

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193	PÁGINA 2/13
			Nº GEOESTÁVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	REV. 0

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1.0	APRESENTAÇÃO	3
2.0	INTRODUÇÃO	3
3.0	ITEM B) PORCENTAGEM DE ASSOREAMENTO DA BARRAGEM EM RELAÇÃO À CAPACIDADE SUPORTE	4
4.0	ITEM C) VOLUME DE APORTE ANUAL DE SEDIMENTOS ORIUNDOS DAS PILHAS À MONTANTE DA BARRAGEM	12
5.0	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	12

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193	PÁGINA 3/13
			Nº GEOESTAVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	REV. 0

1.0 APRESENTAÇÃO

O presente documento, elaborado pela Geoestável Consultoria e Projetos, corresponde à resposta aos itens 2b) e 2c) do Ofício SEI N°132/2024 apresentado pelo ICMBio para a VALE, referente a questionamentos quanto ao controle de sedimentos na Barragem Estéril Sul.

Segundo o Relatório de “As Is” (RL-1825KN-X-00191 – GEOESTAVEL, 2023), a Barragem Estéril Sul, foi construída entre 1982 e 1986 para contenção de sedimentos provenientes das pilhas localizadas na cabeceira da bacia hidráulica e para regularização de vazões para abastecimento de águas e, atualmente, *“a operação da barragem compreende além da contenção de sedimentos gerados pelas pilhas e acessos imediatamente localizados a montante da estrutura, o desassoreamento e secagem dos finos, bem como a captação de água (RL-MOES-001_REV19_29/05/2023 – Manual de Operação, VALE)”*.

2.0 INTRODUÇÃO

A Barragem Estéril Sul está situada na Mina Serra Norte, do Complexo Carajás, no município de Parauapebas-PA (Figura 2.1). As coordenadas UTM da Barragem Estéril Sul são 592.671m O / 9.325.730m S (Datum SIRGAS2000). A barragem está localizada na porção sudoeste do Complexo Minerador de Carajás – Serra Norte, a sul do depósito N4E e a oeste do N5W.

De acordo com o “As Is” (Geoestável, 2023), a Barragem Estéril Sul foi construída entre 1982 e 1986, em etapa única. O projeto foi desenvolvido pela empresa MILDER KAISER em 1981.

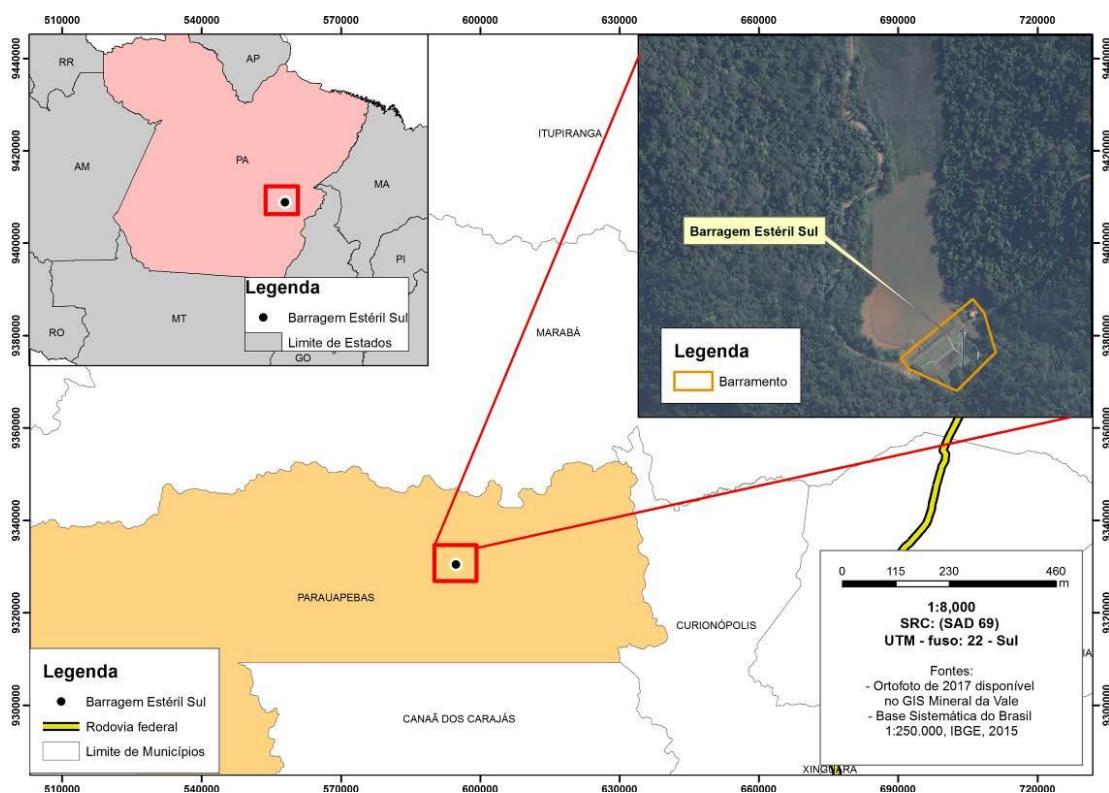


Figura 2.1 – Mapa de Localização da Barragem Estéril Sul.

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193	PÁGINA 4/13
			Nº GEOESTÁVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	REV. 0

3.0 ITEM 2B) PORCENTAGEM DE ASSOREAMENTO DA BARRAGEM EM RELAÇÃO À CAPACIDADE SUPORTE

3.1 CENÁRIO DE MÁXIMA OCUPAÇÃO

No Relatório do Estudo Hidrossedimentológico da barragem Estéril Sul, documento RL-1825KN-X-00188 (GEOESTÁVEL, 2023) - que substitui o documento RL-1820KN-X-00040 (GEOESTÁVEL, 2023), foi apresentado o cenário de máxima ocupação de sedimentos.

Este cenário se trata de uma perspectiva hipotética equivalente à situação ideal de máxima ocupação do reservatório da barragem sem que haja perda de eficiência de retenção de sedimentos. No entanto, sendo uma situação ideal, este cenário foi construído a partir da topografia primitiva no interior do reservatório, não levando em consideração a situação atual da barragem em termos de disposição de sedimentos.

Para definição de tal cenário, foram considerados os seguintes parâmetros:

- Declividade da praia de sedimentos: 0,3%;
- Avanço da praia: 3H:1V;
- Declividade do depósito de finos: 5,0%.

Os volumes de máxima ocupação atingidos nesta hipótese, considerando a manutenção da soleira na cota El. 497,55m e da crista na cota El. 501,10m, estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Volumes para a Máxima Ocupação (RL-1825KN-X-00188 – GEOESTÁVEL, 2023)

Volume disponível para disposição (m³)	Volume de água (m³)	Volume disponível para trânsito de cheias (m³)
1.472.146	343.885	606.280

Para este cenário, foi verificada a eficiência de retenção de sedimentos, em seu reservatório - para a vazão de referência de TR 2 anos e 24h - velocidades inferiores às velocidades de queda das partículas, promovendo a sedimentação. O estudo teve como conclusão de que, no cenário de máxima ocupação, o reservatório seria capaz de reter partículas de diâmetro igual ou maior ao silte médio.

Ainda, foi destacado que a fração granulométrica do material coesivo (argila e parcela de silte) pode não ficar retida, conferindo turbidez à vazão defluente.

Isso ocorre devido ao fato que o funcionamento da barragem de contenção de sedimentos é baseado na capacidade de garantir em seu reservatório velocidades inferiores às velocidades de queda das partículas.

Por sua vez, as partículas coloidais possuem uma área de superfície específica (área por unidade de peso) tão grande que o comportamento não é controlado pelas forças gravitacionais. De acordo com MORRIS e FAN (2010), as argilas têm velocidades de

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193	PÁGINA 5/13
			Nº GEOESTAVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	REV. 0

sedimentação extremamente baixas e, numa condição sem turbulência ou movimento browniano, uma partícula de argila de 0,001 mm exigirá cerca de 2 semanas para assentar 1,0 m.

3.2 CENÁRIO DE OCUPAÇÃO ATUAL

O Relatório Final de “As Is” da Barragem Estéril Sul, documento de numeração RL-1825KN-X-00191, apresenta o cenário tido como atual de ocupação do reservatório da barragem, considerando batimetria realizada em outubro de 2022 e levantamento a laser de maio de 2023.

O croqui esquemático representando essa ocupação está apresentado na Figura 3.1 e a curva Cota-Volume obtida a partir da elevação do fundo (El. 482,00m) está apresentada na Figura 3.2.

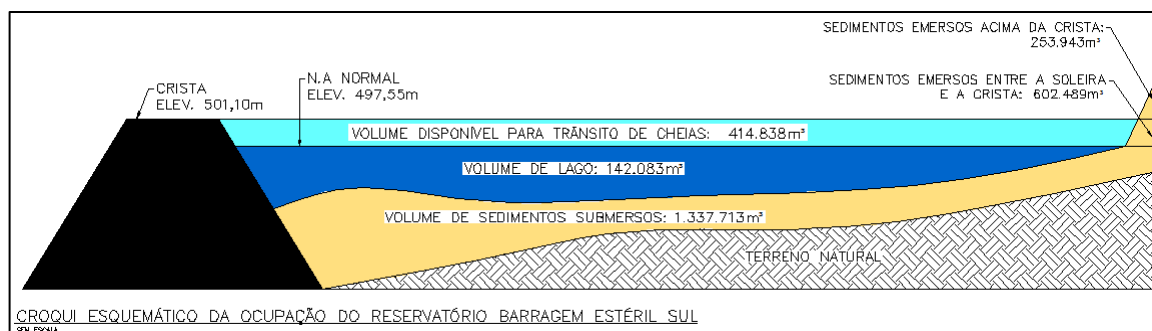


Figura 3.1 – Croqui esquemático de ocupação do reservatório da Barragem Estéril Sul.
Fonte: RL-1825KN-X-00191 – (GEOESTAVEL, 2023).

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193 Nº GEOESTAVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	PÁGINA 6/13 REV. 0

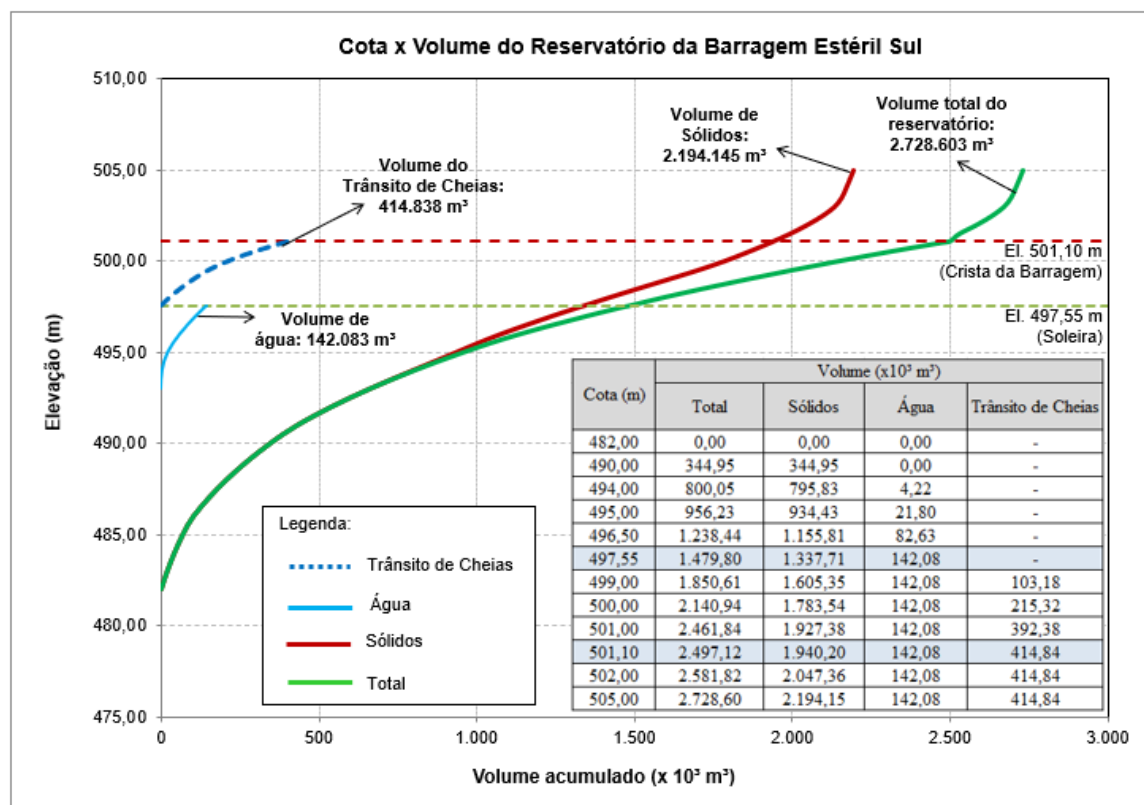


Figura 3.2 – Curva Cota-Volume do reservatório da Barragem Estéril Sul, a partir da cota de fundo.

Fonte: RL-1825KN-X-00191 – (GEOESTAVEL, 2023).

Ao comparar o cenário atual com o cenário tido como ideal, percebe-se que o volume de sólidos atualmente disposto na Barragem Estéril Sul (2.194.145m³) é superior ao volume disponível para disposição determinado no cenário de máxima ocupação da estrutura (1.472.146m³). Em termos de taxa (porcentagem de assoreamento), ao se comparar o volume de sólidos atual com o cenário hipotético de máxima ocupação temos $2.194.145/1.472.146 = 149,04\%$.

Adicionalmente, o volume de água atual disponível no reservatório (até a elevação da soleira na El. 497,55m), que equivale a 142.083m³, é menor do que o volume de água necessário para contenção de sedimentos calculado no cenário de máxima ocupação (343.885m³). Da mesma forma, o volume disponível para o trânsito de cheias no cenário atual (392.375m³) também está inferior ao volume para o trânsito de cheias indicado no cenário de máxima ocupação (606.280m³).

No entanto, para verificar se de fato há prejuízo na eficiência de retenção de sedimentos e na contenção de cheias, serão apresentados em seguida o resultado do trânsito de cheias e a eficiência de retenção considerando a situação atual da Barragem Estéril Sul (segundo o “As Is”).

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193	PÁGINA 7/13
			Nº GEOESTÁVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	REV. 0

3.2.1 Trânsito de Cheias

A Barragem Estéril Sul foi verificada quanto à capacidade de suportar um trânsito de cheia de período de retorno de 1.000 anos, assim como preconizado na ABNT NBR 13.028 (ABNT, 2017), para uma barragem de Dano Potencial Associado (DPA) Médio e assim como disposto na resolução nº 95, de 07 de fevereiro de 2022, da ANM, alterada pela resolução nº 130, de 24 de fevereiro de 2023.

A Tabela 3.2 apresenta a síntese do trânsito de cheias realizado para os TR 500 e 1.000 anos e a Figura 3.3 apresenta o hidrograma resultante do TR 1.000 anos, apresentados no Relatório Final de “As Is” (GEOESTÁVEL, 2023).

Tabela 3.2- Síntese do Trânsito de Cheias no Reservatório de Estéril Sul (adaptado de RL-1825KN-X-00191 – GEOESTÁVEL, 2023)

Resultados – Barragem Estéril Sul		
Cheia de Projeto (TR) (anos)	500	1.000
Duração da chuva de projeto ¹ (horas)	24	24
Altura da chuva de projeto (mm)	306	330
Elevação da crista da barragem (m)	501,10	501,10
Elevação do NA máx. Normal (m)	497,55	497,55
Vazão máxima afluente (m³/s)	43,26	56,76
Vazão máxima efluente (m³/s)	36,27	41,49
NA Máximo <i>Maximorum</i> (m)	500,47	500,76
Volume do hidrograma afluente (x 10³ m³)	1.350,57	1.513,42
Volume utilizado no trânsito de cheias (x 10³ m³)	291,129	346,438
Borda livre remanescente ² (m)	0,63	0,34

¹ Chuva de Projeto é aquela cuja duração gera a maior sobre-elevação do nível de água (NA) no interior do reservatório, quando da passagem da cheia decorrente dessa chuva (chuva de projeto).

² É definida como sendo a borda livre associada ao nível de água máximo calculado pelo modelo hidrológico, no momento da passagem da cheia de projeto. Este valor não considera a onda eólica calculada para o reservatório.

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193 Nº GEOESTÁVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	PÁGINA 8/13 REV. 0

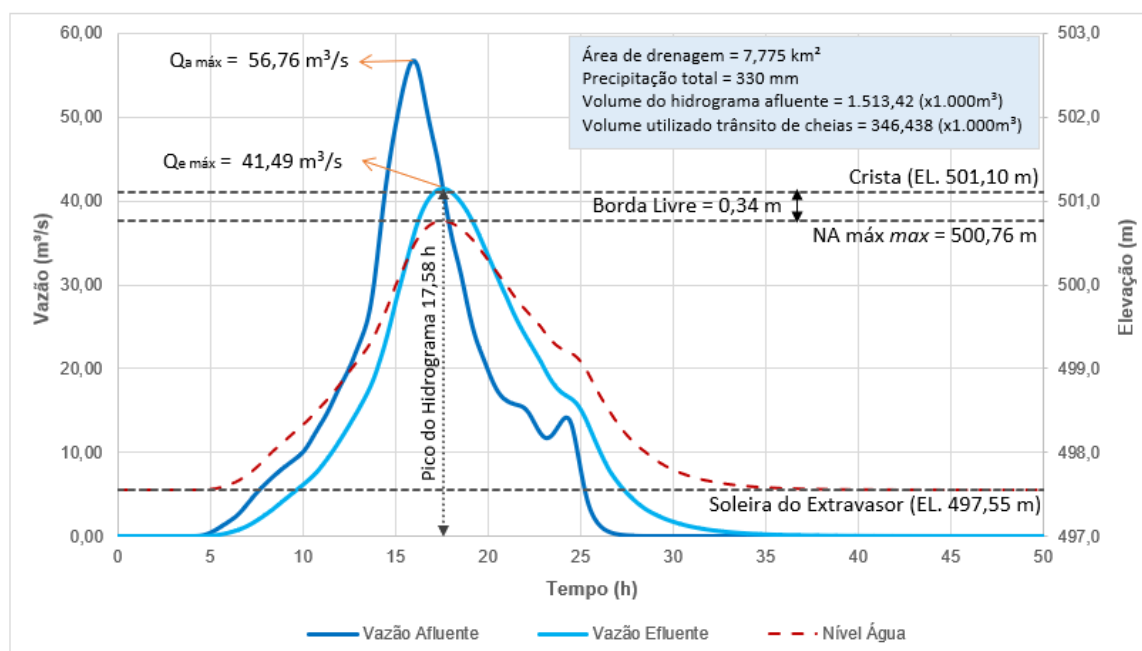


Figura 3.3 – Resultados do Trânsito de Cheias no Reservatório da Barragem Estéril Sul (1.000 anos com duração crítica de 24 horas).
 Fonte: RL-1825KN-X-00191 – (GEOESTÁVEL, 2023).

Adicionalmente, foi calculada a borda livre no reservatório considerando, ainda, a amplitude eólica, tendo resultado em uma altura de onda de 0,27 m. Dessa forma, o relatório de “As Is” concluiu que, além de conter as cheias de TR de até 1.000 anos, a Barragem Estéril Sul é capaz de conter a arrebentação de ondas.

3.2.2 Eficiência de retenção de sedimentos

Como citado anteriormente, a eficiência da barragem é condicionada pela capacidade de garantir em seu reservatório velocidades inferiores às velocidades de queda das partículas, promovendo a sedimentação.

Tendo em vista que a velocidade no interior do reservatório é dada pela relação entre a vazão afluente e a área do espelho d’água, é possível prever qual o comportamento do reservatório conforme avanço da praia de sedimentos.

O cálculo da vazão de referência de TR 2 anos e 24h para a retenção de sedimentos foi realizado por meio de métodos indiretos, a partir da transformação da chuva em vazão utilizando o método proposto pelo *Natural Resources Conservation Service* (NRCS), antigo *Soil Conservation Service* (SCS), que foi utilizado tanto para determinação da chuva efetiva, como para a transformação da chuva em vazão, tendo como base o parâmetro Número da Curva Índice ou *Curve Number* (CN).

Na Tabela 3.3 é apresentada a vazão de referência para avaliar a velocidade no reservatório para a retenção de sólidos prevista para o barramento.

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193	PÁGINA 9/13
			Nº GEOESTÁVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	REV. 0

Tabela 3.3 – Resumo das Taxas de Geração de Sedimentos dos Estudos de Referência

Estrutura	Área de Drenagem (km²)	Altura de Chuva - TR 2 anos e 24h (mm)	Vazão Afluente (m³/s)
Barragem Estéril Sul	7,78	107	6,77

Na Tabela 3.4 são apresentadas as velocidades previstas no interior do reservatório para o cenário de máxima ocupação.

Tabela 3.4 – Resumo das Taxas de Geração de Sedimentos dos Estudos de Referência

Estrutura	Área de Drenagem (km²)	Altura de Chuva - TR 2 anos e 24h (mm)	Vazão Afluente (m³/s)
Barragem Estéril Sul	7,78	107	6,77

A classificação da faixa granulométrica, segundo normativa da ABNT, está apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, coluna de nº 2. Os diâmetros adotados foram os médios. O maior diâmetro avaliado foi de 0,10 mm, conforme disposto na equação de Stokes. Logo, avaliou-se a eficiência de retenção até Areia Muito Fina, conforme Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Velocidade de Sedimentação (Equação de Stokes)

v_s (m/s)				
Silte muito fino	Silte fino	Silte médio	Silte Grosso	Areia muito fina
$2,89 \times 10^{-5}$	$1,13 \times 10^{-4}$	$4,53 \times 10^{-4}$	$1,78 \times 10^{-3}$	$6,93 \times 10^{-3}$

* Diâmetro médio adotado (col. 3 da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**)

Na Tabela 3.6 é possível identificar a classificação dos sedimentos em função dos diâmetros característicos e as velocidades de sedimentação correspondentes. Todas as partículas cuja velocidade de sedimentação for superior à velocidade média no reservatório serão retidas.

Vale ressaltar que a Tabela 3.6 apresenta valores de referência bibliográfica para fins de validação dos valores calculados pela equação de Stokes, mostrados na Tabela 3.5.

Tabela 3.6 - Classificação dos Sedimentos e Velocidade de Sedimentação da Partícula (Adaptado de PINHEIRO, 2011)

Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4
Classificação Faixa Granulométrica	Faixa Diâmetro (mm)	Diâmetro Mediano (mm)	Velocidade de Sedimentação (m/s)
Argila	< 0,004	-	< 0,000045
Silte Muito Fino	0,004 – 0,008	0,0057	0,000091
Silte Fino	0,008 – 0,016	0,0113	0,00036
Silte Médio	0,016 – 0,032	0,0226	0,0014

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193	PÁGINA 10/13
			Nº GEOESTÁVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	REV. 0

Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4
Classificação Faixa Granulométrica	Faixa Diâmetro (mm)	Diâmetro Mediano (mm)	Velocidade de Sedimentação (m/s)
Silte Grosso	0,032 – 0,0625	0,0447	0,0056
Areia Muito Fina	0,0625 – 0,125	0,0884	0,022
Areia Fina	0,125 – 0,250	0,1768	0,088
Areia Média	0,250 – 0,50	0,3536	0,35
Areia Grossa	0,50 – 1,00	0,7071	1,40

Foi feita uma análise comparativa das velocidades de sedimentação e da velocidade média de escoamento no reservatório, de modo a avaliar a eficiência de retenção de sedimentos.

Considerando a ocupação do reservatório avaliada nesse estudo, nota-se que, tendo em vista a vazão de referência do TR2, 24 h ($Q_{2,24h}$), seriam retidas até as partículas referentes ao **silte médio**, assim como apresentado no cenário ideal de máxima ocupação.

No entanto, durante esse evento de referência, seria gerado um volume de precipitação efetiva, ou volume escoado, de 188.281 m³. Dessa forma, o volume de lago atual, de 142.083 m³, é menor que o necessário para a contenção do volume gerado.

Todavia, há instalada no canal de aproximação do sistema de extravasor uma cortina anti-turbidez, Figura 3.4, que tem como objetivo conter partículas sólidas que causam turbidez, evitando que o efluente a ser restituído ao curso d'água ultrapasse os níveis máximos permitidos pela legislação.

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193 Nº GEOESTÁVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	PÁGINA 11/13 REV. 0



Figura 3.4 – Cortina anti-turbidez localizada na entrada do canal de aproximação do sistema extravasor da barragem Estéril Sul.

Ainda, é possível verificar no acompanhamento mensal de qualidade dos efluentes líquidos da barragem Estéril Sul do ano de 2023 que a turbidez de fato se manteve abaixo do nível máximo permitido para lançamento em cursos d’água classe 2 segundo a Resolução CONAMA nº357/2005 (100 UNT).

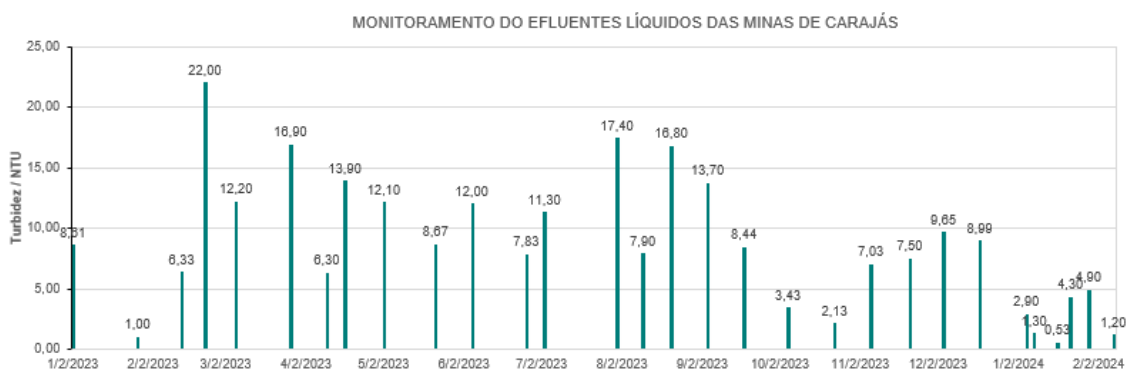


Figura 3.5 – Acompanhamento de turbidez no ponto SCW23 no Vertedouro da Barragem Estéril Sul.

Fonte: Resultados Monitoramentos Vertedouro de Barragem - SN_2023.ppt (VALE, 2024).

Esse resultado indica que, apesar do volume de água abaixo da soleira da barragem não ser suficiente para comportar a cheia de TR 2 anos 24h responsável pela retenção de sedimentos,

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193	PÁGINA 12/13
			Nº GEOESTÁVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	REV. 0

o seu efluente atende ao limite de turbidez máxima permitido pela Resolução CONAMA nº357/2005.

4.0 ITEM 2C) VOLUME DE APORTE ANUAL DE SEDIMENTOS ORIUNDOS DAS PILHAS À MONTANTE DA BARRAGEM

O volume de aporte anual de sedimentos à barragem Estéril Sul foi calculado aplicando uma taxa de 600 m³/ha/ano para áreas de mineração, sendo essa a máxima de geração de sedimentos apresentada por Pinheiro (2011) para as áreas antrópicas, a partir da indicação do próprio autor. Para as áreas vegetadas, sejam elas naturais ou não, foi considerado 10% dessa taxa, resultando em 60 m³/ha/ano.

Tabela 4.1 – Cálculo de geração de sedimentos na bacia de contribuição da Barragem Estéril Sul.

Tipologia	Área de contribuição (ha)	Taxa de prod. sedimentos (m³/ha.ano)	Geração de sedimentos (m³/ano)	Geração total de sedimentos (m³/ano)
Terreno Natural	472,00	60	28.320	193.740
Pilhas	149,70	600	89.820	
Área industrial e acessos	57,00	600	34.200	
Solo exposto	69,00	600	41.400	

O volume de sólidos atual da Barragem Estéril Sul, segundo o Relatório Final de “As Is”, documento nº RL-1825KN-X-00191 (GEOESTÁVEL, 2023), é de 2.194.145 m³, correspondente à batimetria realizada pela AVALICON em outubro de 2022.

Conforme apresentado acima, considerando a taxa teórica de 600 m³/ha/ano a geração de sedimentos na área da pilha (Tabela 4.1) foi de 89.820m³. Entretanto, esse volume foi inferior ao teórico, quando comparada os dois últimos levantamentos (outubro 2022 e março 2022), onde a taxa calculada foi de 490 m³/ha/ano. É importante destacar, no entanto, que o período entre estes dois levantamentos realizados em 2022 esteve majoritariamente contido no período de seca na região (maio a outubro).

5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente documento teve como objetivo auxiliar a VALE na resposta ao Ofício apresentado pelo ICMBio para a VALE, referente aos questionamentos quanto ao controle de sedimentos na Barragem Estéril Sul.

Em relação a porcentagem de assoreamento do reservatório o valor encontrado, comparando os dois últimos levantamentos topobatimétricos foi de 149%, com o cenário atual superior ao de máxima ocupação hipotética. Entretanto, com base na Figura 3.5, nas condições atuais (apresentadas no último “As Is”), a barragem Estéril Sul atende ao limite máximo de turbidez (100 UNT) estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005.

		CLASSIFICAÇÃO Interno	“AS IS” BARRAGEM ESTÉRIL SUL N4044	
PROJETO DETALHADO UTILIDADES BARRAGEM DE CAPTAÇÃO E ADUÇÃO - ESTÉRIL SUL NOTA TÉCNICA IBAMA/ICMBIO			Nº VALE RL-1825KN-X-00193	PÁGINA 13/13
			Nº GEOESTÁVEL GSTVAL0194-17-1-GT-RET-0004	REV. 0

Ao se avaliar a geração de sedimento oriundos da pilha, considerando a taxa teórica e conservadora de 600 m³/ha/ano, é esperado que a pilha a montante gere aproximadamente 89.820m³ no ano. No entanto há ações operacionais na bacia de contribuição como revegetação das pilhas, limpeza dos canais e baias de secagem que possuem o objetivo de reduzir o volume de sólidos aportado para a barragem Estéril Sul.