabilidade de coagulantes a base de tanino em estações de tratamento de água.** [s.l.]: Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.9, n.7, p.110-123, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0011>. Acesso em: 22 fev. 2022.

SEGREDO, A. **Proposta de um sistema passivo para o tratamento da drenagem ácida de mina gerada no depósito de rejeito de Capão da Roça, Charqueadas/RS-Copelmi Mineração LTDA.** 2014. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestrado em Engenharia, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/143599> . Acesso em: 25 fev. 2022.

TEIXEIRA, M. R.; CAMACHO, F. P.; SOUSA, V. S.; BERGAMASCO, R. Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products. *Journal of Cleaner Production*, v. 162, 484, 2017.