

Diego Gouveia Marques<sup>1</sup>, Renan Felício dos Reis<sup>2</sup>, Ricardo Augusto Rodrigues<sup>3</sup>, Miriã Camargo Felício<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Maringá

<sup>2,3,4</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Câmpus São Roque

## Verificação da assertividade da previsão de geração de lodo em ETA em comparação com ensaios de *jar test*

The validation of assertiveness in prediction of WTP sludge generation compared with *jar test* assays

**Resumo:** A pesquisa teve como objetivo comparar os valores obtidos por meio de previsões de geração de lodo de ETA como tabelas e equações empíricas com a quantidade de lodo gerado em ensaios de *jar test* com água coagulada coletada de uma estação de tratamento de água parceira. A metodologia consistiu na coleta de amostras de 5L diretamente no sistema em ponto imediatamente após a mistura rápida. Após coletada, foram realizados ensaios em duplicata em *jar test* com frequências próximas às utilizadas na ETA. Depois de decantado, o lodo obtido foi filtrado em papel filtro, levado à estufa e após 24 horas aferida sua massa. Os resultados foram comparados em três etapas. Primeiramente, a partir de valores tabelados disponíveis na literatura referentes à quantidade de lodo gerado com a qualidade do manancial, as amostras 2 e 11 apresentaram valores dentro da faixa esperada, ambas para o enquadramento de reservatório de média qualidade, agrupados no grupo 2. Destacam-se ainda as amostras 1, 12 e 13 que se distanciavam em até 20% da faixa proposta, também presentes no grupo 2. Do grupo 1, apenas a amostra 7 esteve distante em menos de 20% da faixa proposta, indicando menor assertividade na previsão. Em seguida, utilizando as diversas equações empíricas observou-se que os melhores resultados foram obtidos com a equação AFFE 1982, com as amostras 3, 4 e 10 apresentando erros relativos menores que 5%. Como conclusão, algumas amostras apresentaram resultados assertivos comparando a previsão com a realidade e, em geral, foi possível observar coerência nas tendências de alta e baixa magnitude de lodo gerado, destacando a faixa de reservatório de média qualidade para valores tabelados e a equação AFFE (1982), que coerentemente é a mais robusta das três apresentadas. Entretanto, é notável que os resultados de previsão são instáveis, sendo assim, a aplicação de resultados para dimensionamento de equipamentos e previsão de custos deve englobar outras metodologias e estudos mais abrangentes para reforçar a confiabilidade. **Palavras-chave:** Lodo de ETA, *jar test*, PAC.

**Abstract:** The main objective of this research was to evaluate the sludge production, in quantity terms, in *jar test* experiments using coagulated water from a partner water treatment plant (WTP), considering the influence of raw water quality (colour and turbidity) and chemicals dosage employed in the process, and in sequence, comparing the experimental data with values obtained through prediction equations and tabled values in the theory correlated. The methodology started in the collection of five liters of coagulated water samples were collected directly from the WTP just after coagulation stage, and then assays *in jar test* were run in duplicate. Regarding the frequency of agitation, the assays were carried just as it occurs at the WTP. After the sedimentation, the sludge was filtrated using a filter paper and, then, the filter paper with sludge was put in the oven (105°C) for 24h, for later mass measuring. First of all, the values obtained were compared with a prediction table of sludge compared to raw water quality. In this approach, the samples 2 and 11 were the ones with assertive results, both of them part of the “medium quality raw water” data division. It was also highlighted that the sample 1, 12 and 13 were far up to 20% from the expected results, being also part of the “medium quality water” group. From the group “good water raw quality”, just 1 sample out of 6 samples had a result with less than 20% of error, indicating that this group didn’t fit well in the prediction approach. Following, applying some prediction equations, it was observed that the best results in terms of divergence were obtained using the equation AFFE (1982), specifically, with the samples 3, 4 and 10 showing values with less than 5% of divergence. As conclusion, some samples showed assertive results, and in general the results were correct in terms of magnitude and high and low tendency. However, it was possible to notice that the results were highly unstable, in a way that applying this prediction models in decisions related to equipment and plant operation is not recommended. It is suggested to gather other prediction models with the ones studied in this research and to develop studies with large amount of samples in order to obtain trustable results for better application in the WTP. **Keywords:** WTP Sludge, *jar test*, PAC.

### Introdução

Segundo Braga (2005) sistemas de abastecimento de água são compostos de estruturas diversas responsáveis pela captação, tratamento, armazenamento e distribuição à comunidade.

Os diversos processos que ocorrem nas estações de tratamento de água (ETAs) visam enquadrar a água tratada aos parâmetros de potabilidade vigentes, sendo o mais atual definido na Portaria de Consolidação (PCR) nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017)

Para grande maioria dos mananciais disponíveis no Brasil, por questão de classificação em termos de recurso hídrico, o tratamento para que a água seja distribuída para a população deve ser o tratamento de ciclo completo convencional, que compreende coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração e oxidação, podendo ou não ter mais processos dependendo da demanda de cada sistema (REIS e CORDEIRO, 2011).

Como parte do impacto ambiental gerado em tais sistemas produtores, a formação de lodo se destaca como principal resíduo sólido do processo. O gerenciamento do lodo deve ser visto integrado com o processo de tratamento de água no momento de avaliação e design das ETAs (AWWA, 2005).

A quantidade do lodo gerado está intimamente ligada à qualidade da água bruta captada, visto que pode apresentar valores excessivamente altos ou baixos de pH, alta concentração de sólidos totais (dissolvidos e suspensos), matéria orgânica, metais pesados, íons e poluentes emergentes, todos esses podendo fazer parte da massa de lodo gerado (SCALIZE, SOUZA, ALBUQUERQUE, 2019). Dentre os parâmetros definidos pelo Ministério da Saúde que devem ser aferidos em maior frequência, cita-se que na rotina das ETAs, parâmetros básicos analisados que podem ser relacionados com a quantidade de lodo produzido são turbidez e cor. A turbidez está relacionada com as partículas coloidais do sistema, e a cor aparente, relacionada com compostos orgânicos ou metais dissolvidos (SABESP, 2021).

A legislação define, por meio da NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) que se trata de um resíduo sólido classe 2-A (não inerte). Logo, caso ocorra a disposição final deste resíduo, mesmo que contrária ao que preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), é necessário que sua disposição ocorra em aterros sanitários. O lodo gerado no processo é acumulado principalmente em duas situações: após a sedimentação, depositados no fundo dos decantadores; e na camada filtrante, sendo deslocado pela lavagem contracorrente dos filtros (REALI, 1999). O tratamento consiste em geral na retirada de água do lodo bruto gerado. Enquanto a concentração de sólidos do lodo bruto fica entre 1 e 2% em massa, a concentração do lodo após a remoção de água é normalmente obtida entre 15 e 82% (SCALIZE, SOUZA, ALBUQUERQUE, 2019).

Vista a necessidade de tratamento e disposição, a quantificação estimada prévia do lodo gerado é de grande importância para a alocação de recursos e planejamento na construção das ETAs. Em termos de quantidade de lodo gerado, Reali (1999) cita a influência da qualidade do manancial na quantidade do resíduo gerado – valores e condições de manancial –, que se encontram expressos na Tabela 1.

Segundo Katayama (2012) o uso de equacionamentos empíricos é uma alternativa para obtenção de estimativa de lodo gerado, entretanto, com precisão muitas vezes menor. Algumas equações empíricas utilizadas são descritas a seguir:

**Tabela 1** - Produção de lodo em função da qualidade da água bruta.

Fonte de Captação	Faixa de produção de lodo (g sólidos secos por m <sup>3</sup> de água tratada)
Água de reservatório com boa qualidade	12- 18
Água de reservatório com média qualidade	18-30
Água de reservatório com qualidade ruim	30-42
Água de rio com qualidade ruim	42-54
Água de rio com qualidade média	24-36

Fonte: REALI, 1999.

*American Water Work Association – AWWA (1978)*

$$P = 3,5 \times 10^{-3} \times Tu \ 0,66 \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

P = Produção de sólidos (kg de matéria seca/m<sup>3</sup> de água bruta tratada)

*Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)*

$$P = (0,23 \times AS + 1,5 \times T) \times 10^{-3} \quad \text{equação (2)}$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

Onde:

P = produção de sólidos (kg de matéria seca/m<sup>3</sup> de água bruta tratada);

AS = dosagem de Sulfato de Alumínio (mg/L);

T = turbidez da água bruta (NTU);

W = quantidade de sólidos secos (kg/dia);

Q = vazão de água bruta tratada (m<sup>3</sup>/s)

*Association Francaise Pour L'étude Des Eaux (AFFE, 1982)*

$$P = (1,2 \times T + 0,07 \times C + 0,17 \times D + A) \times 10^{-3} \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

P = produção de sólidos (kg de matéria seca/m<sup>3</sup> de água bruta tratada);

D = dosagem de sais de Alumínio (mg/L);

A= outros aditivos, tal como o polímero (mg/L);

C= Cor aparente da água bruta (uC);

T = turbidez da água bruta (NTU);

Estudos relacionados com a produção de lodo, mais especificamente com sua quantidade e qualidade, são de alto interesse das empresas do setor por questões ambientais e

principalmente financeiras, uma vez que quanto mais lodo se produz, maior é o custo para estas empresas. O presente trabalho buscou avaliar a assertividade de algumas equações empíricas disponíveis comparando com ensaios de *jar test* de amostras coletadas diretamente no sistema.

O projeto ocorreu por meio de uma parceria com uma concessionária de saneamento da região metropolitana de São Paulo que aceitou colaborar com a pesquisa, de modo que foi permitida a coleta de amostras diretamente de uma ETA em operação.

## Objetivos

O objetivo geral desta proposta consistiu em estudar, por meio de ensaios em *jar test*, a quantidade de lodo gerada em amostras de água coagulada coletada na ETA, relacionando com métodos de previsão como tabelas e equações empíricas disponíveis na literatura para verificar a assertividade na previsão de geração.

Como objetivo específico, cita-se:

- realizar o ensaio por metodologia não convencional, consistindo na coleta da água coagulada diretamente no sistema.
- observar se existe modelo de previsão mais adequado para a ETA parceira;
- sugerir adequações para a metodologia visando melhor aplicabilidade dos resultados.

## Metodologia

Os materiais utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa foram:

- papel filtro quantitativo – faixa preta, Nalgon, diâmetro 12,5cm;
- *jar test* Milan;
- balança analítica Weblaborsp;
- estufa Medicate MD 1.1;
- colorímetro PoliControl IP67;
- turbidímetro HACH TL2300;
- bomba a vácuo Te-058 TECNAL;
- galão de 5L;
- zetâmetro zetascizer;
- kitassato;
- proveta de 2L;
- erlenmeyer;
- placa de Petri;
- pinça;
- dessecador; e
- amostras de água bruta coagulada com PAC.

A metodologia iniciou com a coleta da amostra. Foram coletadas amostras de 5L, armazenadas em um galão de água vazio e limpo com uso de água deionizada, em um ponto logo após a calha Parshall da ETA parceira, ou seja, após dosagem de coagulante (PAC) e alcalinizante.

Dessa mesma amostra, uma pequena parcela foi imediatamente conduzida ao laboratório para análise de pH e potencial zeta, ambas as informações levantadas e registradas para conhecimento adicional. Paralelamente, na amostragem de água bruta do laboratório da ETA, coletou-se uma pequena amostra e verificou-se os valores de turbidez, cor, pH e potencial zeta da água bruta.

Após tais procedimentos, a amostra de 5L coletada na ETA foi deslocada da ETA para o IFSP – São Roque, onde ensaios em *jar test* foram realizados. Esse deslocamento teve duração variada, sendo normalmente realizado em até 24h. Justamente por motivo da não realização imediata do ensaio, foi proposta a necessidade de uma nova etapa de agitação rápida, sendo essa, então, a primeira etapa do ensaio em *jar test*.

Em paralelo, 24h antes do início dos ensaios em *jar test*, colocou-se o papel filtro a ser utilizado na simulação da etapa de filtração na estufa (105°C), de modo a eliminar possível umidade que poderia interferir na aferição da massa de lodo.

Nos ensaios foram utilizados dois jarros de 2L cada, e a etapa inicial (mistura rápida) contou com a frequência máxima do equipamento, de 600 rpm. Em seguida, simulando a etapa da floculação na ETA, foram realizadas três etapas de 10 minutos cada com frequência decrescente de 34, 27 e 18rpm, consecutivamente.

Após as etapas com rotação decrescente, aguardou-se apenas 5 minutos em repouso com o objetivo de simular parte da etapa de decantação. Uma vez que toda a amostra seria submetida à etapa de filtração posteriormente, não se adotou período mais estendido em decantação por não interferir no que se propôs como objeto da pesquisa. Iniciou-se, em seguida, a filtração, que foi simulada utilizando-se papel filtro de diâmetro 12,5cm previamente seco em estufa e uma bomba a vácuo.

Visualmente, o filtrado indica passagem desprezível de sólidos, entretanto, sugere-se como melhoria a aferição da turbidez após as filtrações em papel filtro.

Após devidamente filtrado, o papel filtro foi mantido em estufa a 105°C por 24h para posterior aferição da massa. Após aferida a massa, anotou-se em banco de dados os valores em duplicata para realização da análise.

Destaca-se que os experimentos foram interrompidos em março de 2020 (completando quase um ano de experimentos) devido à pandemia do covid-19, que implicou no fechamento do Câmpus e dos laboratórios do IFSP São Roque.

## Resultados

Os principais resultados obtidos estão expressos na Tabela 2. Destaca-se que o valor do dia 10 de maio foi desprezado por inconsistência procedimental. Logo, o ensaio do dia 10 de maio foi considerado como um ensaio preliminar da pesquisa, e não foi considerado em nenhuma representação de resultados deste documento.

**Tabela 2** - Dados obtidos nos ensaios e análises realizadas.

Ensaio/ amostra	Data coleta	Turbidez (NTU)	Cor aparente (uC)	Coagulante (mg L <sup>-1</sup> )	Leite de Cal (mg L <sup>-1</sup> )	Polímero (mg L <sup>-1</sup> )	Massa de lodo média
0*	10/5/2019	4,73	7,2	5,0	1,76	-	-
1	30/5/2019	7,14	23,6	12,0	5,74	-	0,0637
2	4/6/2019	32,10	124,0	17,0	9,64	0,08	0,0428
3	2/7/2019	6,39	5,5	10,0	4,50	0,08	0,0207
4	18/8/2019	2,16	4,5	4,5	3,05	-	0,0072
5	27/8/2019	2,89	5,1	4,0	1,61	0,08	0,0150
6	2/9/2019	3,58	20,0	5,5	3,51	-	0,0062
7	30/9/2019	3,15	24,2	4,0	-	-	0,0394
8	7/10/2019	2,94	22,0	4,0	-	-	0,0099
9	21/10/2019	3,02	17,8	5,0	-	-	0,0059
10	9/12/2019	7,08	42,0	9,0	3,50	0,08	0,0257
11	19/2/2020	19,40	89,3	15,0	5,22	0,08	0,0467
12	4/3/2020	14,10	87,5	10,0	5,10	-	0,0296
13	11/3/2020	9,70	65,8	10,5	5,11	-	0,0686

*Cálculo usando as estimativas da Tabela 1*

Os dados foram divididos entre amostras com valor de turbidez menores que 5 NTU e chamados de grupo 1 e valores maiores que 5 NTU, chamados de grupo 2, de modo a haver uma distribuição de quantidade de amostras próximas, sendo seis amostras no primeiro grupo e sete amostras no segundo. Adotou-se o primeiro grupo (grupo 1) na faixa indicada na Tabela 1 de “água de reservatório de boa qualidade”, enquanto no segundo grupo (grupo 2) foram considerados os valores na faixa de “água de reservatório de média qualidade” (Tabelas 3 e 4).

O valor de “distância da faixa esperada” de cada grupo foi calculado com a fórmula de erro relativo percentual descrito na eq. 4 a seguir:

$$\text{Erro relativo} = \left| \frac{\text{Eq. empírica} - \text{Dados experimentais}}{\text{Dados experimentais}} \right| \quad \text{equação (4)}$$

**Tabela 3** - Valores de lodo por metro cúbico do grupo 1.

Amostra	Turbidez (NTU)	Lodo ensaio (g 2L <sup>-1</sup> )	Lodo (g m <sup>-3</sup> )	Distância da faixa: 12-18 g m <sup>-3</sup> (%)
4	2,16	0,0072	3,600	70
5	2,89	0,0150	7,500	37,5
6	3,58	0,0062	3,125	73,95
7	3,15	0,0394	19,725	9,58
8	2,94	0,0099	4,975	58,54
9	3,02	0,0059	2,975	75,21

**Tabela 4** - Valores de lodo por metro cúbico do grupo 2.

Amostra	Turbidez (NTU)	Lodo ensaio (g 2L <sup>-1</sup> )	Lodo (g m <sup>-3</sup> )	Distância da faixa 18 a 30 g m <sup>-3</sup> (%)
1	7,14	0,0637	31,875	6,25
2*	32,10	0,0428	21,400	-
3	6,39	0,0207	10,350	42,5
10	7,08	0,0257	12,850	28,61
11*	19,40	0,0467	23,375	-
12	14,10	0,0296	14,800	17,78
13	9,70	0,0686	34,300	14,33

\* Amostras com valor dentro da faixa esperada.

Observa-se que para o grupo 1 (Tabela 3) a amostra mais assertiva foi a amostra 7, embora seja 9,58% maior que o valor limite da faixa. Por outro lado, para o grupo 2 (Tabela 4), as amostras 2 e 11 tiveram valores que se enquadravam na faixa teórica, sendo destacados na Tabela 3 e com erro relativo não aplicável, enquanto as amostras 1 e 13 se distanciaram em até 14,33% do limite superior da faixa e a amostra 12 apresentou valor 17,78% mais baixo que o limite inferior da faixa.

#### *Cálculo usando equações empíricas*

Para a comparação com as equações empíricas utilizou-se a equação de erro relativo descrita na eq. 4.

Os valores obtidos para os três equacionamentos, AWWA (1978); CETESB; e AFFE (1982) e seus devidos desvios são expressos nas Tabelas 5, 6 e 7, e nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente. Cada tabela apresenta apenas dados utilizados nos equacionamentos respectivos.

#### *Equação AWWA (1978)*

**Tabela 5** - Resultados da comparação da Eq. AWWA 1978 com os dados experimentais.

Amostra	Turbidez (NTU)	Dados experimentais (g)	Eq. AWWA (1978) (g)	Erro relativo (%)
1	7,14	0,0637	0,0128	79,90
2	32,10	0,0428	0,0345	19,39
3	6,39	0,0207	0,0119	42,51
4	2,16	0,0072	0,0058	19,44
5	2,89	0,0150	0,0070	53,33
6	3,58	0,0062	0,0081	30,64
7	3,15	0,0394	0,0074	81,21
8	2,94	0,0099	0,0071	28,28
9	3,02	0,0059	0,0072	22,03
10	7,08	0,0257	0,0127	50,58
11	19,40	0,0467	0,0247	47,10
12	14,10	0,0296	0,0200	32,43
13	9,70	0,0686	0,0157	77,11

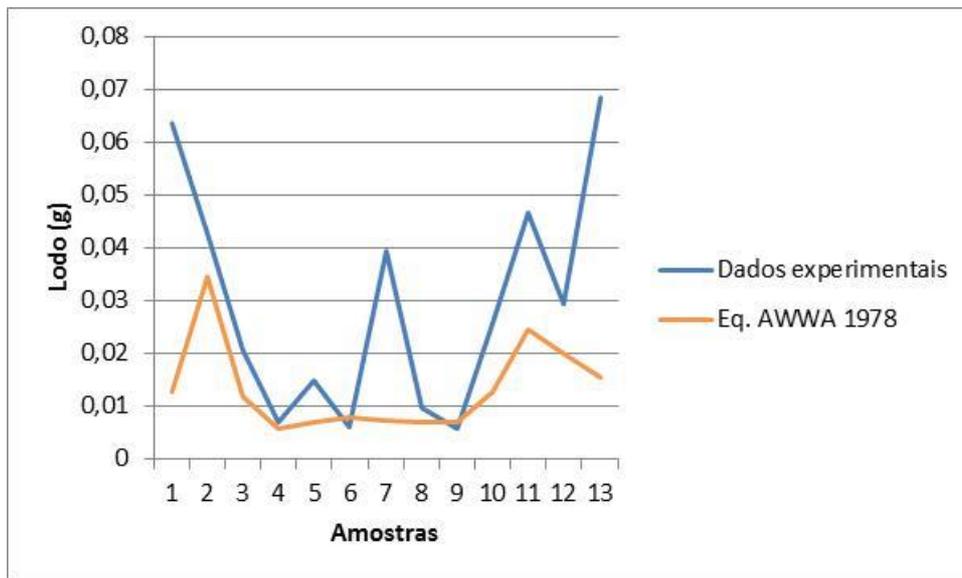


Figura 1 - Gráfico da comparação da Eq. AWWA 1978 com os dados experimentais.

Pode-se observar visualmente a partir da Figura 1 que a equação AWWA (1978) em geral apresenta valores mais baixos do que os valores obtidos nos ensaios, indicando que seu uso poderia gerar situações de subdimensionamento. O menor erro relativo apresentado foi na amostra 2, com 19,39% de erro e o maior com 81,21% na amostra 7.

*Equação CETESB*

Tabela 6 - Resultados da comparação da Eq. CETESB com os dados experimentais.

Amostra	Turbidez (NTU)	PAC (ppm)	Dados experimentais (g)	Eq. CETESB(g)	Erro relativo (%)
1	7,14	12,0	0,0637	0,039	38,37
2	32,10	17,0	0,0428	0,065	53,65
3	6,39	10,0	0,0207	0,032	59,12
4	2,16	4,5	0,0072	0,014	101,30
5	2,89	4,0	0,0150	0,013	11,14
6	3,58	5,5	0,0062	0,018	190,34
7	3,15	4,0	0,0394	0,013	65,91
8	2,94	4,0	0,0099	0,016	175,45
9	3,02	5,0	0,0059	0,013	34,19
10	7,08	9,0	0,0257	0,030	17,73
11	19,40	15,0	0,0467	0,053	15,34
12	14,10	10,0	0,0296	0,036	23,26
13	9,70	10,5	0,0686	0,035	47,58

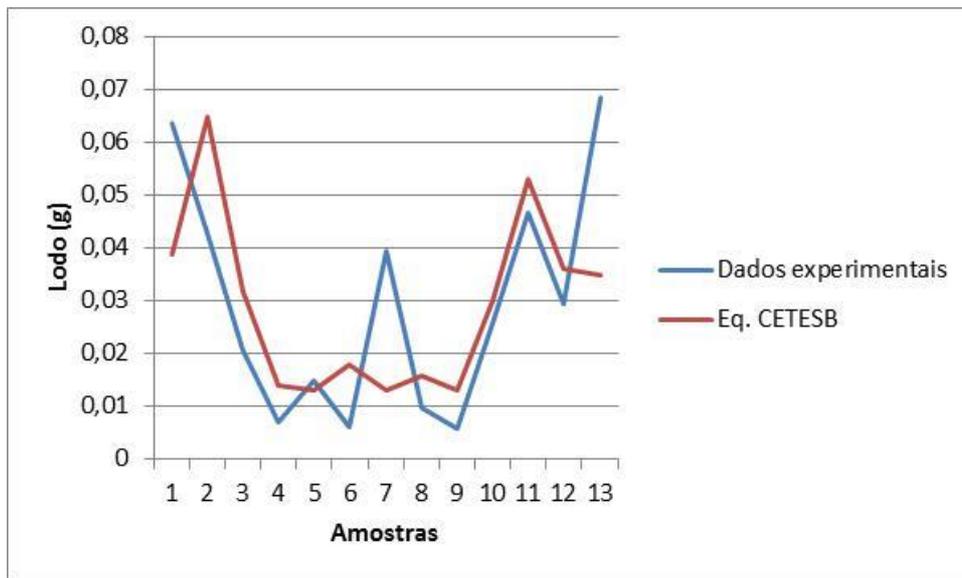


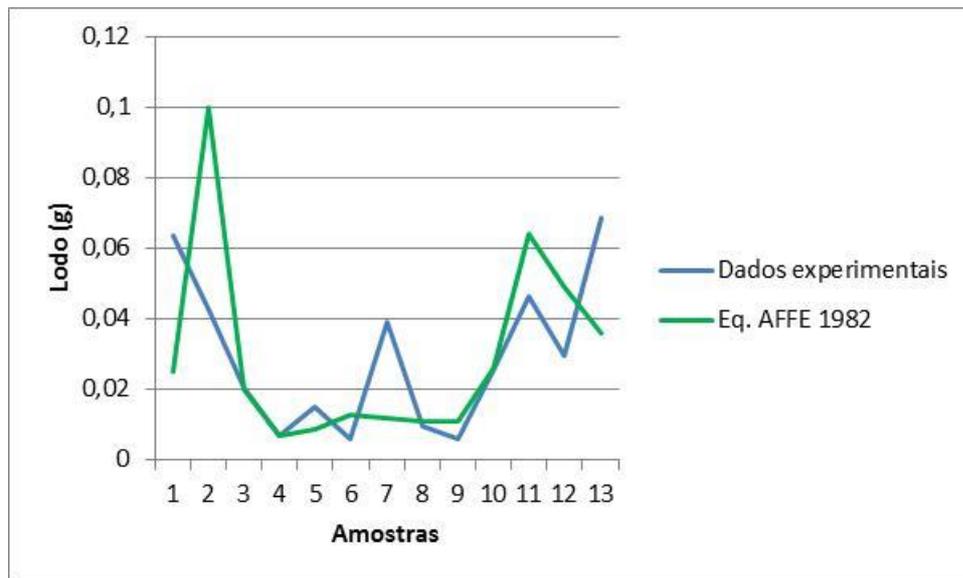
Figura 2 - Gráfico da comparação da Eq. CETESB com os dados experimentais.

De acordo com a Tabela 6 e Figura 2 o maior erro relativo obtido ocorreu na amostra 6 com 190,34% de erro, enquanto o menor erro foi o da amostra 5 com 11,14%. Visualmente observa-se que o comportamento das duas variáveis apresentou tendências de subida e descida coerentes, abrindo a possibilidade de analisar a aplicação de um fator de correção para a melhoria dos resultados.

*Equação AFFE (1982)*

Tabela 7 - Resultados da comparação da Eq. AFFE (1982) com os dados experimentais.

Amostra	Turbidez (NTU)	Cor (uC)	PAC (ppm)	Polímero (ppm)	Dados experimentais (g)	Eq. AFFE (g)	Erro relativo (%)
1	7,14	23,6	12,0	-	0,0637	0,025	61,54
2	32,10	124,0	17,0	0,08	0,0428	0,100	134,44
3	6,39	5,5	10,0	0,08	0,0207	0,020	4,99
4	2,16	4,5	4,5	-	0,0072	0,007	2,00
5	2,89	5,1	4,0	0,08	0,0150	0,009	38,87
6	3,58	20,0	5,5	-	0,0062	0,013	112,19
7	3,15	24,2	4,0	-	0,0394	0,012	68,80
8	2,94	22,0	4,0	-	0,0099	0,011	92,27
9	3,02	17,8	5,0	-	0,0059	0,011	15,54
10	7,08	42,0	9,0	0,08	0,0257	0,026	1,52
11	19,40	89,3	15,0	0,08	0,0467	0,064	37,59
12	14,10	87,5	10,0	-	0,0296	0,049	67,20
13	9,70	65,8	10,5	-	0,0686	0,036	47,43



**Figura 3** - Valores de lodo previsto pela equação da AFFE em relação aos dados obtidos experimentalmente.

Pela análise da Figura 3 é possível visualizar que algumas amostras obtiveram resultados muito próximos entre a equação empírica e os dados experimentais, indicando a possível melhor aplicabilidade da equação no sistema estudado. Numericamente, as amostras 3, 4 e 10 obtiveram erros relativos menores que 5%.

Por fim, menciona-se que todos os modelos de comparação são passíveis de erro, assim como cada ETA pode apresentar particularidades que podem resultar em maior ou menor confiabilidade do modelo.

Neste sentido, recomenda-se sempre um estudo específico por ETA para maior confiabilidade e possível ajuste. Recordar-se também que dada a variação climática (sazonalidade) ao longo do ano, um modelo, mesmo ajustado, pode ser objeto de adequações/ponderações para uma mesma ETA ao longo do ano.

### Conclusão

Na comparação dos valores experimentais com a tabela de previsão de lodo por tipo de manancial (Tabela 1) foi possível observar os evidentes melhores resultados para o grupo 2, de reservatório de qualidade média de água, com duas amostras enquadradas na faixa e outras três com erro relativo menor que 20%, enquanto no grupo 1 obteve-se como melhor amostra uma única abaixo de 20%, e com três amostras com erros de mais de 70%. Isso pode ser explicado pela maior incidência do mecanismo de coagulação de varredura em águas com maior turbidez, como indica Di Bernardo e Paz (2008), sugerindo que as faixas da tabela tenham sido estimadas com ênfase nessa forma de operação.

Na comparação dos valores experimentais com as equações empíricas os melhores valores obtidos foram os das amostras 3, 4 e 10 com a equação AFFE (1982), com erro relativo abaixo de 5%, com destaque para a amostra 10 com erro relativo de 1,52%. As outras equações,

equação AWWA (1978) e equação CETESB, obtiveram como menor erro relativo 19,39% na amostra 2 e 11,14% na amostra 4, respectivamente.

Os valores obtidos indicam que a equação AFFE (1982) possui mais assertividade em amostras específicas, nesse caso em amostras com turbidez entre 2 e 7 NTU, porém certas amostras apresentaram erros relativos de até 134,44%.

De modo geral, pode-se concluir que as abordagens tanto da tabela proposta e das equações empíricas não possuem resultados consistentemente satisfatórios, não havendo modelo com significativo destaque de eficiência, de modo que as estimativas não podem ser consideradas confiáveis utilizando um método unicamente. Segundo Katayama (2012) a verificação cruzada de mais de um método como o balanço de massa e a verificação direta em campo pode agregar nas avaliações da geração de lodo, o que é coerente ao apresentado nesse trabalho, uma vez que as equações empíricas, embora possuam sua pertinência, podem não ser recomendadas em certas situações.

Como sugestão de abordagem complementar, deve-se aumentar o número de amostras a fim de diminuir os efeitos naturais das variações experimentais, bem como é recomendado dividir as amostras por mecanismo de coagulação.

## Referências bibliográficas

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Norma Brasileira nº 10004*. Resíduos sólidos – classificação. 2ª ed. São Paulo, 2004.
- AWWA. *Water Treatment Plant Design*. 4 ed. McGRAW-HILL, Nova York, 2005.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, L. G. J. et al. *Introdução à Engenharia Ambiental*. 2 ed. São Paulo, SP: Pearson Education do Brasil, 2005.
- BRASIL. *Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. 11-20-2020.
- \_\_\_\_\_. *Portaria de Consolidação (PCR) nº 5*, de 28 de setembro de 2017. 2017.
- DI BERNARDO, L.; PAZ, L.P.S. *Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água Volume 1*. Editora LDIBE LTDA, São Carlos – SP, 2008.
- KATAYAMA, V. T. *Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Acesso em: 10-12-2020.
- REALI, M. A. P. *Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs*. In: REALI, M. A. P. (Coordenador). *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 240 p. 1999.
- REIS, R. F.; CORDEIRO, J. S. Remoção de água de lodos de ETAs em leito de drenagem coberto. *Hydro* (São Paulo), ano VI, n. 58, p. 46-53, 2011.
- SABESP. *Qualidade da água tratada*. São Paulo, 2021. Disponível em <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaid=40>>. Acesso em: 15 maio 2021.

SCALIZE, P. S.; SOUZA, L. M. D.; ALBUQUERQUE, A. Reuse of alum sludge for reducing flocculant addition in Water Treatment Plants. *Environment Protection Engineering*, v. 45, p. 58-70. 2019. DOI: 10.5277/epe190105.

<sup>1</sup>Diogo Gouveia Marques. Engenheiro Químico. Universidade Estadual de Maringá, Avenida Colombo, 5790 - Zona 7, Maringá - PR. diegogm44@outlook.com;

<sup>2</sup>Renan Felício dos Reis. Doutor em Engenharia Urbana e Professor EBTT. renan.felicio@ifsp.edu.br;

<sup>3</sup>Ricardo Augusto Rodrigues. Engenheiro Químico e Técnico de laboratório. ricardo.augusto@ifsp.edu.com.br;

<sup>4</sup>Miriã Camargo Felício. Engenheira Ambiental e Professora EBTT. miria.camargo@ifsp.edu.br;

<sup>2,3,4</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Câmpus São Roque. Rodovia Prefeito Quintino de Lima, 2100, Paisagem Colonial - São Roque - SP.

Este artigo:

Recebido em: 04/2021

Aceito em: 09/2021

#### Como citar este artigo:

MARQUES, Diego Gouveia et al. Verificação da assertividade da previsão de geração de lodo em ETA em comparação com ensaios de *jar test*. *Scientia Vitae*, v.12, n.34, ano 8, p. 33-44, jul./ago./set. 2021.