728 - AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA ETAPA DE SEDIMENTAÇÃO ANTERIOR À ETAPA DE FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DO POLIMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, COM VISTAS NA REDUÇÃO DO CONSUMO DE POLÍMERO FLOCULANTE

Maurício Sartori[(1)]
Engenheiro de Minas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo e Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professor do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal de Educação do Espírito Santo (IFES) – Campus Vitória
Stéfany Neves Louro[(2)]
Engenheira Sanitarista e Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - Campus Vitória.

Endereço[(1)]**:** Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara - Vitória - ES - CEP: 29040-780 - Brasil - Tel: +55 (27) 3331-2237 - e-mail: **msartori@ifes.edu.br.**

RESUMO

Neste trabalho foi avaliada a viabilidade técnica de se reduzir o consumo de polímero floculante no tratamento dos efluentes gerados no beneficiamento secundário de rochas ornamentais, introduzindo uma etapa de sedimentação anterior a etapa de floculação. Na indústria de rochas ornamentais os maiores impactos ambientais negativos se dão, normalmente, aos resíduos gerados em todas as etapas, bem como ao significativo consumo de eletricidade e água. Nesse setor, o tratamento de efluentes consiste na adição de floculante ao efluente líquido e posterior sedimentação. No processo de sedimentação, o sólido sedimenta por meio da gravidade quando possui densidade e tamanho de partícula necessário para tal (SILVEIRA, 2010). Visando avaliar a influência no consumo de polímero floculante da implantação de uma etapa de sedimentação antes da etapa de floculação (aqui chamada de sedimentação prévia) no tratamento do efluente gerado no processo de beneficiamento secundário de rochas ornamentais, e partindo da hipótese de que parte dos sólidos em suspensão nos efluentes gerados nessa etapa do beneficiamento apresentam tamanho e massa que os permite sedimentar, sem acréscimo de substância que promova agregação, este estudo submeteu o efluente advindo do beneficiamento secundário de rochas ornamentais a três tempos de sedimentação prévia (30, 60 e 120 segundos) com posterior floculação, variando-se a dosagem de polímero floculante, e avaliou a eficiência na remoção de turbidez. Esta análise mostrou que ao submeter o efluente a quaisquer um dos tempos de sedimentação prévia (30, 60 e 120 segundos), é possível atingir, com apenas 40% da dosagem inicial de floculante (0,9 mg/L), um valor de turbidez entre 63 a 66 NTU, que corresponde a menos da metade do valor de turbidez do efluente tratado sem sedimentação prévia (igual a 135 NTU). Para o tempo de 60 segundos de sedimentação prévia, foi encontrado valor de turbidez de até 35 NTU. O incremento testado, ainda, abre caminhos para outros estudos, visto que pode proporcionar redução do custo total de tratamento e aumento da capacidade produtiva, dado que a menor dosagem de sólidos no efluente tratado gera menos danos aos equipamentos que utilizam a água de reuso no seu funcionamento, podendo diminuir o número de paradas para manutenção e, ainda, os danos ambientais relacionados ao uso de grandes quantidades de polímeros floculantes.

PALAVRAS-CHAVE: Rochas ornamentais, Beneficiamento secundário, Sedimentação, Floculação, Tratamento de efluentes.

INTRODUÇÃO

Na indústria de rochas ornamentais grande parte dos impactos ambientais negativos estão relacionados com os resíduos gerados em todas as etapas, bem como com o significativo consumo de energia elétrica e água (BESSA, 2013). No beneficiamento secundário, onde as chapas ora desdobradas dos blocos, passam por processos abrasivos com o intuito de reduzir as imperfeições superficiais e conferir brilho ao material rochoso (MARTINS e SILVEIRA, 2020), há a produção de uma grande quantidade de efluente, cujo principal constituinte é o pó de rocha, o qual é removido por processos de agregação com posterior sedimentação. Uma vez que a carga de

sólidos é consideravelmente reduzida, a água proveniente do tratamento deste efluente é, então, reintroduzida ao processo, criando assim um circuito fechado, reduzindo o consumo de água nova.

Para a realização das etapas de tratamento descritas, faz-se necessária a floculação dos sólidos em suspensão por meio da adição de polímeros floculantes que possibilitam a formação de flocos com tamanho e massa suficientes para serem removidos por sedimentação (SOARES, 2019).

Sabe-se que a dosagem de polímero floculante está relacionada com a carga de sólidos do efluente, uma vez que estes reagentes promovem a agregação dos particulados aderindo-os às longas cadeias dessas moléculas, formando pontes que se enlaçam de modo a formar agregados maiores (BALTAR, 2018). Por outro lado, nas etapas iniciais do polimento, há o desgaste grosseiro da rocha, que gera particulados com tamanhos capazes de sedimentar com elevadas velocidades de sedimentação, mesmo sem agregação.

Diante desses fatos, surge a seguinte questão: é possível adicionar uma etapa de sedimentação anterior à floculação, de modo a reduzir a quantidade de sólidos e, consequentemente, reduzir a dosagem de polímeros floculantes?

Buscando responder essa pergunta, o presente trabalho avaliou a eficiência de remoção de turbidez de um efluente real do polimento de rochas ornamentais, submetendo-o a uma etapa de sedimentação anterior à adição do polímero floculante (aqui referida como sedimentação prévia), variando-se os tempos desta sedimentação, bem como a dosagem de reagente, de modo a observar se é possível alcançar valores de turbidez semelhantes aos praticados na indústria na qual o efluente foi coletado com menores dosagens de floculantes.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica de se reduzir o consumo de polímero floculante no tratamento dos efluentes gerados no beneficiamento secundário de rochas ornamentais, introduzindo uma etapa de sedimentação anterior a etapa de floculação.

MATERIAIS E MÉTODOS

A avaliação proposta neste trabalho foi realizada mediante ensaios em escala de laboratório, conhecidos como teste de jarros (jar test), de um efluente real coletado em uma empresa de beneficiamento de rochas ornamentais.

Foram avaliados três tempos de sedimentação anteriores à floculação, de modo a determinar o tempo que se mostre suficiente para promover a redução do consumo de reagente, mas que não seja demasiado elevado, o que tornaria o processo de implantação oneroso, uma vez que quanto maior o tempo de sedimentação, maior deverá ser o tanque que o realizará na indústria. Assim, definiu-se que o efluente sedimentará pelos tempos de 30s, 60s e 120s. Após esse tempo de sedimentação prévia, os particulados sedimentados foram removidos por sifonação, e o sobrenadante foi levado às cubas do jar test para a realização dos ensaios. Os ensaios de jar test seguiram o procedimento descrito em Di Bernardo et al. (2011), obedecendo os parâmetros descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros dos ensaios Jar Test.

ETAPA	TEMPO (s)	GRADIENTE DE VELOCIDADE (s^{-1})
Mistura Rápida	20	1500
Mistura Lenta (floculação)	600	50
Sedimentação	60 e 120*	0

*Foram avaliados dois temos de sedimentação após floculação.

As amostras coletadas nos ensaios foram submetidas a análises de turbidez e pH residual.
As etapas do procedimento experimental são apresentadas na Figura 1.

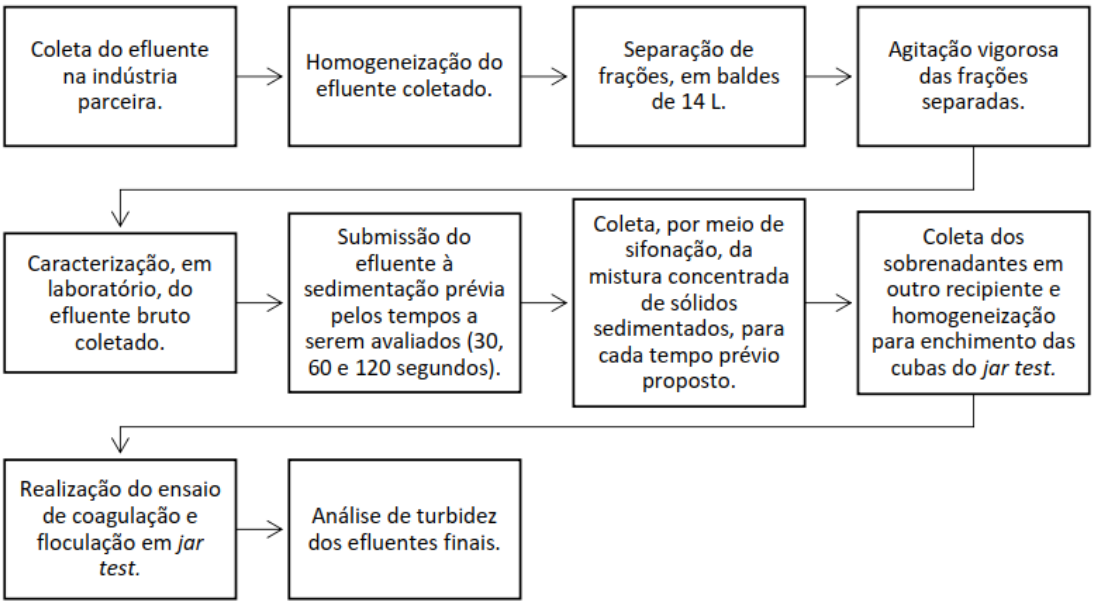

Figura 1: Etapas do procedimento experimental.

No procedimento experimental descrito acima, pode-se identificar duas etapas distintas: uma etapa preliminar, que compreende a coleta, homogeneização, separação das frações e caracterização do efluente industrial, e uma etapa experimental, que compreende as etapas de sedimentação prévia, separação das misturas concentradas de sólidos sedimentados e coleta dos sobrenadantes, realização dos ensaios em jar test e análise da turbidez final. As duas etapas de trabalho serão descritas a seguir:

ETAPA PRELIMINAR: DA COLETA À CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO COLETADO

A coleta do efluente foi realizada em uma indústria de referência no mercado de mármores, granitos e quartzos da Grande Vitória, cuja razão social não será exposta, respeitando as solicitações da mesma. O efluente foi coletado na saída das politrizes, com coletas ao longo do tempo de 20 minutos de operação, em tempos regulares, formando uma amostra composta e representativa do efluente gerado no processo produtivo. Esta amostragem foi acompanhada pela profissional responsável pelo processo de tratamento de efluentes da empresa, a qual repassou dados necessários ao desenvolvimento do estudo (Tabela 2).

Tabela 2: Informações recebidas da indústria parceira.

PARÂMETRO	VALOR
Concentração de Coagulante	145 g/L
Concentração de Floculante	0,9 g/L
pH final do Efluente Tratado	6,0 a 7,0
Dosagem de Coagulante Utilizado nos Testes de Bancada	0,05 mL/L
Dosagem Ótima de Floculante, Via Testes de Bancada Realizados na Indústria	1,0 mL/L

A indústria em questão realiza o processo de beneficiamento secundário das rochas ornamentais em duas etapas, ambas realizadas em equipamentos chamados politrizes (Figura 1a), as quais utilizam abrasivos aprisionados em satélites (cabeças) giratórios (Figura 1b) que os fricciona sobre as chapas. A primeira etapa, chamada levigamento, tem como objetivo o desbaste inicial das chapas brutas, utilizando abrasivos de maior granulometria, gerando, consequentemente, particulados de maior tamanho. A segunda etapa, chamada de polimento, visa diminuir imperfeições e dar brilho às chapas já levigadas e, para isso, faz uso de resina orgânica, que inviabiliza armazenagem do efluente coletado, visto que o torna não inerte, alterando de forma significativa suas características. Por isso, o presente estudo fez uso do efluente gerado na primeira etapa, que, além de

apresentar sedimentos de maior granulometria é um efluente inerte, já que não utiliza resina, sendo este o efluente ideal para o estudo proposto.

(a)

Fonte: SIMEC (2022).

(b)

Fonte: INSTITUTO ROCHAS (2020).

Figura 1: (a) Politriz automática de 21 cabeças, e (b) satélites giratórios.

Foram escolhidos dois pontos de coleta localizados na saída das politrizes que realizam o levigamento (marca SIMEC – 21 cabeças), chamadas na indústria de levigadoras, para obtenção de amostra composta. O resíduo se encontrava na forma de polpa, com aproximadamente 1% de sólidos. Foram coletados 100L de efluente, que foram homogeneizados e separados em sete amostras do efluente bruto, sendo 01 (uma) utilizada para caracterização do efluente bruto e 06 (seis) utilizadas para as rodadas de Jar Test. O volume foi estimado levando em consideração a rodada de 3 (três) Jar Test, no qual há o consumo de, em média, 12 L por rodada. As três execuções se justificam por conta das três variações de tempo de sedimentação propostas. Além disso, para fim de analisar a reprodutibilidade estatística dos ensaios, foram executadas 2 (duas) rodadas de cada tempo. A caracterização e os testes ocorreram na mesma semana de coleta, visando a preservação de características do efluente.

Durante a operação, são utilizadas 19 cabeças em cada levigadora. A vazão média de cada uma das levigadoras é de 30 L/min, por cabeça.

Por meio de métodos de leitura direta de turbidez (turbidímetro digital AP2000 Policontrol) e pH (pHmetro Bel Engineering PHS3BW), e gravimétricos (sólidos suspensos totais), foi realizada a caracterização do efluente bruto coletado.

RESULTADOS DA ETAPA PRELIMINAR

Para caracterização do efluente bruto coletado foram separados cerca de 02 (dois) litros de amostra, necessários para que fossem executadas as etapas de determinação de sólidos suspensos totais (SST), turbidez e pH. Os resultados obtidos seguem na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização do Efluente Bruto - resultados.

PARÂMETRO	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE	RESULTADO
pH	Direto, Potenciométrico	----------	6,50
SST	*Standard Methods*, Gravimétrico	% (m/m)	0,9029
Turbidez	Direto, Nefelométrico	NTU	12.375

ETAPA EXPERIMENTAL: VARIAÇÃO DOS TEMPOS DE SEDIMENTAÇÃO PRÉVIA VERSUS DOSAGEM DE FLOCULANTE

A etapa de sedimentação prévia foi realizada a partir das alíquotas separadas na etapa anterior. Para cada tempo de sedimentação prévia proposto (30, 60 e 120 segundos), foram utilizadas duas alíquotas, de modo a permitir a realização de duas rodadas de Jar Test para cada tempo. Os tempos propostos foram definidos pensando na

aplicabilidade deste projeto em escala real, visando encontrar resultados promissores em tempos que permitam a implantação de um tanque de sedimentação que ocupe menos área útil da empresa.

Para a realização da sedimentação prévia, foi necessário o desenvolvimento de uma metodologia específica, na qual cada alíquota é vigorosamente agitada por cerca de 30s. Após esse tempo, a agitação é imediatamente cessada, e inicia-se a contagem de tempo de sedimentação prévia. Passado o tempo desejado, remove-se por sifonação a parte inferior da alíquota que se encontra com elevada concentração de particulados devido à sedimentação dos sólidos correspondente a cada tempo.

Para controle da quantidade de líquido sem desperdício, foi utilizado um balde graduado de 14 L, do qual foram medidos os diâmetros (da base e do topo) e altura, para que fosse calculado o volume da porção a ser sifonada, por meio da fórmula do volume do tronco de cone. O volume encontrado referente a essa faixa do balde foi de 1,7 L. Para correta contagem do tempo de sedimentação, foi necessário calcular o tempo levado para remoção desse volume com o auxílio de um galão graduado, utilizado para coleta dos sedimentos, através da mangueira utilizada como sifão. O tempo para enchimento do galão até o volume supracitado foi de 20 segundos. Para evitar a influência do tempo de sifonação no tempo de sedimentação, iniciou-se a este processo 10 segundos antes do término do tempo de sedimentação e o estendeu até 10 segundos após o término do tempo (por exemplo, para o tempo de sedimentação de 30 segundos, iniciou-se a sifonação após 20 segundos de sedimentação e finalizou-se aos 40 segundos após o início da sedimentação).

Após a etapa de sedimentação prévia, realizou-se os ensaios de Jar Test, utilizando as soluções de floculante e coagulante doadas pela indústria da qual foi coletado o efluente, para que os resultados fossem correlatos aos de campo. As soluções foram armazenadas na geladeira durante a semana de experimentos.

O primeiro reagente adicionado no tratamento do efluente da indústria é o cloreto férrico (coagulante), a uma dosagem de 7,25 mg/L, a partir de uma solução estoque com concentração de 145 g/L. O segundo reagente adicionado é o polímero floculante catiônico, cuja dosagem utilizada na indústria é de 0,9mg/L, a partir de uma solução estoque com concentração igual a 0,9 g/L. Não há ajuste de pH.

Foram inseridos nos jarros (contendo 2,0 L de efluente cada) 0,1 mL da solução de coagulante obtida da indústria e se manteve igual em todos os jarros, visto que este não foi alvo do presente estudo. A dosagem inicial de floculante (D0) utilizada foi de 0,9 mg/L, o que corresponde a 2,0 mL de solução para 2,0 L de efluente, visto que esta dosagem corresponde a dosagem ótima encontrada pela engenheira química da indústria parceira nos seus testes de bancada, e utilizada na indústria. Na Tabela 4 abaixo, as dosagens de solução de coagulante e floculante utilizados no experimento seguem discretizadas.

Tabela 4: Dosagens de coagulante e floculante utilizados nos testes de bancada.

JARROS	DOSAGEM DE COAGULANTE		VARIAÇÃO DA DOSE DE FLOCULANTE	DOSAGEM DE FLOCULANTE	
	mg/L	mL/L		mg/L	mL/L
1	7,25	0,05	0,1D0	0,09	0,1
2	7,25	0,05	0,2D0	0,18	0,2
3	7,25	0,05	0,4D0	0,36	0,4
4	7,25	0,05	0,6D0	0,54	0,6
5	7,25	0,05	0,8D0	0,72	0,8
6	7,25	0,05	1,0D0	0,90	1,0

Para que o processo de floculação seja eficiente, devem ser realizadas, respectivamente, agitação intensa (mistura rápida) e moderada (mistura lenta). O Tempo de Mistura Rápida (TMR) ocorre imediatamente após o contato do efluente com as soluções inseridas, para que aconteçam interações entre coagulante, floculante e efluente; e, como seu próprio nome traz, consiste num período curto de tempo de forte agitação, medida por meio do gradiente de velocidade (G). O Tempo de Mistura Lenta (TML) ocorre após o TMR e consiste na agitação mecânica em nível moderado, por um tempo consideravelmente maior do que o TMR. O TML promove o choque entre as partículas, levando a formação e crescimento dos flocos, favorecendo a sedimentação ao mesmo tempo que este gradiente de velocidade (G), expressamente menor que o primeiro, assegura a não desagregação dos flocos já formados.

Os ensaios de floculação, foram realizados no equipamento Floccontrol IV 6 provas. O equipamento foi programado manualmente para melhor execução do trabalho proposto. O TMR utilizado neste experimento foi de 20 segundos com gradiente de velocidade de 1.500 s^{-1} , seguidos por 10 minutos de TML com gradiente de velocidade de 50 s^{-1}. Primeiro, foram preenchidas todas as cubas e iniciado o programa, instantaneamente inserindo a dosagem de 0,1 mL de coagulante em todos os jarros e, logo após, ainda na fase de mistura rápida, um tubo de ensaio com floculante em cada recipiente, com as seguintes dosagens: 0,1D0; 0,2D0; 0,4D0; 0,6D0; 0,8D0; 1D0, onde D0 é a dosagem de floculante empregada na indústria onde o efluente foi coletado e é igual a 0,9mg/L de efluente. Os volumes de floculante inseridos em cada jarro foram descritos na Tabela 4. Ao encerrar a mistura rápida, de duração de 20 segundos, inicia-se a fase de mistura lenta por 10 minutos. Ao terminar esta última, a amostra foi deixada em repouso, respectivamente, pelos tempos de 1 (um) e 2 (dois) minutos. Depois de aguardar cada tempo de sedimentação, foram coletadas em béqueres de 50 mL amostras para serem avaliadas a turbidez residual e o pH resultantes de cada dosagem de floculante, para cada tempo de sedimentação prévia proposto, bem como para cada tempo de sedimentação.

RESULTADOS DA ETAPA EXPERIMENTAL

Os valores de turbidez encontrados para as duas rodadas de Jar Test cujo efluente bruto foi submetido a 30, 60 e 120 segundos de sedimentação prévia, para as 06 (seis) dosagens de floculante e para os dois tempos de sedimentação após floculação (referenciados a partir daqui apenas como "tempo de sedimentação"), bem como os valores de pH de cada amostra, seguem discretizados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados Submissão do Efluente Bruto submetido a 30, 60 e 120 segundos - Jar Test

D/D0	1ª RODADA			2ª RODADA			VALORES MÉDIOS ENTRE AS DUAS RODADAS		
	TURBIDEZ (NTU)		pH	TURBIDEZ (NTU)		pH	TURBIDEZ (NTU)		pH
	1 min.	2 min.		1 min.	2 min.		1 min.	2 min.	
TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO PRÉVIA: 30 SEGUNDOS									
0,1	1301	4079	6,90	1267	3697	6,55	1284	3888	6,72
0,2	1517	457	6,92	1500	424	6,84	1508	449	6,88
0,4	177	67	6,91	197	60	6,91	187	63	6,91
0,6	137	51	6,90	51	94	6,87	94	72	6,88
0,8	247	46	6,90	88	45	6,93	167	45	6,91
1,0	129	39	6,93	81	43	6,86	105	41	6,89
TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO PRÉVIA: 60 SEGUNDOS									
0,1	4329	1982	6,88	3483	1140	6,92	3906	1561	6,90
0,2	1471	316	6,36	1072	299	6,94	1272	308	6,65
0,4	270	60	6,68	520	72	6,97	395	66	6,82
0,6	147	38	6,68	60	44	6,62	103	41	6,65
0,8	335	34	6,66	51	34	6,87	193	34	6,76
1,0	129	40	6,57	49	29	6,91	89	35	6,64
TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO PRÉVIA: 120 SEGUNDOS									
0,1	3854	1423	6,58	4646	1427	6,90	4250	1425	6,74
0,2	1367	488	6,57	1556	486	6,84	1462	487	6,70
0,4	272	63	6,92	233	69	6,85	252	66	6,88
0,6	123	59	6,34	89	59	6,82	106	59	6,58
0,8	79	44	6,78	62	42	6,82	70	43	6,80
1,0	87	45	6,91	45	39	6,70	66	42	6,80

A Figura 2 ilustra que no tempo de sedimentação de 1 minuto, a partir da dosagem de 0,6D0 de floculante, a turbidez encontrada ficou abaixo do valor medido do efluente tratado coletado na indústria (turbidez de 135NTU), resultando numa economia de 40% da dosagem de floculante utilizada. Para o tempo de sedimentação de 2 minutos, a partir da dosagem de 0,4D0 de floculante, a turbidez encontrada ficou abaixo do valor medido

do efluente tratado coletado na indústria, resultando numa economia de 60% da dosagem de floculante utilizada. O pH de todas as amostras se manteve neutro, dentro da faixa desejada, entre 6,0 e 7,0.

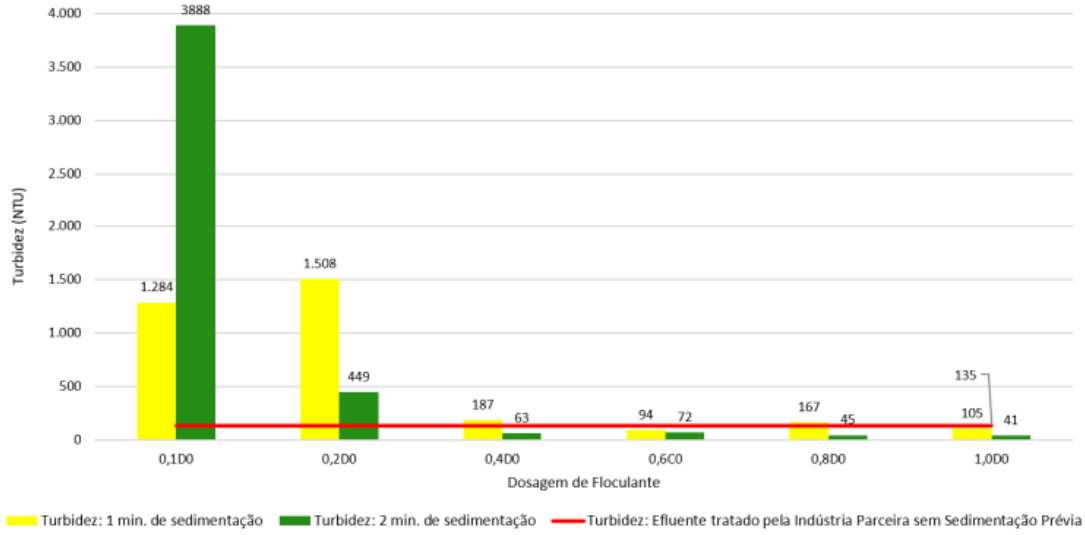

Figura 2: Resultado - Efluente submetido à sedimentação prévia de 30 segundos.

Na Figura 3, observa-se que com tempo de sedimentação de 1 minuto e dosagens de 0,6D0 e 1,0D0 a turbidez encontrada ficou abaixo do valor medido do efluente tratado coletado na indústria, podendo ser alcançada uma economia de até 40% da dosagem de floculante utilizada.

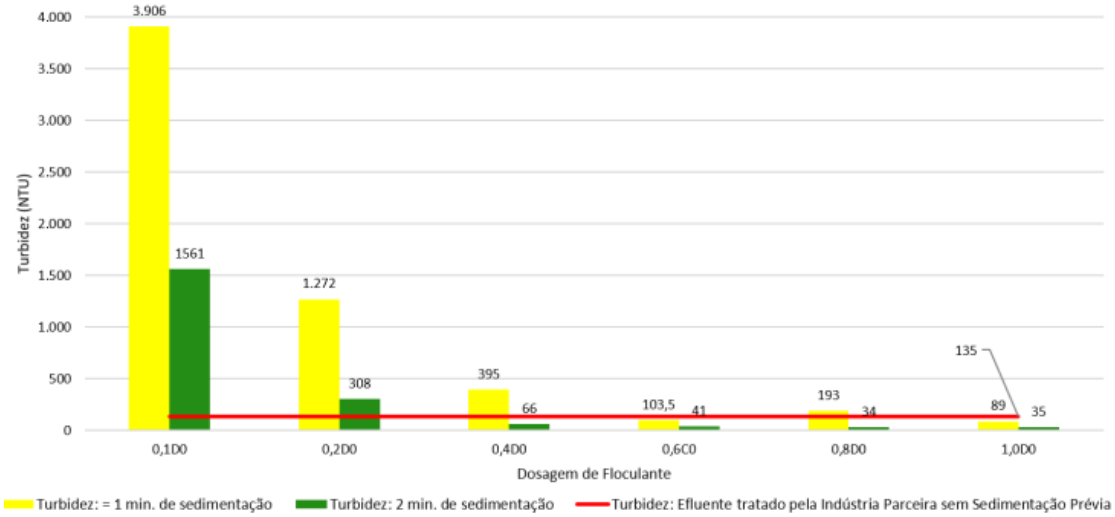

Figura 3: Resultado - Efluente submetido à sedimentação prévia de 60 segundos.

Para o tempo de sedimentação de 2 minutos, a partir da dosagem de 0,4D0 de floculante, a turbidez encontrada ficou abaixo do valor medido do efluente tratado coletado na indústria, resultando numa economia de até 60% da dosagem de floculante utilizada. Para este tempo observa-se, ainda, que o efluente submetido a sedimentação prévia de 60 segundos, quando tratado com dosagens de 0,8D0 ou 1,0D0 de floculante e tempo de sedimentação de 2 minutos, o valor de turbidez encontrado é 75% menor do que a turbidez do efluente tratado na indústria, que não é submetido a nenhuma etapa de sedimentação prévia.

O efluente tratado analisado neste item, para todas as variações de dosagem de floculante, apresentou valores de pH entre 6,0 e 7,0.

Na Figura 4, pode-se perceber que com tempo de sedimentação de 1 minuto, a partir da dosagem de 0,6D0 de floculante, a turbidez encontrada ficou abaixo do valor medido do efluente tratado coletado na indústria, resultando numa economia de 40% da dosagem de floculante utilizada. Para o tempo de sedimentação de 2 minutos, a partir da dosagem de 0,4D0 de floculante, a turbidez encontrada ficou abaixo do valor medido do efluente tratado coletado na indústria, resultando numa economia de 60% da dosagem de floculante utilizada. Para o tempo de sedimentação prévia de 120 segundos, do mesmo modo que os demais, os valores de pH encontrados para todas as amostras se mantiveram entre 6,0 e 7,0.

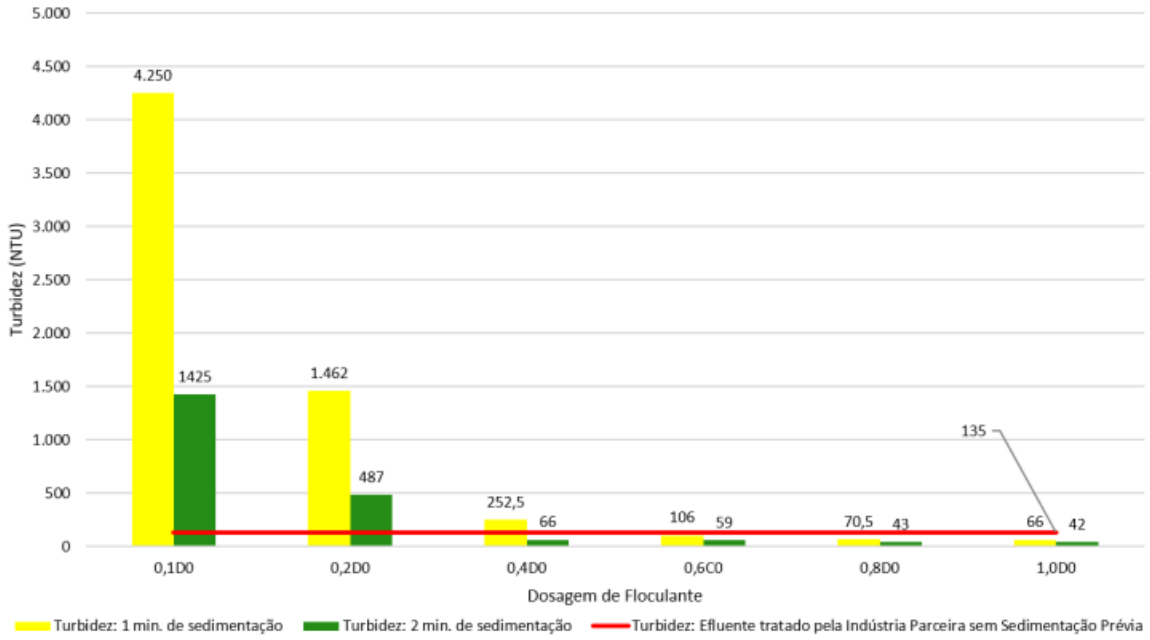

Figura 4: Resultado - Efluente submetido à sedimentação prévia de 120 segundos.

Na Figura 5, são comparados os valores de turbidez encontrados em todos os tempos de sedimentação prévia, com tempo de sedimentação de 1 minuto, e dosagens de 0,6D0; 0,8D0 e 1D0, dosagens estas que apresentaram os menores valores de turbidez.

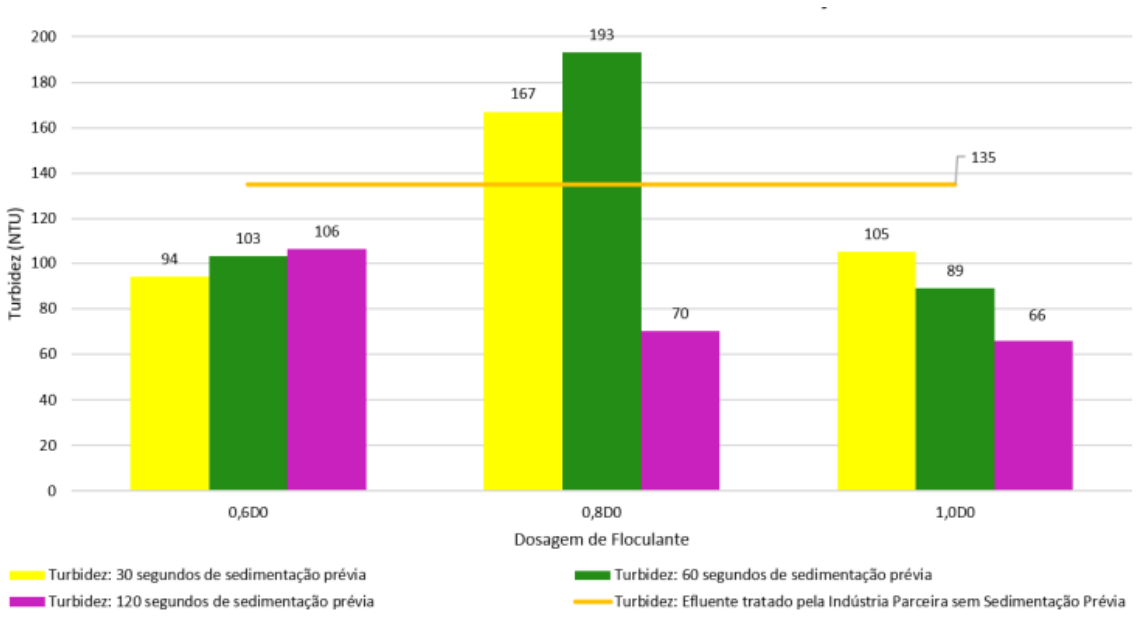

Figura 5: Melhores resultados de turbidez com 1 minuto de sedimentação final.

Na Figura 6, são comparados, do mesmo modo, os valores de turbidez encontrados em todos os tempos de sedimentação prévia, com tempo de sedimentação de 2 minutos, e dosagens de 0,4D0; 0,6D0; 0,8D0 e 1,0D0, visto que estas foram as dosagens de floculante que resultaram em menores valores de turbidez.

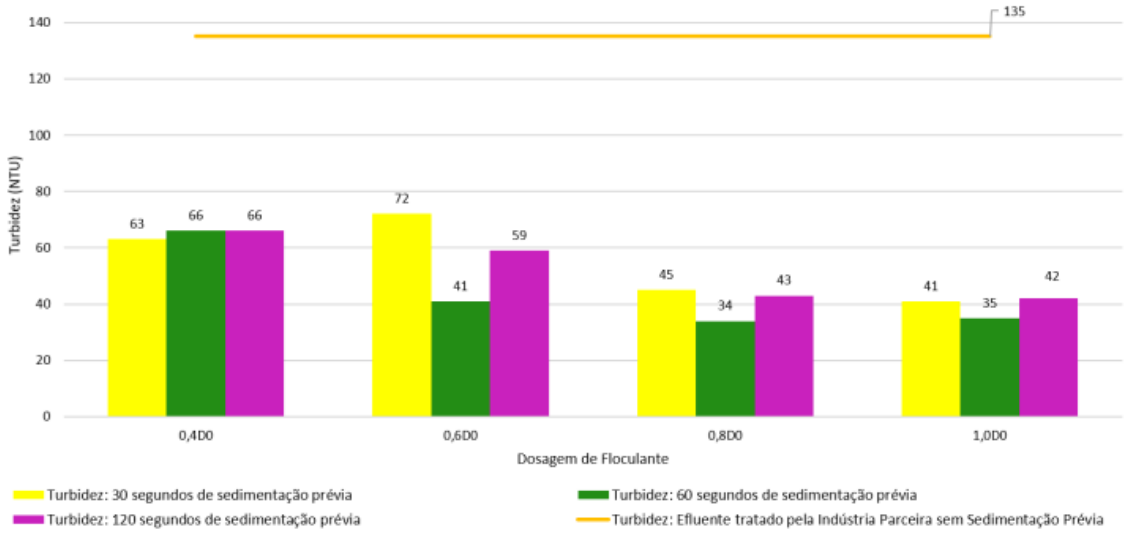

Figura 6: Melhores resultados de turbidez com 2 minuto de sedimentação final.

Todos os tempos de sedimentação prévia analisados para as dosagens de 0,6D0 e 1,0D0 atingiram valores de turbidez menor do que o medido do efluente tratado da indústria, para ambos os tempos de sedimentação.

Os resultados ilustrados acima demonstram que com tempos de sedimentação de 2 minutos os valores de turbidez obtidos são menores. Este resultado já era esperado, visto que quanto maior o tempo de sedimentação, mais flocos tem a oportunidade de sedimentar.

Tendo em vista a economia de polímeros floculantes, a dosagem de 0,4D0 atinge bons valores de turbidez para os três tempos de sedimentação prévia, analisando os resultados para 2 minutos de sedimentação final.

Visando atingir, além da economia de polímeros, maior capacidade operacional da indústria parceira, com menos paradas de manutenção, a dosagem de 0,6D0 para o tempo de 60 segundos de sedimentação prévia e tempo de sedimentação de 2 minutos traz resultados promissores.

A avaliação do melhor tempo de sedimentação prévia em função da redução do consumo de floculante e valor de turbidez é importante para que seja possível verificar a viabilidade do método proposto neste trabalho, que estuda a adição da etapa de sedimentação, frente ao tempo gasto e local para realização da mesma para alcançar uma eficiência que justifique sua implementação.

Como a floculação com o uso de polímeros floculantes se dá mais efetivamente pela adesão das partículas ao longo da molécula do polímero (Bridging flocculation), e que há um limite de partículas que podem aderir a cada tamanho de molécula, esperava-se que a redução de particulados em etapa anterior à adição do reagente permitisse obter-se uma remoção de turbidez compatível com os valores normalmente praticados na indústria de rochas ornamentais, empregando uma menor dosagem de polímero floculante. Tendo isto em vista, os resultados obtidos nas rodadas experimentais foram mais interessantes do que o esperado, visto que o melhor tempo de sedimentação prévia frente ao valor de turbidez encontrado foi o de 60 segundos, não sendo este o maior tempo de sedimentação prévia, quando observando o gráfico para tempo de sedimentação de 2 minutos.

A observância da maior remoção de turbidez não ocorrer no maior tempo de sedimentação prévia avaliado, apesar de intrigante em primeiro momento, pode ser justificável. Os experimentos realizados neste trabalho partiram da análise do efluente bruto advindo do beneficiamento secundário de rochas ornamentais realizado por uma levigadora, aquela que realiza polimentos mais grosseiros, retirando da chapa bruta partículas de maior

granulometria. Segundo estudo prático de Sari et al. (2017), os tamanhos das partículas interferem linearmente nos resultados da turbidez, sendo, para toda situação estudada em seu projeto, o aumento da turbidez inversamente proporcional ao tamanho das partículas.

Os experimentos laboratoriais comprovaram, então, a hipótese de que parte dos sólidos em suspensão nos efluentes gerados nessa etapa do beneficiamento apresentam tamanho e massa que os permite sedimentar em um tempo de 60 segundos, sem acréscimo de reagentes que promovam agregação. Do mesmo modo, o estudo revela que dos três tempos propostos (30, 60 e 120 segundos), o tempo de 60 segundos é aquele que permite que a quantidade de partículas de maior granulometria ainda presentes no efluente submetido ao tempo supracitado de sedimentação prévia seja suficiente para promover uma floculação mais eficiente, gerando flocos de maior peso, que após 2 minutos de sedimentação final, acarretam em valores de turbidez esperados, proporcionando redução significativa (de até 60%) da quantidade de polímero floculante necessário para promover a floculação dos particulados restantes no efluente. Estima-se que, com o tempo de 120 segundos, grande parte dos particulados maiores que, segundo Sari (2017), interferem menos na turbidez, tenham sido removidos, não fazendo parte dos agregados formados durante a floculação, o que gerou flocos menos densos do que os formados com o menor tempo de sedimentação prévia.

CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu conhecer e analisar o tratamento de efluentes advindos do beneficiamento secundário de rochas ornamentais, tornando possível identificar os gargalos do processo atualmente implementado.

Visando atingir os objetivos deste projeto, foi realizada a caracterização do efluente coletado. Nessa fase, identificou-se que o percentual de sólidos suspensos totais é de aproximadamente 1% m/m, reforçando, então, a aplicabilidade da implementação do processo proposto.

A análise da variação dos tempos de sedimentação prévia *versus* a dosagem de floculante mostrou que, submetendo o efluente a quaisquer um dos tempos de sedimentação prévia (30, 60 e 120 segundos), é possível atingir, com apenas 40% da dosagem inicial de floculante (0,9 mg/L), um valor de turbidez entre 63 e 66 NTU, que corresponde a menos da metade do valor de turbidez do efluente tratado sem sedimentação prévia coletado na indústria (igual a 135 NTU). Além disso, para o tempo de 60 segundos de sedimentação prévia encontrou-se valores de turbidez ótimos, de até 35 NTU, frente à economia de polímero floculante e à turbidez medida do efluente bruto sem tempo de sedimentação prévia.
Diante do experimento realizado, avalia-se que houve significativa influência no consumo de polímero floculante com a implantação de uma etapa de sedimentação antes do início da etapa de floculação no tratamento do efluente gerado no processo de beneficiamento secundário de rochas ornamentais, obtendo-se um efluente com qualidade suficiente para reuso na indústria de beneficiamento de rochas ornamentais.

Cabe dizer, por fim, que a sedimentação é um processo simples e de baixo custo, muito utilizado nos processos de tratamento de efluentes. Comprovando sua eficácia, deve-se enfatizar que este incremento no tratamento pode proporcionar redução do custo total de tratamento e aumento da capacidade produtiva para a indústria de rochas ornamentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BALTAR, C. A. M. *Agregação na separação sólido-líquido*. In: LUZ, A. B.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. Tratamento de minérios, 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018.
2. BESSA, B. DA H. R. *Estudo do processo de beneficiamento para o inventário do ciclo de vida de rochas ornamentais*. In: XXI - Jornada de Iniciação Científica. Espírito Santo: PIBIC/CETEM, 2013. p. 1-4.
3. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. DE B.; VOLTAN, P. E. N. *Tratabilidade de Água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de Água* . São Carlos: LDiBe, 2011.
4. INSTITUTO ROCHAS. *Polidor Profissional*. 2020. Disponível em: https://www.institutorochas.com.br/polidor. Acesso em: 22 mai. 2022.
5. MARTINS B. B.; SILVEIRA, L. L. L. da. Comparação entre os Valores de Brilho Obtidos em Rocha Ornamental Submetida ao Processo de Polimento com Diferentes Resinas. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 39, n. 3, p. 859 - 873, 2020.

6. SARI, V. et al. Efeitos do tamanho da partícula e da concentração de sedimentos suspensos sobre a turbidez. Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]. 2017, v. 22, n. 02, pp. 213-219. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-41522016144228. Acesso em: 27 de março de 2023.
7. SILVEIRA, G. E. Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais.Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química. UFRGS, 2010.
8. SIMEC. Linha para calibragem. Disponível em: https://www.simec.it/famiglia.php?id=48&setsettore=1&setlang=br. Acesso em: 16 jun. 2022.
9. SOARES, A. C. Estudo da influência do coagulante no processo de tratamento de efluente do tear multifios variando a concentração de floculante. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), 2019.