



ALICE INÁCIO MARQUES LISBOA

**ÁGUA DE LAVAGEM DE VEÍCULOS DE MINERAÇÃO:
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E PROPOSIÇÃO DE
TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO VISANDO O REÚSO**

**LAVRAS - MG
2022**

ALICE INÁCIO MARQUES LISBOA

**ÁGUA DE LAVAGEM DE VEÍCULOS DE MINERAÇÃO: AVALIAÇÃO DA
QUALIDADE E PROPOSIÇÃO DE TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO VISANDO O
REÚSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Programa de Graduação em
Engenharia Ambiental e Sanitária, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

ALICE INÁCIO MARQUES LISBOA

**ÁGUA DE LAVAGEM DE VEÍCULOS DE MINERAÇÃO: AVALIAÇÃO DA
QUALIDADE E PROPOSIÇÃO DE TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO VISANDO O
REÚSO**

**MINING VEHICLE WASH WATER: QUALITY ASSESSMENT AND PHYSICAL-
CHEMICAL TREATMENT PROPOSAL FOR REUSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Programa de Graduação em
Engenharia Ambiental e Sanitária, para a
obtenção do título de Bacharel.

Profº. Dr. Mateus Pimentel de Matos
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por me proporcionar esta oportunidade incrível que é poder me formar como Engenheira Ambiental e Sanitarista. Também quero agradecer a minha família, em especial a minha mãe que se abdicou de muitas coisas para poder me manter no meu sonho; a Bá por sempre cuidar de mim e orar por mim e pelas minhas conquistas; a minha irmã por sempre estar do meu lado; ao meu irmão por ser um grande exemplo em minha vida; aos meus cunhados por sempre me incentivarem; ao meu padrasto por sempre me apoiar; a minha Vovó que sempre cuidar de mim e a Aninha por sempre me animar. Não poderia deixar de agradecer ao meu Pai no qual tenho certeza que está muito orgulhoso dessa conquista de onde ele estiver. Aos meus amigos, profunda gratidão por ter sido a minha família durante toda a minha estadia em Lavras; e ao meu namorado por estar sempre ao meu lado. Agradeço especialmente ao meu professor Mateus Matos, por ter sido meu orientador nesse trabalho incrível e meu supervisor de estágio, você é um exemplo de dedicação e profissionalismo. A empresa que me forneceu a oportunidade de realizar esse trabalho que tem esse tema tão grandioso que é o reuso de água. Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer a UFLA por sempre proporcionar aos seus alunos experiências enriquecedoras.

RESUMO

Ao mesmo tempo em que mineração é uma atividade de grande importância para a sociedade e para a economia brasileira, também é uma das mais impactantes para o meio ambiente, incluindo o grande consumo de água requerida para a exploração do minério. Visando o desenvolvimento sustentável, o reúso da água de lavagem de veículos pode ser uma alternativa ambiental e economicamente correta para as empresas exploradoras do subsolo. Assim, com a realização do presente trabalho, realizou-se a caracterização da água de lavagem de veículos de uma mineradora, além da proposição de um tratamento físico-químico (coagulação/floculação/decantação), visando o seu reúso. Para a caracterização da água residuária, utilizou-se dados de monitoramento da empresa referentes à análises semestrais (janeiro de 2021 à julho de 2022) de pH, óleos e graxas (O & G), sólidos suspensos (SS) e sólidos sedimentáveis (SP), além da realização de duas coletas e determinação de sólidos totais (ST), O & G, temperatura, pH e condutividade elétrica (CE) em laboratório do Departamento de Engenharia Ambiental (DAM) da Universidade Federal de Lavras. Com base na avaliação da água, optou-se pelo tratamento convencional, tendo coagulação com cloreto férrico em diferentes concentrações (0; 50; 200; 500; 700 e 1000 mg/L), avaliando a turbidez após coagulação (1 min e 350 rpm), floculação (10 min e 50 rpm) e decantação (20 min). Com base nos resultados obtidos, observou-se que a água residuária da lavagem de veículos apresenta grande concentração de O & G e sólidos, elevada turbidez e pH de ácido à básico (grande variação de 4,96 a 8,30), requerendo a passagem por algumas etapas de tratamento antes do seu aproveitamento. O uso do tratamento seguido por coagulação/floculação/decantação mostrou-se eficaz na redução da turbidez, sendo possível (nas condições avaliadas) a turbidez de 431 a 78 UNT com uso do coagulante na concentração de 560 mg/L (condição ótima – obtido por ajuste de equação quadrática) nas condições avaliadas no *Jar test*. Observando a NBR 15527 (BRASIL, 2007), no entanto, ainda seria necessário reduzir a turbidez para possibilitar o reúso da água utilizada na lavagem de veículos. Na concepção idealizada, os custos totais para a mineradora ficarão em torno de R\$ 162.900,00. Recomenda-se então, a instalação de um sistema de dupla filtração (após a coagulação/floculação/decantação), técnica que se mostrou eficaz em vários estudos na redução da turbidez aos valores requeridos (5 UNT), após a passagem pelo desarenador e caixa de separação de água e óleo (SAO) já existentes. Ao final, um tanque de armazenamento com cloração pode permitir alcançar as condições estabelecidas na NBR referente ao reúso de água para fins não potáveis (como lavagem de veículos). Recomenda-se ainda a realização de mais estudos avaliando a concepção idealizada, de forma a confirmar a expectativa de adequação da qualidade da água.

Palavras-chave: Lavagem de caminhões e equipamentos; Reciclagem de água; Recursos Hídricos; Consumo de água; Tratamento de efluentes.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – BOX DE LAVAGEM DA MINERADORA LOCALIZADA NO INTERIOR DE MG, VISÃO SUPERIOR.....	13
FIGURA 3.2 – BOX DE LAVAGEM DA MINERADORA LOCALIZADA NO INTERIOR DE MG, VISÃO FRONTAL.	14
FIGURA 3.3 – DESARENADOR DA MINERADORA LOCALIZADA NO INTERIOR DE MG, VISÃO SUPERIOR.....	15
FIGURA 3.4 – DESARENADOR DA MINERADORA LOCALIZADA NO INTERIOR DE MG, VISÃO FRONTAL.	15
FIGURA 3.5 – PASSAGEM DO BOX DE LAVAGEM PARA A DESARENADOR DA MINERADORA LOCALIZADA NO INTERIOR DE MG.	16
FIGURA 3.6 – AMOSTRA COLETADA DA DESARENADOR DA MINERADORA LOCALIZADA NO INTERIOR DE MG NO DIA 18/07/2022.	17
FIGURA 3.7 – AMOSTRAS NO APARELHO SOXHELT DO LABORATÓRIO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA DA UFAL, USADO NA ANÁLISE DE ÓLEOS E GRAXAS.	17
FIGURA 3.8 – ANÁLISE DE PH FEITA EM CAMPO.....	18
FIGURA 3.9 – VISTA FRONTAL DO “JAR TEST” MILAN DE 6 PROVAS.....	19
FIGURA 3.10 – TURBIDÍMETRO AP 2000, USADO PARA MEDIR A TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA	20
FIGURA 3.11 – COAGULANTES USADOS NO TESTE.	20
FIGURA 4.1 – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DA TURBIDEZ DO EFLUENTE DA LAVAGEM DE VEÍCULOS DA MINERADORA NO INTERIOR DE MG.....	25
FIGURA 4.2 – FLUXOGRAMA DE TRATAMENTO PROPOSTO PARA REÚSO DE LAVAGEM DE VEÍCULOS DA MINERADORA.....	27

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – DADOS DO HISTÓRICO DE ANÁLISES LABORATORIAIS DA ÁGUA RESIDUÁRIAS DA LAVAGEM DE VEÍCULOS NA SAÍDA DA DESARENADOR.	18
TABELA 4.1 – RESULTADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NO LABORATÓRIO DA UFLA.	22
TABELA 4.2 – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO PARA DIFERENTE CONCENTRAÇÃO DE CLORETO FÉRRICO.	25
TABELA 4.3 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA LAVAGEM DE VEÍCULOS.	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Objetivo Geral:.....	12
2.2	Objetivos específicos:.....	12
3	METODOLOGIA.....	13
3.1	Área de Estudo:.....	13
3.2	Caracterização da Água Residuária.....	16
3.3	Teste de Coagulação/ Floculação.....	19
4	RESULTADOS.....	22
4.1	Avaliação das Características da Água de Lavagem de Veículos da Mineração.....	22
4.2	Avaliação dos Resultados do Teste de Coagulação/ Floculação da Água de Lavagem de Veículos da Mineração.....	25
4.3	Tratamento Proposto.....	26
4.3.1	Desarenador.....	Erro! Indicador não definido.
4.3.2	Caixa de separação de água e óleo:.....	27
4.3.3	Tanque de coleta de óleo.....	28
4.3.4	Dosador de coagulante.....	28
4.3.5	Floculador.....	29
4.3.6	Decantador.....	31
4.3.7	Filtro.....	31
4.3.8	Reservatório (e correção do pH e desinfecção).....	32
4.4	Custos com o Tratamento.....	33
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade indispensável para a alavancagem do desenvolvimento humano, pois com a exploração do subsolo é que se retira recursos essenciais para o nosso dia a dia. Um exemplo é a mineração de ferro, que fornece matéria-prima para a fabricação de vários utensílios domésticos, como panelas e liquidificadores, estando também presente nas grandes indústrias e construções. Em razão da grande demanda dessa commodity, esse é um setor ainda em larga expansão no país, como pode ser observado em vários indicadores. O indicador de produção mineral (IPM/ANM) do minério de ferro, por exemplo, indica crescimento de 35,0% entre o 1º e o 2º semestre de 2021, enquanto os demais minerais explorados no Brasil tiveram um crescimento de 17,1% no mesmo período (Agência Nacional de Mineração, 2021). Outro índice que também traduz em números a importância da mineração é a participação do setor no PIB, sendo essa atividade responsável por 2,3% de todas as riquezas produzidas no país (IBRAM, 2020).

Por outro lado, ao mesmo tempo que movimenta a economia e gera empregos diretos e indiretos, a mineração é uma das atividades econômicas com maiores impactos ambientais, no qual ocorre uma grande transformação do ambiente, tendo como possíveis efeitos a supressão da vegetação; compactação do solo; modificação da topografia; possível dano a nascentes; aumento da presença de particulados e gases no ar; mudanças climáticas relacionadas com a grande circulação de veículos e com a retirada da vegetação (atenuadora da concentração de CO₂ no ar); possíveis efeitos na biodiversidade da flora e fauna da região; drenagem ácida de mina (DAM), com contaminação por metais pesados e abaixamento do pH do solo; acidentes de enormes proporções resultando em grandes catástrofes humanas e ambientais; além do grande consumo de água, recurso utilizado em diferentes atividades na mineração (COSTA, 2020).

Por exemplo, para mensurar os impactos da atividade, principalmente em relação aos recursos hídricos, podem ser utilizados dados do “Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil” da ANA, no qual há informação de estimativas de que são captados 32,9 m³/s de água para uso na mineração, o que representa 1,6% do recurso hídrico consumido no país. Somente em Minas Gerais, são retirados, em média, 18 m³/s da água para a mineração, totalizando, aproximadamente, 11% das suas retiradas (IBRAM, 2015; ANA, 2019). Assim, dada a importância da mineração na economia e na sociedade, torna-se urgente a adoção de técnicas sustentáveis de exploração do meio ambiente, destacando o uso dos recursos hídricos.

Na mineração, a água pode ser utilizada em diferentes atividades, seja na exploração líquida do minério e separação do rejeito (armazenado em barragens); na dessedentação e higiene de funcionários; controle de poeira em estradas; e na limpeza de maquinário e veículos (IBRAM, 2006; ANA, 2006). Estima-se que são gastos, em média, 300 litros de água por veículo, havendo grande demanda de água e gerando um passivo ambiental (água residuária que requer tratamento). Em um cenário de escassez hídrica, já observado em várias regiões do país e do mundo, a redução do consumo em uma ou mais dessas atividades torna-se de grande relevância no desenvolvimento sustentável.

Na mineração, uma técnica em expansão é o beneficiamento de minério a seco, que além de reduzir o consumo dos recursos hídricos, também minimiza a necessidade do uso de barragem de rejeitos. Depois dos acidentes de rompimentos de barragens que ocorreram no Brasil nos anos de 2015 e 2019, o uso dessas estruturas de contenção de rejeitos, no âmbito legal, vem sendo um grande problema para as mineradoras, devido aos impactos que podem ser causados no meio ambiente e na população atingidas. Além disso, técnicas inovadoras que envolvem essa preocupação com a crise hídrica estão crescendo no mundo empresarial, juntamente com a responsabilidade social e ambiental (NASCIMENTO et al., 2020)

Uma técnica crescente envolvendo os recursos hídricos é o reúso não potável, e eventualmente potável, que já estão em fase mais avançada de estudo e implantação, sobretudo em países com baixa disponibilidade hídrica. Um exemplo é Israel, onde 93% do esgoto é tratado, sendo que 87% desses efluentes são aplicados em atividades de reúso (SZKLARZ, 2021). Segundo o site do Canal Rural, 50% da população rural israelense é abastecida por essa água de reúso, sendo exemplo mundial (CANAL RURAL, 2018). Na agroindústria, pode-se citar iniciativas como o aproveitamento da água residuária do café (ARC) no descascamento e despulpamento, realizando a recirculação do efluente (MATOS, 2007). Outro exemplo é o reúso de águas de lavagem de plásticos, procedimento realizado após a limpeza para remoção de impurezas, como restos de comidas (BORDONALLI, 2009).

Outra possibilidade, e que pode ser aproveitado no ramo da mineração, é a recirculação de águas residuárias de lavagem de veículos, visto que há grande demanda de “água nova” para realizar uma função que não exige grau de potabilidade para a água utilizada. Porém, o efluente gerado possui algumas características que devem ser levadas em conta para desenvolver um tratamento eficiente e ao mesmo tempo economicamente viável para o reúso. Em sua maioria são efluentes ricos em sólidos e óleos e graxas, exigindo etapas de tratamento físico e químicos em condições adequadas para possibilitar o seu aproveitamento (SUBTIL, 2016).

No tratamento da ARC, por exemplo, utilizou-se cal para possibilitar controle do pH e redução da concentração de sólidos (coagulação) (MATOS et al., 2007), criando melhores condições para a recirculação. Paula et al. (2018) também empregaram combinados de sais coagulantes para proporcionar remoção da turbidez de águas cinzas, tendo ótimas eficiências, o que possibilita o reúso dessa água para fins menos nobres (não potáveis).

Com base nessas experiências anteriores e tendo a coagulação/floculação/decantação (clarificação), um dos tratamentos físico-químicos mais simples e menos onerosos (FERNANDES JÚNIOR et al, 2019), razão pela qual são largamente utilizadas em estações de tratamento de água (ETAs), essa pode ser também uma alternativa técnica e economicamente viáveis para a atividade de mineração. Com custos superiores (demanda energética e troca de eletrodos), a eletrocoagulação e eletrofloculação, por exemplo, já vem sendo empregado em alguns tipos de águas residuárias da mineração, resultando em elevadas eficiências (PERALTA et al., 2014).

Diante do grande consumo de água na mineração, do crescimento do setor e da necessidade de redução do consumo de água, objetivou-se com a realização do presente trabalho, avaliar a qualidade do efluente de saída de um lavador de veículos (após passagem por um desarenador) e equipamentos de uma mineradora no interior do estado de Minas Gerais, além de propor um tratamento complementar visando possibilitar o reúso de água.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral:

Caracterizar a água de lavagem de veículos de uma mineradora e propor um tratamento eficiente, visando a reciclagem e redução do consumo de água nova para a atividade.

2.2 Objetivos específicos:

- Avaliar a qualidade da água residuária de um lavador de veículos utilizado na mineração, após passagem por um desarenador instalado na área da mineradora;
- Comparar com as recomendações de reúso de água para diferentes finalidades (usos não potáveis, como a irrigação), inferindo sobre o tratamento necessário para o efluente de lavagem de veículos;
- Propor e avaliar as condições para tratamento físico-químico (coagulação e sedimentação) como etapa complementar, de forma a possibilitar o reúso da água lavagem de veículos, baseando em um ensaio de “Jar test” com diferentes concentrações de coagulantes;
- Realizar a avaliação técnico-financeira da implementação do tratamento físico-químico proposto, considerando as unidades já instaladas na mineradora (desarenador e caixa SAO).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A água avaliada no presente trabalho foi amostrada em um lavador de veículos instalado na oficina mecânica dos caminhões e equipamentos pesados de uma mineradora localizada no interior de Minas Gerais. A lavagem é feita através do método de Jato Manual, onde é utilizada uma bomba lavadora de média pressão industrial, com uma vazão 26 L/min, potência de 2700W e uma pressão máxima de 500 psi. Para a limpeza é empregado o detergente profissional Desincrustante Ácido, com o registro da ANVISA N° 363800001.

O lavador funciona em média 5 horas por dia, sendo gerada uma vazão aproximada de 2,5 m³/h de efluente, com um volume total de 12.500 L por dia. A água usada na limpeza dos veículos é proveniente de poço artesiano licenciado pelo empreendimento, fonte hídrica que abastece caminhões pipas que, por sua vez, são utilizados para encher as caixas d'água.

O Box de Lavagem (Figuras 3.1 e 3.2), onde é feita a lavagem dos caminhões e dos equipamentos, possui 6,0 metros de largura, 10,2 metros de comprimento e uma parede de 1,5 metros nas laterais.

Figura 3.1 – Box de Lavagem da mineradora localizada no interior de MG, visão superior.



Fonte: Autor (2022)

Figura 3.2 – Box de Lavagem da mineradora localizada no interior de MG, visão frontal.



Fonte: Autor (2022)

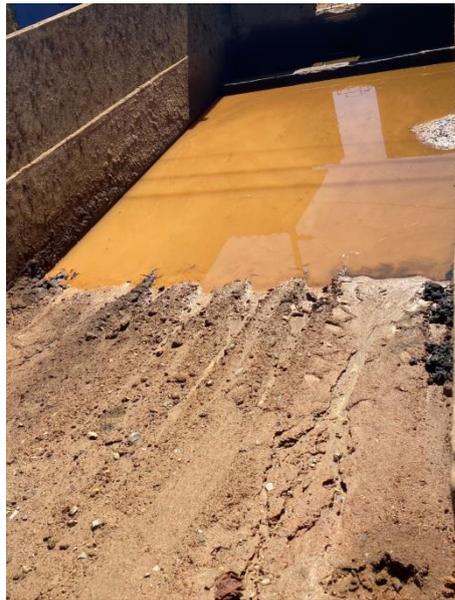
Logo ao lado do lavador, encontra-se o desarenador (Figuras 3.3 e 3.4) de 3,7 m de largura, 9,4 m de comprimento, e uma profundidade de 2,4 m, que é interligada por uma canal ao box (Figura 3.5), tratamento esse que tem a função de proporcionar a remoção de sólidos grosseiros e partículas de sedimentação discreta (areia). Após passagem pelo desarenador, a água residuária é encaminhada para um tanque de armazenamento que passa por um caixa SAO (separadora água-óleo) e depois é disposto em um sumidouro para infiltração no solo. Os tratamentos citados, no entanto, podem não ser suficientes para a remoção dos sólidos suspensos, compostos pelas partículas de minério e solo. Importante ressaltar que não foram repassadas pela mineradora, o TDH do desarenador e caixa SAO, sendo as discussões pautadas em condições normais encontradas para esses dispositivos na literatura.

Figura 3.3 – Desarenador da mineradora localizada no interior de MG, visão superior.



Fonte: Autor (2022)

Figura 3.4 – Desarenador da mineradora localizada no interior de MG, visão frontal.



Fonte: Autor (2022)

Figura 3.5 – Passagem do box de lavagem para a desarenador da mineradora localizada no interior de MG.



Fonte: Autor (2022)

3.2 Caracterização da Água Residuária

A fim de caracterizar a água residuária proveniente da lavagem de caminhões e equipamentos da mineradora, foram realizadas duas coletas de amostras (Figura 3.6), uma no dia 18/07/2022 e a outra no dia 25/07/2022, com amostragens pontuais do efluente logo na saída do desarenador (único ponto possível de coleta no tratamento existente). Essas foram encaminhadas para o laboratório do Departamento de Engenharia Ambiental (DAM), da Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde foram feitas as análises das variáveis de Sólidos Totais (ST) e O & G (óleos e graxas). As amostras coletadas foram divididas em 3 amostras, a fim de realizar todas as análises em triplicata.

Ademais, foi fornecido pela empresa o histórico de análises realizadas por um laboratório contratado, com informações semestrais dos anos de 2021 e 2022, que são empregadas para controle e monitoramento do efluente. Além de ST e O & G, foram feitas medições de pH, temperatura e condutividade elétrica (CE) *in loco*. Os dados fornecidos pela empresa também são relativos à água residuária coletada no mesmo ponto (na saída do desarenador).

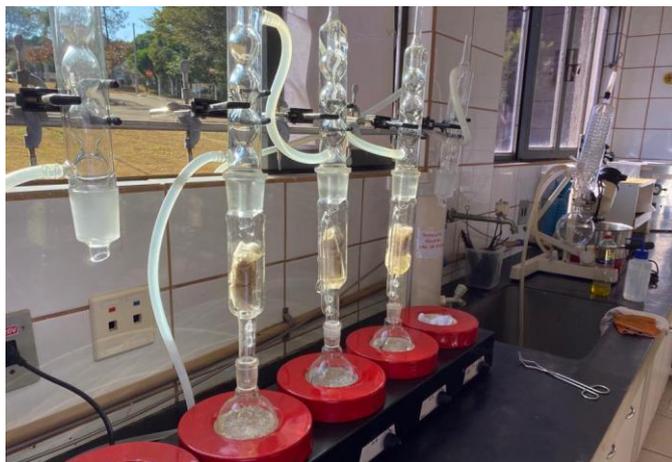
Figura 3.6 – Amostra coletada da desarenador da mineradora localizada no interior de MG no dia 18/07/2022.



Fonte: Autor (2022)

Para a realização das análises de Óleos e Graxas (Figura 3.7) e sólidos totais, utilizou-se, respectivamente, as metodologias *Standard Methods* 5520D (método gravimétrico) e 2540B (APHA, 1999). Já para determinação do pH (Figura 3.8), CE e temperatura, foram realizadas medidas em campo utilizando um pHmetro (multiparâmetros) portátil da marca Hanna, devidamente calibrado. Todas as análises foram realizadas em triplicata para gerar maior confiabilidade dos dados.

Figura 3.7 – Amostras no aparelho Soxhelt do laboratório do departamento de engenharia ambiental e sanitária da UFAL, usado na análise de óleos e graxas.



Fonte: Autor (2022)

Figura 3.8 – Análise de pH feita em campo.



Fonte: Autor (2022)

Na Tabela 3.1, estão apresentados dados que foram disponibilizados pela empresa. No histórico de análises, inclui-se as variáveis Óleos e Graxas (O & G), Sólidos em Suspensão (SS), Sólidos Sedimentáveis (SP) e pH. As análises rotineiramente são feitas de forma semestral (uma coleta a cada seis meses), feita por laboratórios certificados contratados pela empresa, dessa forma há informações de análises realizadas no período chuvoso e seco. Assim é possível analisar a interferência de água da chuva no efluente que se misturam no lavador e alcançam a desarenador. Por outro lado, a menor frequência de análises não permite conhecer as flutuações horárias e diárias que podem ocorrer dentro de uma mesma estação, e que podem estar relacionadas com frequência de utilização dos veículos, equipamentos e mesmo do lavador.

Tabela 3.1 – Dados do histórico de análises laboratoriais da água residuárias da lavagem de veículos na saída da desarenador da mineradora.

Variáveis		jan/21	jul/21	jun/22
Óleos e Graxas	mg/L	53.300	3.513	38.857
pH		8,00	8,00	7,00
Sólidos em Suspensão	mg/L	92.000	9.090	12.420
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	14	1	0

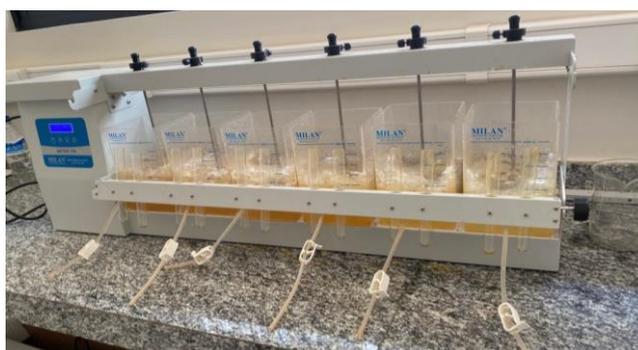
Fonte: Autor (2022)

3.3 Teste de Coagulação/ Floculação

Com a finalidade de complementar o tratamento, visando a redução da concentração de sólidos (suspensos e totais), optou-se pela sequência comumente encontrada para o tratamento de água visando o abastecimento humano, que é a coagulação seguida de floculação e decantação. Essas etapas são típicas da configuração do tratamento convencional, composto por um tratamento físico e químico simples e de baixo custo, empregável para águas de diferentes qualidades.

Para determinar a quantidade ótima de coagulante para redução da turbidez da água residuária da lavagem de veículos, foi realizado o ensaio de coagulação/floculação em um “Jar Test” Milan de seis provas (Figura 3.9), com regulador de rotação das hastes misturadoras, presente no laboratório Sistema de Abastecimento da Água do Departamento de Engenharia (DEG). Foi utilizada a programação 1 do aparelho mistura rápida (coagulação) em 350 rpm durante 1 minuto, e mistura lenta (floculação) em 50 rpm durante 10 minutos, tendo decantação (sem agitação) durante 20 minutos. Essas condições do ensaio foram usadas visando o uso da maior rotação permitida pelo equipamento (CARVALHO, 2020), que permitiriam melhor mistura coagulante-solo. Posteriormente, há redução da velocidade das pás de mistura, na etapa de floculação, com a finalidade de não se quebrar os flocos. E por fim, desliga-se o acionamento das pás, para que ocorra a sedimentação dos sólidos e a decantação da água (CARDOSO, 2008).

Figura 3.9 – Vista frontal do “Jar Test” Milan de 6 provas.



Fonte: Autor (2022)

Por simplicidade de análise e rapidez de aquisição de dados, empregou-se a análise de turbidez das amostras, variável que apresenta boa correlação com as variáveis sólidos suspensos e sólidos totais (CHAGAS, 2015). Inicialmente, fez-se a avaliação da água bruta coletada no lavador de veículos (solução previamente homogeneizada), com a utilização de um

turbidímetro AP 2000 (Figura 3.10), antes da adição do coagulante, obtendo-se o valor de 431 UNT.

Figura 3.10 – Turbidímetro AP 2000, usado para medir a turbidez da água bruta



Fonte: Autor (2022)

O agente coagulante utilizado nos ensaios foi o cloreto férrico (Fe_2Cl_3), levando em conta o estudo realizado por Althaus (2013). O coagulante foi adicionado em seis diferentes concentrações (Figura 3.11), 0; 50; 200; 500; 700 e 1000 mg/L, valores baseados em estudos realizados na utilização de cloreto férrico como coagulante. Essa faixa de variação de 0 mg/L até 1000 mg/L, em média, tem sido empregada no tratamento de águas residuárias com elevadas concentrações de sólidos suspensos (THEODORO, 2011; YAMAGUCHI, 2019). Dessa forma, a avaliação foi realizada com 6 tratamentos e 1 batelada (repetição), totalizando 6 amostras, enquanto a determinação da turbidez era realizada com retirada de três alíquotas e determinação da turbidez.

Figura 3.11 – Coagulantes usados no teste.



Fonte: Autor (2022)

Após a decantação das amostras, conforme condições indicadas anteriormente, utilizou-se o turbidímetro AP 2000, para medir a turbidez em cada jarro do Jar Test utilizado. Com o

resultado foi possível calcular a eficiência de remoção da turbidez para diferentes concentrações do coagulante utilizado, com base na expressão (Equação 1):

$$E = \frac{Tab - Tj}{Tab} * 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:

E= Eficiência da remoção (%)

Tab= Turbidez da água bruta (UNT)

Tj= Turbidez após coagulação (UNT)

3.4 Análise técnico-financeira do tratamento proposto

Com base nos resultados obtidos no ensaio descrito no item anterior e as características da água obtida, tendo como comparação normas e recomendações de qualidade, será proposto um sistema de tratamento visando o reúso da água de lavagem. Essa etapa foi baseada em dois procedimentos: 1) dimensionamento das unidades com base em normas técnicas e concepções de tratamento de água; 2) Análise de custos, permitindo verificar dentro do contexto de uma mineradora, se é viável economicamente.

Para as unidades, será considerado a vazão de projeto de 3 m³/h para o dimensionamento do tratamento, permitindo alcançar os níveis desejáveis de tratamento da água de lavagem. Dessa forma, a cada 3 m³/h de vazão, neste projeto foi recomendado a instalação de outro módulo semelhante ao proposto a seguir. Como atualmente, gera-se cerca de 2,5 m³/h no lavador de veículos e equipamentos na mineradora, essa condição permite uma folga para as unidades e considera uma previsão de crescimento para as instalações.

Em relação aos custos, para estimar os valores a serem investidos pela mineradora em questão, os preços foram baseados na planilha orçamentária estação de tratamento de água realizada pelo Eng^o José Everaldo E. Prado em 2019 (BRASIL, 2019).

4 RESULTADOS

4.1 Avaliação das Características da Água de Lavagem de Veículos da Mineração

Na Tabela 4.1, estão os resultados das análises do lavador de veículos da mineradora do interior de MG, realizadas no laboratório do DAM - UFLA.

Tabela 4.1 – Resultados das análises do lavador de veículos da mineradora do interior de MG realizadas no laboratório da UFLA.

		Coleta 1			Coleta 2		
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
Óleos e Graxas	mg/L	95.762	50.925	38.441	26.400	84.000	75.000
Sólidos Totais	mg/L	505	440	440	11.470	10.025	9.870
pH		5,30	4,99	4,99	6,19	6,19	6,01
Temperatura	C°	21	21	21	21	21	21
Condutividade Elétrica	µS /cm	422	406	404	407	407	416

Fonte: Autor (2022)

Analisando os dados fornecidos pelo empreendimento e as análises realizadas na UFLA, foi possível conhecer as características do efluente. Comparando com outros estudos, os Óleos e Graxas (O & G) são variáveis importantes na caracterização da água de lavagem de veículos, visto que possuem altas concentrações, resultado da remoção de óleos do motor e do combustível dos automóveis (CARVALHO, 2020). Avaliando o histórico e as análises realizadas é possível perceber que os valores são próximos e tem uma média de 51.800 mg/L de O & G, sendo que o maior valor encontrado é de 95.762 mg/L. Comparando com outros estudos que avaliam efluentes de lavagem de veículos, pode-se notar que a concentração de O&G é elevada. Estudos como o de Carvalho (2020), mostram que o efluente gerado no lava rápido, na cidade de Mogi Guaçu, S.P, tem em média uma concentração de O & G equivale a 0,12% (115 mg/L) das encontradas no lavador de caminhões e equipamentos de mineração (avaliadas no presente trabalho).

Em relação à série de sólidos, a empresa forneceu valores das concentrações de Sólidos em Suspensão (SS) e Sólidos Sedimentáveis (SP), já as análises realizadas no laboratório do DAM foram relativas às concentrações de Sólidos Totais (ST), tendo, valores médios de SS de 37.837 mg/L, SP 5 mg/L e ST de 5.458 mg/L. Confrontando as concentrações de Sólidos Suspensos com o estudo realizado no Lava-Jato no município de Marabá- PR, é nítida a diferença da lavagem de veículos prioritariamente urbanos e veículos que circulam na área de

mineração, como pode ser verificado no estudo de Santos et al. (2017), que encontraram 1262 mg/L de SS. Para ST e SP, foi possível comparar ao estudo realizado por Morelli (2005), que caracterizaram a água de um lava-jato, obtendo médias de 1.913 mg/L de ST e 1,2 mg/L de SP, sendo 64% menor que o ST do presente estudo e 76% de SP .

Utilizando os dados fornecidos pela empresa, observa-se também que o período chuvoso (janeiro de 2021) contribui para aumento da concentração de O & G e de sólidos em relação ao período seco (julho de 2021 e de 2022). Dessa forma, o regime de chuvas interfere nas condições das estradas de terra que, conseqüentemente, interferem no acumulado em veículos e na água de limpeza. Deve-se ressaltar, no entanto, que por se tratar de apenas uma coleta (janeiro de 2021), esse resultado pode ser um valor atípico de um período com maior demanda de veículos, como também observado na diferença da [ST] da coleta 1 para a coleta 2 (Tabela 4.1).

Com base no apresentado e em comparação com a literatura, é possível perceber que o efluente é rico em sólidos e O & G, principalmente por se tratar de equipamentos e caminhões que rodam em áreas vicinais (sem asfalto) e com muita poeira. Os óleos e graxas, ao menos, podem ser removidos com boa eficiência na caixa SAO, já os sólidos suspensos (e turbidez) possivelmente não terão o tratamento e a remoção necessária para possibilitar o seu reúso apenas com o sistema SAO (CAMPOS, 2017).

A variável pH apresentou grande variação no período de análises, tendo valores registrados de 4,96 a 8,30, de ácido à básico, tendo média de 6,32. Essa variação é bem elevada comparando com, por exemplo, o estudo de Carvalho (2020), com água de lava-jatos urbanos, na qual a variação de pH foi inferior a 1,00. O mesmo pode ser observado em uma faixa típica apresentada por Matos e Matos (2017), que é de 6,6-7,3. Essa condição (de grande variação) pode ser justificada devido ao uso de produtos de limpeza (ácido - Desincrustante Ácido) e a demanda por uso, além da presença de íons e minerais na água, que sabidamente interferem no pH das amostras. Estudos realizados em laticínios, por exemplo, refletem essa influência do tipo de produto de limpeza no potencial hidrogeniônico da água residuária (SARAIVA, 2009).

Já os valores de temperatura e Condutividade Elétrica, medidos em campo, possuem valores médios de 21,03 °C e 410,03 µS /cm, respectivamente. Dessa forma, a temperatura não é problema para reúso, enquanto a concentração de íons (cátions e ânions), expressa pela

capacidade de conduzir eletricidade, é cerca de 3,5 vezes superior ao encontrado na água de lava-jatos urbanos (MATOS; MATOS, 2017).

Na ausência de legislação e norma específica para reúso da água de lavagem de veículos para a mesma função, as características da água residuária serão comparadas com os valores recomendados para irrigação, os padrões para lançamento (CONAMA 430/2011), a NBR referente a tanques sépticos (NBR 13969 - 1997) e a NBR referente ao aproveitamento da água de chuva, inclusive para lavagem de veículos (NBR 15527 - 2007). Para irrigação, há risco de entupimento dos emissores e mangueiras, assim como poderia haver na lavagem de veículos, sendo que pH elevados e altas concentrações de sólidos poderiam implicar em obstrução dos mesmos. Assim, é recomendado que o pH seja inferior a 7,0 e a concentração de sólidos dissolvidos menor que 50 mg/L (SILVA, 2018), visando garantir maior vida útil do sistema de aplicação. Nakayama e Bucks (1991) ainda citam que água que apresenta concentração de SS superior a 100 mg/L apresenta elevado risco de entupimento. Quando se diz respeito aos óleos e graxas não há uma definição de valores, mas também deve ser levado em conta a retirada do máximo possível para não ocorrer o selamento do solo (MATOS; MATOS, 2017).

Em relação ao padrão de lançamento de águas residuárias em cursos d'água, a Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), foi utilizada como referência para inferir sobre a qualidade da água após tratamento. De acordo com a Resolução, o pH deve estar entre 5,0 a 9,0, condição atendida pela água após desarenador na maioria das avaliações; concentração máxima de 20 mg/L de óleos minerais e 50 mg/L de óleos vegetais e gorduras animais, à depender da eficiência da SAO instalada na mineradora; sendo a concentração máxima permissível de sólidos totais (ST) de 100 mg/L. Comparando com os valores encontrados nas análises, é possível perceber que o ideal é uma redução de 99% de remoção de O&G. Quanto ao pH, ele se encontra dentro dos valores esperados, e para os Sólidos Suspensos (SS), o ideal é uma redução mínima de 20%. E quanto aos sólidos sedimentáveis (SP), em janeiro de 2021 não haveria atendimento da legislação, enquanto nos meses de julho de 2021 e de 2022, alcançaria o parâmetro de valor máximo de 1,0 mL/L.

Já em relação com o preconizado pela NBR 13969 (ABNT, 1997), citado o reúso de esgoto tratado para a lavagem de veículos, com parâmetros visando a não contaminação do funcionário que vai realizar a lavagem e pela NBR 15527 (ABNT, 2007) que fala sobre uso de água de chuva para fins de lavagem de veículos, a turbidez (variável explorada a seguir) deve ser inferior a 5,0 UNT; e o pH deve estar entre 6,0 e 8,0. Dessa forma, diante dos valores

encontrados do potencial hidrogeniônico e da elevada concentração de SS (relacionada com a turbidez), verifica-se haver necessidade de complementação do tratamento da água residuária (além do desarenador e caixa SAO já existentes).

4.2 Avaliação dos Resultados do Teste de Coagulação/ Floculação da Água de Lavagem de Veículos da Mineração

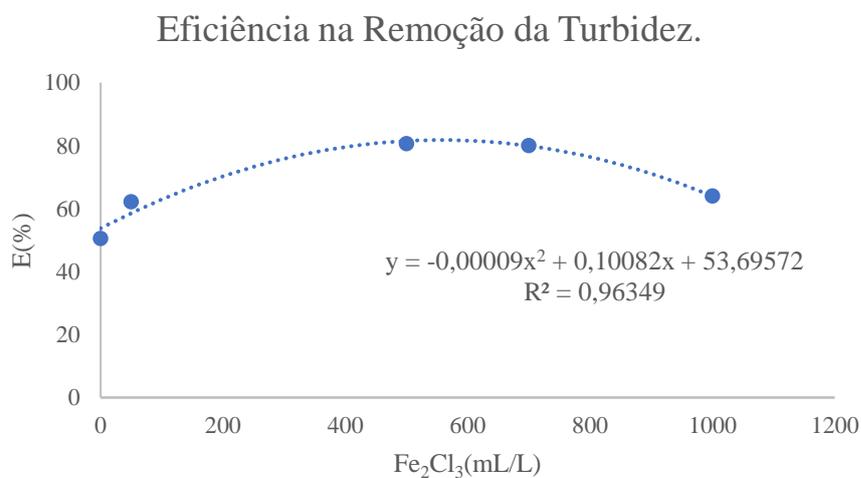
Na Tabela 4.2, estão apresentados os resultados do ensaio realizado no “Jar Test” com diferentes concentrações do coagulante à base de ferro. Com base nos resultados obtidos, plotou-se o gráfico e ajustou-se a equação quadrática de concentração x eficiência de redução da turbidez (Figura 4.1).

Tabela 4.2 – Eficiência de remoção para diferente concentração de cloreto férrico.

	Concentração Fe ₂ Cl ₃	Turbidez	Eficiência (%)
Tab	0	431,00	-
T1	0	213,00	50,58
T2	50	163,00	62,18
T3	200	254,00	41,06
T4	500	83,60	80,60
T5	700	85,90	80,06
T6	1000	155,00	64,03

Fonte: Autor (2022)

Figura 4.1 – Eficiência de remoção da turbidez do efluente da lavagem de veículos da mineradora no interior de MG.



Fonte: Autor (2022)

Com a realização do ensaio de coagulação/floculação no “Jar Test”, Milan de 6 provas, é possível encontrar a concentração de coagulante mais eficiente para o tratamento da água em estudo fazendo a regressão polinomial de segundo grau, derivando a equação e igualando a 0:

$$Y=-0,00009X^2 + 0,10082X + 53,69572 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$-0,00009X^2 + 0,10082X + 53,69572=0$$

$$X=560,12$$

Dessa forma a concentração ótima seria a de 560 mg/L, resultando em eficiência de 82 % e valor final de 78 UNT, tendo redução de turbidez em 353 UNT. Comparando o valor de turbidez final com outros trabalhos que usaram o mesmo coagulante, como o de Althaus (2014) que teve uma eficiência de 93%, é possível perceber que a eficiência de remoção foi satisfatória. Por outro lado, não é suficiente para atendimento da NBR 15527 (BRASIL, 2007), sendo recomendada a complementação do tratamento com uso de filtros.

4.3 Tratamento Proposto

Com base nas características da água, que foram apresentadas nos itens anteriores, optou-se pelo tratamento físico-químico de coagulação/floculação/decantação (sedimentação) seguido de outras etapas de clarificação e desinfecção, concepção que possa apresentar bons resultados para remoção de sólidos suspensos e, conseqüentemente de turbidez, além de permitir redução da concentração de O & G (CARVALHO, 2020). Ao mesmo que seja um tratamento simples, mas que também não cause danos aos caminhões e equipamentos, e nem mesmo nos danos à saúde do funcionário que executam a lavagem. Visando alcançar todos esses preceitos, foi proposto as seguintes etapas de tratamento como apresentado na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Fluxograma de tratamento proposto para reúso de lavagem de veículos da mineradora.



Fonte: Autor (2022)

4.3.1 Desarenador

O desarenador é a primeira etapa de tratamento depois da lavagem, onde ele é um tanque que reduz a velocidade do fluxo, funcionando como um retentor de sólidos grosseiros. Nessa etapa começa o processo de sedimentação, além de reter objetos que porventura podem ter caído durante o processo de lavagem. É uma etapa de extrema importância para que não ocorra assoreamento na Caixa Separadora de Água e Óleo. (LEPPA, 2015). Como na empresa já existe um desarenador, não é necessário construção de outra, desde que ela tenha sido construída com base nas normativas e para a vazão considerada. Neste estudo será considerado que o desarenado foi construído seguindo os critérios técnicos estabelecidos nas normas, não sendo necessário a adição de um novo.

4.3.2 Caixa de Separação de Água e Óleo

Devido às elevadas quantidades de óleos e graxas presentes no efluente, foi escolhido como segunda etapa do tratamento uma Caixa Separadora de Água e Óleo (SAO). Na caixa SAO, a separação ocorre por diferença de massas específicas, da água e dos O & G (Óleos e

Graxas), (LEPPA, 2015). Essa etapa é de grande importância, pois é nela que ocorre a retirada de um dos maiores problemas da água residuária de lavagens de veículos e equipamentos de mineração, que são os óleos e graxas (CARVALHO, 2020).

Segundo a NBR 14.605:2000, que fala sobre Posto de serviço - Sistema de drenagem oleosa, o Sistema de Separação de Água e Óleo deve ser enterrada ou apoiada no solo, deve possuir tampa resistentes e que tenha fácil acesso ao seu interior para que ocorra manutenções e limpezas.

Esse dispositivo também não precisará ser construído, já que a mineradora já possui uma caixa SAO, à disposição. É preciso, no entanto, verificar as condições de projeto e operação para verificar se são adequadas e suficiente para a vazão do projeto.

4.3.3 Tanque de coleta de óleo

A Caixa de Coleta de Óleo é onde ocorre o armazenamento de Óleos e Graxas que saem da Caixa SAO, devendo ser limpa periodicamente a fim de não ocorrer vazamentos e com isso contaminar o solo. A destinação final desses Óleos e Graxas devem ser feitos conforme a Resolução CONAMA N°362/2005 (BRASIL, 2005), que coloca como responsabilidade a destinação correta desse resíduo ao gerador. Nela também fala sobre a necessidade dele ser coletado de forma segura e evitando o contato com produtos químicos, além disso, ele tem como prioridade sempre ser encaminhado para a reciclagem.

O tanque de coleta de óleo pode ser construído de alvenaria seguindo a NBR 12.235 de 1992 (BRASIL, 1992) que fala sobre o armazenamento de resíduos perigosos (incluindo os óleos e graxas). Porém, esse dispositivo também pode vir de fábrica acoplado à Caixa Separadora de Água e Óleo (SAO), o que ocorre no que está instalado na mineradora. As demais unidades descritas a seguir deverão ser adquiridas/construídas na área da mineradora para adequar à qualidade.

4.3.4 Dosador de coagulante

A etapa de dosagem de coagulante é composta por um tanque onde é colocado o produto químico usado, que no caso deste tratamento está sendo proposto o cloreto férrico, e uma bomba de dosagem. Essas bombas são encontradas no mercado de forma acessível, possuindo algumas mais específicas para produtos químicos mais corrosivos, como é o caso do Fe_2Cl_3 . É nesse momento que agente coagulante é adicionado à água fazendo ocorrer a redução das forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão (RITCHER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Assim, será adicionada a dosagem de 560 mg/L, com as condições de mistura consideradas no ensaio realizado (350 rpm por 1 minuto na coagulação). O ideal que seja colocado uma calha Parshall, que além de ter a função de medidor de vazão vai ser responsável por realizar a mistura rápida para o coagulante. Para a vazão de 3 m³/h, é necessária uma Calha Parshall com uma largura de W 2,5 = cm, conseqüentemente A= 36,3cm; B= 35,6cm; C= 9,3cm; D= 16,8cm; E= 22,9cm; F= 7,6cm; G= 20,3cm; K= 1,9cm e N= 2,9cm.

4.3.5 Floculador

A floculação pode ser definida como a aglomeração dessas partículas por meio de transporte de fluido, de modo a formar partículas maiores que possam sedimentar (RITCHER; AZEVEDO NETTO, 1991). Eles podem ser hidráulicos, que usam a própria forma da água para ocorrer a movimentação do efluente, ou de forma mecânica. Para minimizar custos com manutenções elétricas, é proposto a instalação de um floculador hidráulico de chicanas, que pode ser construído de alvenaria. Seu dimensionamento segue a NBR 12.216 (ABNT, 1992), que fala que para decantadores hidráulicos devem ser dimensionados para um tempo de 20 a 30 minutos e um espaçamento mínimo de 0,60 m entre as chicanas, de forma a garantir também condições próximas às do ensaio realizado.

Esse tempo de mistura é superior ao do ensaio realizado com Jar Test (50 rpm por 10 min), assim deve-se avaliar em campo, as condições de mistura para que sejam efetivas no contato entre as partículas desestabilizadas, ao mesmo tempo que não sejam excessivas e não quebrem os flocos.

Considerando um tempo total de floculação igual a 20 minutos e que o gradiente de velocidade varia de 60/s, 40/s e 20/s (NBR 12.213, 1992), sendo o comprimento de mesmo tamanho do decantador com 3 m e profundidade.

Volume do floculador:

$$V=Q T$$

$$V = 0,0008333 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 20 \text{ min} \times 60 \text{ s} = 0,99996 \text{ m}^3 \approx 1 \text{ m}^3$$

Largura do floculador, sendo H= 3m e C= 3m

$$V = 3a \times L \times C \rightarrow a = \frac{1}{3 \times 3 \times 3} = 0,037 \text{ m cada câmara}$$

Área normal ao fluxo da água nas câmaras:

Floculador vertical: $A = L \cdot a = 3 \times 0,037 = 0,11 \text{ m}^2$

Tempo em cada chicana:

$$T = 20 \text{ min} \cdot 60 \text{ s} / 3 = 400 \text{ s.}$$

Número de canais entre chicanas:

$$m = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho} \times \frac{18}{13+9f} \times \left(\frac{A}{Q} \times G\right)^2 \times T}$$

Para gradiente de velocidade $G = 60/\text{s}$:

$$m = \sqrt[3]{\frac{0,001139}{999,13} \times \frac{18}{13+9 \times 0,025} \times \left(\frac{0,11}{0,0008333} \times 60\right)^2 \times 400} = 34$$

Para gradiente de velocidade $G = 40/\text{s}$:

$$m = \sqrt[3]{\frac{0,001139}{999,13} \times \frac{18}{13+9 \times 0,025} \times \left(\frac{0,11}{0,0008333} \times 40\right)^2 \times 400} = 26$$

Para gradiente de velocidade $G = 20/\text{s}$:

$$m = \sqrt[3]{\frac{0,001139}{999,13} \times \frac{18}{13+9 \times 0,025} \times \left(\frac{0,11}{0,0008333} \times 20\right)^2 \times 400} = 16$$

Espaçamento entre chicanas:

$$e = \frac{C}{m}$$

$$e_1 = \frac{3}{34} = 0,08 \text{ m}; \quad e_2 = \frac{3}{26} = 0,11 \text{ m}; \quad e_3 = \frac{3}{16} = 0,18 \text{ m};$$

O floculador possuirá 1 m^3 , sendo que o primeiro trecho, com gradiente de $60/\text{s}$, possui 34 canais entre as chicanas, já o segundo e o terceiro, com $40/\text{s}$ e $20/\text{s}$, possuem 26 e 16 canais respectivamente.

4.3.6 Decantador

O Decantador é responsável pela retirada dos sólidos formados no processo de coagulação/floculação. Os Sólidos é outro dos grandes empecilhos para reúso desse tipo de água residuária. Para o dimensionamento do decantador é necessário seguir as NBR 12.216 (ABNT, 1992), onde fala que a velocidade de sedimentação para vazões menores que 1.000m³/dia é adotado 1,74 cm/ min e uma taxa de aplicação de 25 m³/ m². dia.

Com uma taxa de aplicação superficial 25 m³/dia.m² (NBR 12.216, 1992), a área do decantador é de:

$$A = \frac{3 \text{ m}^3/\text{h}}{25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}} = 2,88 \text{ m}^2$$

$$A = C \times L \quad ; \quad C = 3 \times L$$

$$2,88 = 3 \times L \times L \rightarrow L = 0,97 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

$$\therefore C = 3 \times 0,97 = 2,91 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

$$Q = v \times A$$

$$3 \text{ m}^3/\text{h} = 0,50 \text{ cm}/\text{s} \times 1 \times h \rightarrow h = 0,166 \text{ m} \rightarrow \text{Adotar } 3 \text{ m}$$

Assim, serão necessários um decantadores horizontais de 2,88 m² de área, com comprimentos de 1x3 m e profundidade de 3m, sendo adotada a profundidade mínima normativa para que não haja a dispersão das partículas decantadas presentes no fundo.

4.3.7 Filtro

O filtro em um tratamento é definido como o processo onde a água passa por um sistema poroso e ocorre a separação de sólidos e líquidos (RITCHER; AZEVEDO NETTO, 1991). Podem ser usados em caso de águas com altas concentrações de sólidos e conseqüentemente altos valores de turbidez. Nesse sistema se propõe o uso de um filtro de areia de duas camadas, pois aumenta a eficiência de remoção da turbidez. A NBR 13.969/1997 define Filtro de Areia como “Tanque preenchido de areia e outros meios filtrantes, com fundo drenante e com esgoto em fluxo descendente, onde ocorre a remoção de poluentes, tanto por ação biológica quanto física.”. Estabelecido pela norma que deve ser mantido a condição aeróbia no seu interior e

outras informações importantes para a sua instalação e manutenção. As diretrizes de instalação de um filtro de areia são definidas na NBR 13.969/1997 (NBR, 1997).

A área necessária é de:

$$A = \frac{72}{360} = 0,2 \text{ m}^2 = 2000 \text{ cm}^2$$

É indicado a adição de um filtro de areia com camadas duplas, onde foi definida para dimensionamento a maior taxa de filtração possível $360 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$, uma área de 2000 cm^2 .

4.3.8 Reservatório (e correção do pH e desinfecção)

O Reservatório do efluente tratado é a última etapa do tratamento, onde ocorre o armazenamento e a correção de pH quando necessário. O reservatório pode ser construído de alvenaria ou até mesmo comprado por encomenda, o seu volume deve ser condizente com a vazão de saída do tratamento e ao consumo de água nas lavagens, de forma a armazenar seja capaz de armazenar toda a água tratada sem desperdícios em extravasares. Nesse processo também é necessária uma bomba para levar a água tratada para as caixas de água ligadas ao lavador de veículos.

Através das análises realizadas é possível identificar uma variação de pH de mais ou menos 3,30. É uma variação elevada, dessa forma deve ser sempre acompanhado seu valor para ver a necessidade de correção. Para a correção quando necessário, é indicado o uso de Óxido de Cálcio (CaO) devido seu baixo custo. Para esse processo é necessário a adição de um pHmetro para acompanhamento, uma bomba dosadora e tranque de produtos químicos para quando for necessário a adição do mesmo para realizar a correção.

Segundo a NBR 15527 (BRASIL, 2007), o pH deve ser de 6,0 à 8,0, devendo corrigir o potencial hidrogeniônico. Sabe-se que além da grande variação do pH, tendo inclusive valores da ordem de 4,0 (dado o produto de limpeza utilizado), que a coagulação também pode resultar no abaixamento do pH devido se tratar de um coagulante de caráter ácido, assim sendo, deve-se calcular a dosagem adequada para alcançar o valor mínimo de 6,0.

É ideal a adição de produtos químicos que visam a desinfecção do efluente levando em conta o que é exigido pela NBR 15527 de 2007 que coloca a necessidade da ausência de coliformes em 100mL. Pode ser usado o hipoclorito de sódio (NaClO) como desinfectante pela sua capacidade de evitar transmissões de doenças (CARVALHO, 2020).

4.4 Custos com o Tratamento

Levando em conta o tratamento proposto anteriormente, a Tabela 4.3 que tem os custos médios para implantação de cada etapa do tratamento da água residuária da lavagem de veículos visando o reúso. Esses valores foram avaliados através de uma pesquisa de mercado, onde foi entrado em contato com duas empresas por telefone e com a planilha orçamentária estação de tratamento de água realizada pelo Eng^o José Everaldo E. Prado em 2019.

Os serviços preliminares são definidos como os processos de movimentação de terras, serviços de topografia e fundações. Esse valor definido foi uma média, visto que sem o dimensionamento não é possível avaliar a área necessária.

Os equipamentos usados foram orçamentados já incluindo a instalação do mesmo. O reservatórios, as bombas e os tanques foram precificados usando valores encontrados no mercado. O volume do reservatório foi definido como 3 vezes o volume de efluente que entra no sistema de tratamento (25.000 L).

Tabela 4.3 – Custos de implantação do tratamento de água residuária da lavagem de veículos.

		Quantidade	Custo médio para vazão de 3 m ³
Serviços Preliminares	UN	1	700,00
Bomba dosadora de Coagulante	UN	1	4.000,00
Tanque de Coagulante	UN	1	3.250,00
Floculado	m ³	3	60.600,00
Decantador	m ³	3	34.500,00
Filtro	m ³	3	27.400,00
pHmetro	UN	1	10.000,0
Bomba dosadora para correção de pH	UN	1	4.000,0
Taque de produto químico para correção de pH	UN	1	3.250,00
Reservatório	UN	1	15.200,00
TOTAL			162.900,00

Fonte: Autor (2022)

Todos os custos foram baseados em uma estação de tratamento com vazão de 3 m³/h. Dessa forma a implantação do tratamento todo vai ser em média de R\$162.900,00, valor baixo diante da realidade do setor minerário. Estimativas apontam que o setor arrecadou somente no primeiro semestre de 2022, um montante de R\$ 1,5 bilhão (IBRAM,2022).

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, observou-se que:

- A água residuária da lavagem de veículos apresenta elevada concentração de O & G e sólidos, elevada turbidez e pH de ácido à básico, requerendo a passagem por algumas etapas de tratamento antes do seu aproveitamento;
- O uso do tratamento seguido por coagulação/floculação/decantação mostrou-se eficaz na redução da turbidez. Utilizando dosagem de 560 mg/L de cloreto férrico, tendo condições de mistura de 350 rpm por 1 min na coagulação, 50 rpm e 10 min na floculação e 20 min (sem mistura) na decantação, é possível reduzir a turbidez de 431 à 77,90 UNT;
- Nestas condições, o custo do tratamento ficaria em torno de R\$ 163 mil, um custo relativamente baixo perante implantações de outras tecnologias, e um valor baixo diante da arrecadação da atividade minerária e dos gastos necessários para outorga de água “nova”;
- Observando a NBR 15527 (BRASIL, 2007), ainda seria necessário reduzir a turbidez para possibilitar o reúso da água utilizada na lavagem de veículos. Recomenda-se então, a instalação de um sistema de dupla filtração que mostra em vários estudos a elevada eficiência na remoção de turbidez;

Recomenda-se a realização de mais estudos avaliando a concepção idealizada, de forma a confirmar a expectativa de adequação da qualidade da água.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Informe mineral 02Tri2021**. Brasília, DF. https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/informe-mineral/publicacoes-nacionais/informe02tri2021_editorado_final_.pdf. Acesso em 23 de agosto de 2022.
- ALTHAUS, M; ROSA G. S. **Caracterização e tratamento do efluente oriundo de lavagem automotiva do município do Bagé-RS**. Bagé, RS, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília, DF, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12. 235**: Armazenamento de resíduos sólidos perigosos. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12. 216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13. 969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14. 605**: Posto de serviço - Sistema de drenagem oleosa. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12. 209**: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.
- BORDONALLI, Ângela C. O.; MENDES, Carlos G. N. **Reuso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD**. Eng Sanit Ambient, n.2, v.14, São Paulo, SP. 235-244p., 2009.
- CAMPOS, R. F. F. et al. **Análise da interação de um sistema separador de água e óleo de um processo de lavagem de motores com o município de Caçador, Santa Catarina, Brasil**. InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade, n.2, v.12, 2017.

CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAES, L. C. K. **Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleifera Lam.** Acta Scientiarum. Technology, n.2, v.30, 193-198p., 2008.

CARISSIMI, Elvis et al. **Reaproveitamento de Água Ácidas Residuais da mineração de carvão.** Ouro Preto, MG, 2007.

CARVALHO, Ruan; DUARTE, Paulo; MANCA, Ricardo S.; Tratamento da água para reuso na lavagem automotiva. **Revista Prospectus**, n.2, v.2, Mogi Guaçu, SP. 244 -271p., 2020.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2011). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2005). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2005). **Resolução nº 362, de 23 de junho de 2005.** Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. Ministério do Meio Ambiente.

COSTA, Sabrina S.; DESCOVI FILHO, L. L. V. OLIVEIRA JUNIOR, J. M. B. **Esforços da pesquisa brasileira sobre mineração e impactos ambientais: uma visão geral de cinco décadas (1967-2017).** Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, n.2, v.11, 296-313p., 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Água e Mineração: fatos e verdades.** <https://ibram.org.br/noticia/agua-e-mineracao-fatos-e-verdades/#:~:text=O%20Plano%20Estadual%20de%20Recursos,em%20cursos%20de%20C3%A1gua%20superficiais>. Acesso em 19 de agosto de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Mineração em Números: 1º trimestre de 2020**. <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/06/Infografico-Mineracao-em-Numeros-1o-trimestre-2020-1.pdf>. Acesso em 21 de agosto de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Mineração em Números: Dados econômicos trimestrais**. <https://ibram.org.br/mineracao-em-numeros/>. Acesso em 23 de setembro de 2022.

LEPPA, A. S. **Sistema De Separação De Água E Óleo Em Atividades Automotivas – Considerações Gerais**. Lajeado, 2015.

LOPES, G.R. ; SANTOS, R. M. ; TÁVORA, B. E. ; KOIDE, S.. **Estudos sobre correlação entre turbidez e sólidos em suspensão para estimativas de vazão sólida em pequena bacia**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande - MS. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

MATOS, A.T.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V.; PEREIRA, P.A.; MATOS, M. P. **Tratamento da água para reuso no descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro**. Engenharia na Agricultura. (Impresso), v.15, Viçosa, MG. 173-178p., 2007.

MATOS, A. T. ; MATOS, M. P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. UFV, v. 1, 1a ed, Viçosa, MG. 371p., 2017.

MELLO, V. F. B. et al. **Variáveis no processo de coagulação /floculação/decantação de lixiviados de aterros sanitários urbanos**. *Ampli-Água*, n.2, v.7, Taubaté, SP. 88-100p., 2012.

MORELLI, E. B. **Reuso de água na lavagem de veículos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRENCH, O.F. **Reclaiming partially clogged trickle emitters**. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, n.2, v.20, 278-280p., 1977.

NASCIMENTO, J. C. S. et al. **Mineração através do beneficiamento à seco em Canaã dos Carajás-Pa: alternativa para a barragem de rejeitos**. *Braz. J. of Develop*, n.10, v.6, Curitiba, PR. 80788-80800p., 2020.

PAULA, Heber M.; FERNANDER, Carlos E. **Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos.** Eng Sanit Ambient, n.5, v.23, p.951-961, Catalão, GO. 2018.

PRADO, J. E. E. **Planilha Orçamentária Estação de Tratamento de Água.** 2019. <http://www.jaguariuna.sp.gov.br/portais/licitacoes/wp-content/uploads/2020/03/94-Planilha-Or%C3%A7ament%C3%A1ria.pdf>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada.** Editora Eddgar Blucher Ltda, 13ª reimpressão, 2018.

SANTOS, T. P.; MIRANDA, A. R. C.; SARDINHA, A. S.; SOARES, J. S. **II-145- Proposta de um sistema de reúso de água residuária em um lava-jato no município de Marabá-Pará:** Estudo de caso do lava-jato GL. Congresso da ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), 2017.

SARAIVA, C. B.; MENDONÇA, R. C. S.; SANTOS, A. L.; PEREIRA, D. A. Consumo de água e geração de efluente em uma indústria de laticínios. **Rev. Inst. Latic.** “Cândido Tostes”, nº 367/368, v. 64: 10-18p., 2009.

SOUZA, C. D. R.; FERREIRA, I. B. P.; CUSTÓDIO DA SILVA, O.; VERONEZE, G. M. **Análise comparativa do cloreto férrico e sulfato de alumínio utilizado no processo de tratamento da água do Rio Solimões.** Brazilian Journal of Development, n.2, v.8, Curitiba, PR. 13056-13070p., 2022.

SUBTIL, Eduardo L.; MIERZWA, José C; HESPANHOL, Ivanildo; RODRIGUES, Raphael. **Potencial de reúso de água na lavagem de caminhões utilizando Contator Biológico Rotativo.** Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, n.4, v.11, Taubaté, SP. 851-866p., 2016.

THEODORO, J. D., MADRONA, G. S., THEODORO, P. S., Veit, M. T., BERRGAMASCO, R.. **Uso da cinética de ordem zero e primeira ordem do cloreto férrico para purificação de água.** VII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, 2011.

YAMAGUCHI, Yamaguch et al. **Importância do tamanho das partículas de coagulantes inorgânicos e orgânicos provenientes das plantas (Moringa oleifera E TANINO)**

tratamento de água. 30º Congresso ABES (congresso Brasileiro de engenharia ambiental e sanitária) 2019.