

CLEITON DEIVIS KRUMMENAUER

**EQUAÇÃO EMPÍRICA PARA A DETERMINAÇÃO DO CUSTO
TOTAL COM O MANEJO DO LODO NA ETA DE CHAPECÓ-SC**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como
requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof^o Me. Leandro Bassani

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e
aprovado pela banca em: 04 / 12 / 2015

BANCA EXAMINADORA



Prof^o Me. Leandro Bassani – UFFS



Prof^o Dr. Arlindo Cristiano Felipe – UFFS

Prof^o Dr. Alexandre Augusto Moreira Lapis - UFFS

EQUAÇÃO EMPÍRICA PARA A DETERMINAÇÃO DO CUSTO TOTAL COM O MANEJO DO LODO NA ETA DE CHAPECÓ

Cleiton Krummenauer*
Leandro bassani**

Resumo

Este trabalho propõe modelar através de equações empíricas a relação entre a turbidez e o custo total envolvido com o manejo do lodo, ou seja, a soma dos custos com o coagulante, com os polímeros de condicionamento de lodo, com a energia gasta no desaguamento e com transporte e disposição final. Para estabelecer esta equação empírica foram utilizadas as curvas de correlação da dosagem de coagulante versus turbidez e também S.T (sólidos totais) versus turbidez, desenvolvidas para mesma estação na TCC (trabalho de conclusão do curso) do curso de engenharia ambiental da UFFS (Universidade Federal da Fronteira Sul) defendida em 2014. A partir dessas curvas foi determinada uma equação empírica correlacionando a turbidez com o custo com PAC (Policloreto de alumínio) utilizado na coagulação, uma equação empírica correlacionando a turbidez com o custo com polímero utilizado como auxiliar de centrifugação, uma equação correlacionando a turbidez com o custo com energia elétrica consumida durante a centrifugação e a equação empírica correlacionando a turbidez com o custo com transporte e disposição final do lodo. Após isso se somou todos esses custos e obteve-se a equação empírica correlacionando a turbidez com o custo total para um determinado dia. O custo total envolvido no tratamento de água para o período experimental foi de R\$ 584.898,66, sendo que o gasto com polímero foi de 384.311,77, o que representa 61% do custo total demonstrando que numa ETA que possui um sistema de tratamento de lodo o custo com polímero auxiliar de centrifugação é custo mais representativo.

Palavras-chave: Equações empíricas. Turbidez. Curva de correlação. Custo total.

Introdução

No Brasil o tratamento da água para o consumo humano é feita predominantemente através das estações de tratamento de água de ciclo completo que seguem essas etapas durante o tratamento: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Essas etapas visam a remoção das partículas sólidas em suspensão encontradas na água e a remoção dos microrganismos que podem causar danos à saúde dos consumidores do abastecimento urbano de água.

O tratamento da água possui muitos benefícios sociais, mas assim como toda indústria de transformação, os processos podem gerar impactos no ambiente (RIBEIRO, 2003). O principal impacto no ambiente oriundo do tratamento de água é a disposição inadequada do lodo gerado na decantação e filtração da água.

* Graduando do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Chapecó – SC, Brasil. E-mail: cleitondeivis@gmail.com

** Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Professor Msc na Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Chapecó – SC, Brasil. E-mail: bassani2609@gmail.com

O lodo gerado nas estações de tratamento de água está diretamente relacionado com a qualidade da água do reservatório de abastecimento, quanto maior a quantidade de partículas em suspensão (impurezas) maior é o volume de lodo gerado no tratamento da água. Essas partículas em suspensão são provenientes da matéria orgânica presente no corpo de água e também existem aquelas provenientes do solo da bacia hidrográfica que são carregadas pela erosão da chuva.

No Brasil existem poucas estações de tratamento de água (ETAs) que tratam o lodo gerado durante o tratamento, sendo que a grande maioria das estações depositam o lodo gerado diretamente no rio sem nenhum tipo de tratamento o que contribui para a queda da qualidade da água localizada a jusante do ponto de deposição do lodo.

Devido ao número restrito de ETAs com tratamento de lodo no país são raros os casos de estudos sobre os custos operacionais envolvidos no tratamento e disposição final do lodo.

Esse trabalho tem como objetivo estimar o custo total envolvido no tratamento do lodo em uma estação de tratamento de água considerando os gastos com o transporte e desaguamento do lodo por centrifugação, gasto com o coagulante, polímeros auxiliares na centrifugação e energia; usando como dados de entrada a vazão de água bruta e seu respectivo índice de turbidez.

Estimar os gastos acima citados é uma ferramenta essencial na gestão das estações de tratamento, permitindo uma avaliação do impacto que a qualidade da água gera sobre os custos operacionais bem como um critério de desempenho para avaliar o impacto de qualquer mudança operacional produzirá sobre estes custos. Por exemplo: ajustar gradientes e dosagens de coagulante produzirá um impacto sobre a produção de lodo que poderá ser avaliado em termos financeiros

Desenvolvimento

No Brasil a metodologia mais utilizada para o tratamento da água destinada para o abastecimento urbano é o tratamento por ciclo completo que é caracterizada por apresentar cinco fases durante o tratamento da água que são a coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

A primeira fase de tratamento do ciclo completo é a coagulação que consiste na neutralização de cargas. As impurezas presentes na água (sólidos dissolvidos, gases dissolvido e partículas coloidais em suspensão) apresentam geralmente carga elétrica negativa e permanece estável na água devido à força de repulsão eletrostática entre essas partículas. No processo de coagulação ocorre a introdução de sais principalmente de alumínio que possuem íon de carga positiva que neutralizam a carga negativa das partículas. Uma vez neutralizadas as cargas negativas das partículas, estas não mais se repelem, ou seja, ocorre a desestabilização da solução coloidal.

Após a neutralização das cargas realizada pela coagulação, a água tratada passa pelo processo de floculação onde a água é agitada lentamente numa velocidade de agitação segura de forma a não quebrar os flocos de partículas formadas. Nessa fase as partículas neutralizadas durante a coagulação formam flocos maiores para aumentar a densidade e sedimentar. Além da neutralização de cargas existe o mecanismo da varredura que ocorre quando a concentração de coagulante é elevada ultrapassando o limite de solubilidade dos hidróxidos de alumínio formados durante a dissolução dos sais na água, quando este limite é ultrapassado ocorre a precipitação destes hidróxidos. Esses hidróxidos ao precipitarem carregam junto às impurezas presentes na água. Os mecanismos de neutralização de cargas e varredura ocorrem simultaneamente em

estações de tratamento de água, sendo a predominância de um ou de outro determinada pela dosagem do coagulante e pelo pH da água após a introdução do coagulante

A fase da decantação é onde os flocos formados durante a floculação entram num fluxo descendente devido a essas partículas possuírem densidade maior que a densidade da água e indo depositar no fundo do decantador por ação da gravidade. Uma camada de lodo é assim formada no fundo do decantador, sendo necessária sua remoção periódica.

Após a decantação ainda há partículas em suspensão que não foram sedimentadas. Essas partículas são removidas pela filtração que consiste num filtro composto de várias camadas de carvão e areia de várias granulometria onde as partículas menores ficam retidas, essa fase é chamada de filtração.

A última fase do tratamento de ciclo completo é a desinfecção que consiste na remoção dos microrganismos presentes na água que podem provocar doenças à população através do uso de um agente químico ou físico. Nas estações de tratamento de água o método mais comum é o uso de gás cloro ou gás ozônio, sendo no Brasil empregado principalmente o cloro. A cloração consiste na adição de gás cloro sendo dissolvido num tanque de água.

Geração de lodo

Numa estação de tratamento de água o lodo é gerado nas fases de decantação e filtração. Estima-se que 60 % a 95 % do lodo gerado na estação de tratamento de água provêm dos decantadores e o restante resulta da lavagem dos filtros, variando essa proporção de acordo com o tipo e dosagem do coagulante, eficiência hidráulica das unidades e propriedades físicas e químicas da água (RICHTER 2001).

O lodo gerado na estação de tratamento é proveniente das partículas sólidas em suspensão da água bruta combinado com o coagulante utilizado nos processos de neutralização de cargas e varredura durante a coagulação. A quantidade de lodo gerada no tratamento da água depende diretamente do índice de turbidez presente na água que é uma medida indireta da concentração de partículas sólidas em suspensão na água como areia, argila, matéria orgânica e microrganismos, ou seja, quanto maior o valor do índice de turbidez maior a quantidade de lodo gerado. Além disso, a dosagem de coagulante aumenta de forma diretamente proporcional ao aumento do índice de turbidez.

Destinação de lodo

Nas estações de tratamento de água brasileiras é muito raro apresentarem unidades de tratamento de lodo. Nesse caso o lodo que é removido de forma periódica do decantador e das lavagens dos filtros é depositado diretamente no curso de água mais próximo da unidade de estação de tratamento de água.

Essa prática muito comum no Brasil provoca queda de qualidade do corpo receptor do lodo devido a grande carga orgânica presente no lodo além dos compostos químicos oriundos da etapa de coagulação que são basicamente íons metálicos, principalmente de alumínio, que em determinada quantidade podem provocar danos ao meio ambiente aquático.

Em estações de tratamento de água que possuem unidades de tratamento de lodo, o lodo removido de decantador é enviado para um tanque de armazenamento do lodo para ser adensado visando reduzir seu volume pela retirada de água o que objetiva facilitar o desaguamento pela centrifugação. As duas formas mais comuns de adensamento são o adensamento por gravidade e a flotação a ar dissolvido. No

adensamento por gravidade o lodo composto por matéria floculenta é encaminhado a um tanque de sedimentação onde ocorre simultaneamente a sedimentação e o adensamento na parte inferior do tanque. Em média o adensador produz lodo com uma concentração de 2 % em matéria seca, contra uma concentração de entrada de 0,5 %. *“No processo de adensamento por flotação é feita a recirculação de água clarificada a uma câmara de saturação alimentada por um compressor onde ela atinge a saturação de oxigênio dissolvido. Ao ser encaminhada a região de entrada do adensador, essa água saturada de oxigênio passa por uma mudança brusca de pressão que a faz liberar microbolhas. Com isso, as partículas sólidas do lodo tem sua densidade diminuída através da adesão das microbolhas à sua superfície o que as faz se deslocarem ascendentemente no líquido, formando uma cobertura de lodo que é removida periodicamente por raspadores. Flocos de sulfato de alumínio têm densidade relativa aproximada de 1,003 e diâmetro aproximado de 1 mm. Com o ar incorporado sua densidade se reduz a 0,99-0,98 ou menos, obtendo-se velocidades de flotação da ordem de dez vezes superiores em relação a velocidade de sedimentação sob as mesmas condições”* (SICHERELO 2014 apud RICHTER, 2001).

Já o lodo gerado pelas lavagens dos filtros é enviado para um tanque de clarificação onde a água é separada da parte sólida. A parte sólida é enviada para o tanque de reunião de lodo (entrada do adensador) e a água clarificada é reaproveitada novamente na estação de tratamento.

Na unidade de tratamento de água os custos mais significativos na operação de tratamento do lodo são: os custos da energia elétrica para operar decantador centrífugo, custo com o polímero a fim de preparar o lodo para o desaguamento e custo com transporte do lodo para aterros de resíduo sólido.

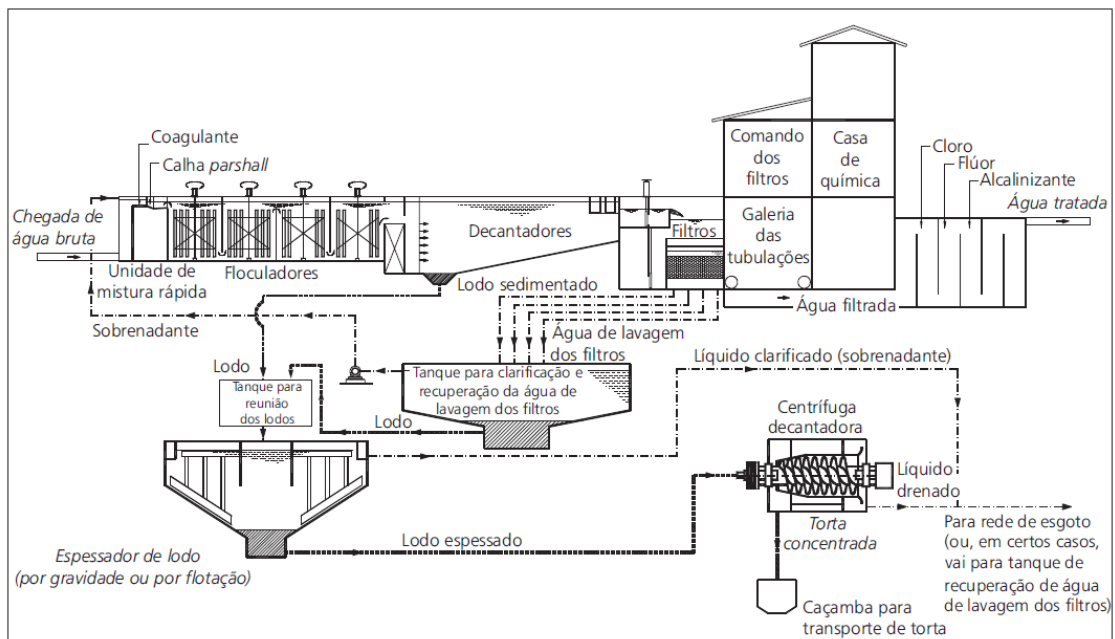
Desaguamento

A centrifugação é uma operação de separação de fases que ocorre pela ação do campo de forças centrífugo que surge quando se rotaciona um recipiente cilíndrico (tambor) contendo as fases que se deseja separar, como, por exemplo, o lodo originado em ETAS e em estações de tratamento de esgoto (ETES). No caso do lodo, quando o cilindro é submetido a altas rotações, as partículas mais densas (sólidos) são rapidamente impulsionadas na direção da parede interna do tambor, onde são acumuladas e, dessa forma, separadas da fase líquida (REALI, et all, 1999).

Na figura 1, é mostrado um esquema ilustrativo de um sistema de desidratação de lodo de ETA utilizando centrífuga. Esse esquema refere-se a um exemplo de sistema de remoção de água do lodo gerado em uma ETA convencional, envolvendo as seguintes etapas (REALI, et all, 1999):

- Clarificação por sedimentação e aproveitamento da água de lavagens de filtros da ETA. Nesse exemplo, os sedimentos dos tanques de clarificação são reunidos aos lodos descartados dos decantadores da ETA.
- Espessamento dos lodos provenientes das descargas dos decantadores e dos tanques de clarificação da água de lavagens de filtros.
- Após o espessamento do lodo (por flotação ou gravidade), este é encaminhado para a(s) centrífuga(s). Na(s) qual(is) ocorre a desidratação final. A torta produzida após a centrifugação é encaminhada para a disposição final, e o líquido drenado é retornado aos tanques de clarificação da água de lavagem de filtros ou descartado na rede de esgoto.

Figura 1: Esquema ilustrativo de um sistema de tratamento de água que utiliza centrífuga para desidratação de lodo.



Fonte: REALI, et all, 1999.

Metodologia

A partir das curvas experimentais da dosagem de coagulante x turbidez e a curva S.T (sólidos totais) versus turbidez apresentadas na TCC (trabalho de conclusão do curso) do curso de engenharia ambiental por Welker Sichelero defendida no ano de 2014 na UFFS (Universidade Federal da fronteira Sul). A partir das informações retiradas da TCC foi estimado os custos operacionais com o lodo da ETA de Chapecó: custo com a massa de PAC, o polímero auxiliar de centrifugação (polímero catiônico a base de poliacrimilamida), o custo com a energia elétrica na operação dos decantadores centrífugos e com o transporte e disposição final de lodo. Todos esses custos são dependentes do valor da turbidez da água bruta o que permite gerar uma curva de correlação entre a turbidez e o custo total com o lodo, o que vem a ser uma importante ferramenta de avaliação da relação entre qualidade da água bruta (representada pelo parâmetro turbidez) e o custo com o lodo, em outras palavras o quanto a qualidade do manancial impacta sobre um dos principais custos operacionais de uma ETA.

Custo com PAC

Foi utilizada a curva de correlação entre a dosagem de coagulante e a turbidez da água bruta (Figura 2) desenvolvida no trabalho de TCC de Welker Sichelero defendida no ano de 2014 como ponto inicial para a determinação da massa de PAC consumida no processo de coagulação na ETA de Chapecó utilizando os dados de vazão da estação e o índice de turbidez.

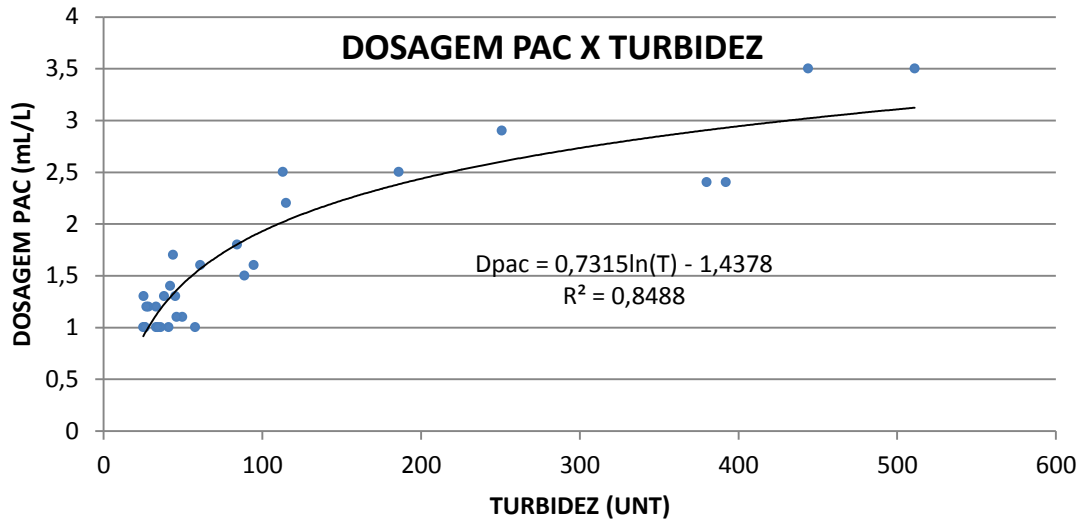
A partir dos pontos experimentais da figura 2 foram obtidos os valores da dosagem de PAC.

Considerando uma solução de dosagem de PAC de 1% (10 kg.m^{-3}) em massa utilizou-se a equação 1 para converter a dosagem aplicada (dada em mL.L^{-1}) para uma dosagem expressa em kg.m^{-3} .

$$C_{PAC}(i) = \frac{D_{PAC}}{1000} \times C_{PAC\ 1\%} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo $C_{PAC}(i)$ a dosagem em massa de PAC para o dia (kg.m^{-3}), $D_{PAC}(i)$ a dosagem de PAC na água (mL.L^{-1}) e $C_{PAC\ 1\%}$ a concentração de PAC na solução 1% (10 kg.m^{-3}).

Figura 2: Curva de correlação entre a dosagem de coagulante e a turbidez da água bruta.



Fonte: Welker Sichelero

Através da dosagem em massa diária de PAC utilizada na coagulação foi determinada a vazão de alimentação diária de PAC 1% na água para o tratamento multiplicando a vazão média da ETA pela concentração de PAC calculada pela equação 1, e dividindo esse produto pela concentração em massa de PAC 1%, obtém-se a vazão de alimentação da solução de dosagem.

$$Q_{PAC\ 1\%}(i) = \frac{Q_m \times C_{PAC}(i)}{C_{PAC\ 1\%}} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo $q_{PAC}(i)$ a vazão de alimentação de PAC 1% ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$), Q_m a vazão média de água de tratamento na ETA ($43.384 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$), $C_{PAC}(i)$ a dosagem em massa diária de PAC (kg.m^{-3}) e $C_{PAC\ 1\%}$ a concentração de PAC 1% (10 kg.m^{-3}).

Com a vazão de PAC calculada acima foi determinada a massa de PAC, na figura 3, gasta diariamente na coagulação multiplicando a vazão da solução de PAC 1% consumido pela densidade do PAC.

$$M_{PAC}(i) = (q_{PAC\ 1\%}) \times \frac{C_{PAC}}{1000} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo $M_{PAC}(i)$ a massa de PAC utilizada em determinado dia [t.dia^{-1}], $q_{PAC\ 1\%}(i)$ a vazão de alimentação coagulante (PAC 1%) [$\text{m}^3.\text{dia}^{-3}$] e C_{PAC} a dosagem em massa de PAC diária [10 kg.m^{-3}].

Com a massa de PAC calculada, determinou-se o custo com o coagulante na estação de tratamento de água multiplicando a massa de PAC pelo custo unitário do coagulante para cada ponto da curva dosagem de coagulante versus turbidez de acordo com a equação 4.

$$C_{US_{PAC}}(i) = M_{PAC}(i) \times C_{US_{unitPAC}} \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo $Cu_{SPAC}(i)$ o custo de PAC para determinado dia [$R\$.dia^{-1}$], $M_{PAC}(i)$ a massa de PAC utilizada em determinado dia [$t.dia^{-1}$] e $cust_{unitPAC}$ o custo unitário de PAC [1.500 R\$.t].

O somatório destes custos, na equação 5, representa o custo total de PAC consumido no período considerado (30 dias de dados experimentais).

$$Cus_{PACt} = \sum_{i=1}^{30} Cus_{PAC} (i) \quad (\text{Equação 5})$$

Com base no valor do custo de PAC para determinado dia e do correspondente valor de turbidez foi determinada uma equação de correlação (melhor ajuste possível) entre o valor da turbidez e do custo de PAC para determinado dia.

Custos com o lodo

Para a determinação da massa de lodo diária gerada no tratamento da água foi utilizada a curva de correlação entre a turbidez e os sólidos totais produzidos por processos de coagulação-floculação desenvolvida para a ETA de Chapecó no trabalho de TCC de Welker Sichelero defendida no ano de 2014.

Através dos pontos experimentais da figura 3 foi determinada a massa de sólidos produzida no processo de decantação da ETA utilizando-se a equação 6. Esse cálculo foi realizado pela multiplicação do valor de sólidos totais pela vazão média da ETA

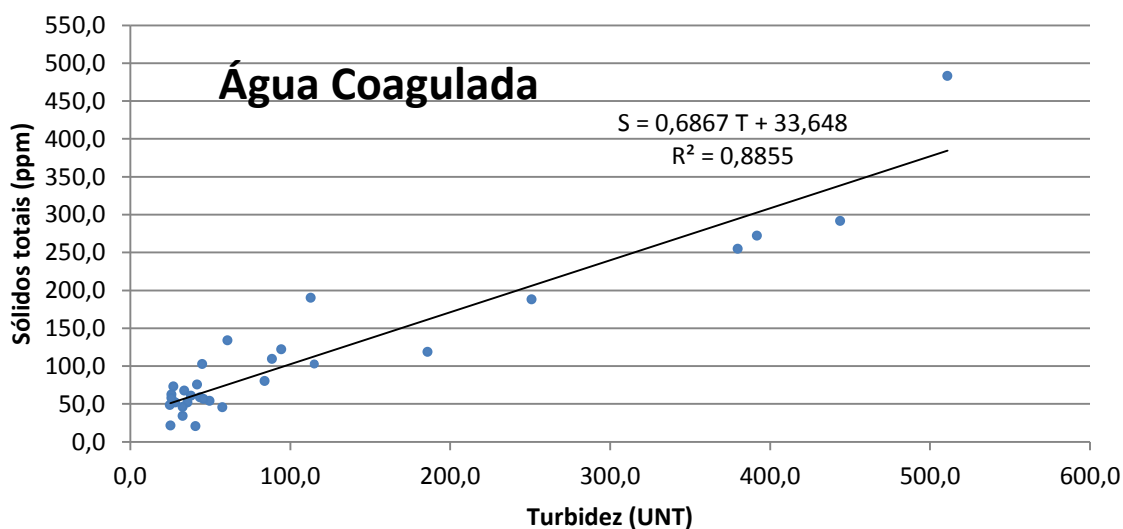
$$M_s(i) = \frac{S.T(i) \times Q_m}{1 \times 10^6} \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo $M_s(i)$ a massa de sólido seco para determinado dia [$t.dia^{-1}$], $S.T(i)$ a concentração de sólidos totais para determinado dia [$mg.L^{-1}$] e Q_m a vazão média de água bruta na ETA [$43.384 m^3.dia^{-1}$].

O somatório destas massas representa a massa total de lodo seco gerado no período considerado (30 dias de dados experimentais) na equação 7.

$$M_{st}(i) = \sum_{i=1}^{30} M_s (i) \quad (\text{Equação 7})$$

Figura 3: Curva de correlação entre teor de sólidos e turbidez da água coagulada.



Fonte: Welker Sichelero, 2014.

A massa de lodo que será encaminhada ao adensador após a coagulação foi determinada pela equação 8 através da relação entre a massa de lodo seca e a concentração relativa de sólidos no lodo decantado. A massa de sólido seca na decantação representa 0,5 % da massa total do lodo.

$$M_{la}(i) = \frac{M_s(i)}{C_s} \quad (\text{Equação 8})$$

Sendo: $M_{la}(i)$ a massa de lodo a ser adensado em determinado dia [t.dia⁻¹], $M_s(i)$ a massa de sólido seco para determinado dia [t.dia⁻¹] e C_s a concentração de sólidos em valor relativo (0,005)

Esse lodo será encaminhado ao adensador cuja concentração de sólidos na saída é de 2 %. A equação abaixo determina, portanto a massa de lodo úmida na saída do adensador e que será encaminhada à centrífuga.

$$M_{lc}(i) = \frac{M_s(i)}{C_s} \quad (\text{Equação 9})$$

Sendo $M_{lc}(i)$ a massa de lodo úmido a ser centrifugado em determinado dia [t.dia⁻¹], $M_s(i)$ a massa de sólido seco para determinado dia [t.dia⁻¹] e C_s a concentração de sólidos em valor relativo (0,02).

Com a massa de lodo a ser centrifugada, foi calculada a massa de polímero auxiliar de coagulação, utilizando-se a equação 10. Isto é feito pela multiplicação da massa de lodo a ser centrifugada pelas dosagens de polímero necessárias. A dosagem de polímero utilizada foi extraída na normativa da SABESP onde para uma água com turbidez maior que 10 UNT a dosagem de polímero a ser utilizada deve variar entre 2 e 6 quilograma por tonelada de lodo a ser centrifugado. Para esse trabalho foi utilizada a dosagem média de 4 quilograma.

$$M_p(i) = M_{lc}(i) \times D_p \quad (\text{Equação 10})$$

Sendo $M_p(i)$ a massa de polímero utilizada em determinado dia [t.dia⁻¹], $M_{lc}(i)$ a massa de lodo úmido a ser centrifugado em determinado dia [t.dia⁻¹] e D_p a dosagem de polímero utilizada [0,004 kg.kg⁻¹].

O custo de polímero para determinado dia foi calculado para cada valor de turbidez multiplicando a massa de polímero consumida pelo custo unitário do polímero, utilizando-se a equação 11.

$$C_{us_p}(i) = M_p(i) \times C_{us_{unit.}} \quad (\text{Equação 11})$$

Sendo $C_{us_p}(i)$ o custo com polímero para determinado dia [R\$.dia⁻¹], $M_p(i)$ a massa de polímero para determinado dia [t.dia⁻¹] e $C_{us_{unit}}$ o custo unitário do polímero [R\$.t⁻¹].

O custo total com polímero para o período considerado (30 dias de dados experimentais) foi determinado pelo somatório dos custos com polímero pela equação 12.

$$C_{us_{pt}} = \sum_{i=1}^{30} C_{us_p}(i) \quad (\text{Equação 12})$$

Para cada valor do custo com polímero foi associado o respectivo valor de turbidez obtendo-se assim uma curva de correlação (melhor ajuste) entre o custo com polímero e a turbidez.

Para determinar o volume de lodo a ser centrifugado foi determinada a densidade do lodo adensado. Para isso foi utilizada a equação 13 apresentada por Richter (2001) para o cálculo da densidade de lodo.

$$\delta_l = \frac{1}{\frac{C}{\delta_s} + \frac{(1-C)}{\delta_a}} \quad (\text{Equação 13})$$

Sendo δ_l a densidade do lodo adensado [$t \cdot m^{-3}$], C a concentração de sólidos em valor relativo (0,02), δ_s a densidade dos sólidos [$1,5 t \cdot m^{-3}$] e δ_a a densidade da água [$1 t \cdot m^{-3}$].

Com isso pôde ser determinado o volume de lodo a ser centrifugado dividindo a massa de lodo a ser centrifugado pela densidade do lodo adensado através da equação 14.

$$Vol_{lc}(i) = \frac{M_{lc}(i)}{\delta_{lc}} \quad (\text{Equação 14})$$

Sendo $Vol_{lc}(i)$ o volume de lodo a ser centrifugado em determinado dia [$m^3 \cdot dia^{-1}$], $M_{lc}(i)$ a massa de lodo a ser centrifugado em determinado dia [$t \cdot dia^{-1}$] e δ_{lc} a densidade lodo adensado [$t \cdot m^{-3}$].

Considerando a produção diária média de lodo no período experimental foi estimada a capacidade necessária para a centrifugação. Com essa capacidade foi determinada o número de horas necessárias a centrifugação em cada dia. O custo do consumo de energia elétrica foi calculado pela multiplicação da potência do equipamento pelo produto do número de horas de funcionamento pelo custo unitário de energia. O tempo de funcionamento para cada dia foi calculado pelo quociente entre o volume desaguado cada dia e a vazão da centrífuga; conforme equação 15.

$$Cus_{ener.}(i) = \left(\frac{Vol_{lc}(i)}{Q_c} \right) \times Cus_{unit.} \times P \quad (\text{Equação 15})$$

Sendo $Cus_{ener.}(i)$ o custo com energia elétrica para determinado dia [$R\$ \cdot dia^{-1}$], $Vol_{lc}(i)$ o volume de lodo a ser centrifugado em determinado dia [$m^3 \cdot dia^{-1}$], Q_c a vazão da centrífuga [$15 m^3 \cdot h$] e P a potência do decanter centrífugo (kW).

Custo total com energia elétrica para o período considerado é obtido pelo somatório de todos os valores de $Cus_{ener.}(i)$; conforme a equação 16.

$$Cus_{enert.} = \sum_{i=1}^{30} Cus_{ener.}(i) \quad (\text{Equação 16})$$

Para cada valor de turbidez existe um correspondente valor de custo de energia ($Cus_{ener.}(i)$). Plotou-se em um gráfico o valor do custo de energia para cada dia e a respectiva turbidez. Por regressão obteve-se a equação que correlaciona turbidez com custo de energia (melhor ajuste).

Após a centrifugação a massa de lodo restante é enviada para a disposição final. O lodo que sai após a centrifugação possui uma concentração de sólidos de 20 %, portanto a massa restante a ser transportada e disposta em aterro para determinado dia pode ser calculada pela equação 17.

$$M_{ld}(i) = \frac{M_s(i)}{C_s} \quad (\text{Equação 17})$$

Sendo $M_{lf}(i)$ a massa de lodo a ser descartada em determinado dia [t.dia⁻¹], $M_s(i)$ a massa de sólido seco em determinado dia [t.dia⁻¹] e C_s a concentração de sólidos em valore relativo (0,2).

Com a equação 13 foi calculada a densidade do lodo a ser destinada para disposição final. Então foi dividida a massa de lodo a ser descartada, pela densidade pós-centrifugação. Dessa maneira foi obtido o volume do lodo a ser enviado para o transporte e a disposição final para determinado dia, de acordo com a equação 18.

$$Vol_{lf}(i) = \frac{M_{lf}(i)}{\delta_{lf}} \quad (\text{Equação 18})$$

Sendo $Vol_{lf}(i)$ o Volume de lodo a ser descartado em determinado dia [m³.dia⁻¹], $M_{lf}(i)$ a massa de lodo a ser descartado em determinado dia [t.dia⁻¹] e δ_{lf} a densidade do lodo pós-centrifugação [t.m⁻³].

O volume de lodo descartado em determinado dia multiplicado pelo custo unitário do transporte e disposição do lodo, determina o custo com transporte e disposição final em determinado dia, conforme equação 19.

$$Cus_{trans.}(i) = Vol_{lf}(i) \times cus_{unittra} \quad (\text{Equação 19})$$

Sendo $Cus_{trans}(i)$ o custo com transporte e disposição final de lodo em determinado dia [R\$.dia⁻¹], $Vol_{lf}(i)$ o volume de lodo a ser descartado em determinado dia [m³.dia⁻¹] e $cus_{unittra}$ o custo unitário com transporte e disposição de lodo [R\$.m⁻³].

Procedendo ao somatório do custo com transporte para o período considerado de 30 dias tem-se o custo total com transporte e disposição de lodo como demonstra equação 20.

$$Cus_{transt} = \sum_{i=1}^{30} cus_{trans.}(i) \quad (\text{Equação 20})$$

Considerando que para cada valor de turbidez existe um valor de custo com transporte e disposição final em determinado dia foi traçada a curva de correlação entre as variáveis acima (melhor ajuste)

Somando os custos com coagulante, polímeros auxiliares de centrifugação, energia e transporte e disposição final tem-se o custo total em determinado dia com o lodo gerado pela ETA pela equação 21.

$$Cust_{final}(i) = Cus_{PAC}(i) + Cus_p(i) + Cus_e(i) + Cus_{trans.}(i) \quad (\text{Equação 21})$$

Somando os custos finais para cada dia experimental foi obtido o custo total para o período considerado de 30 dias.

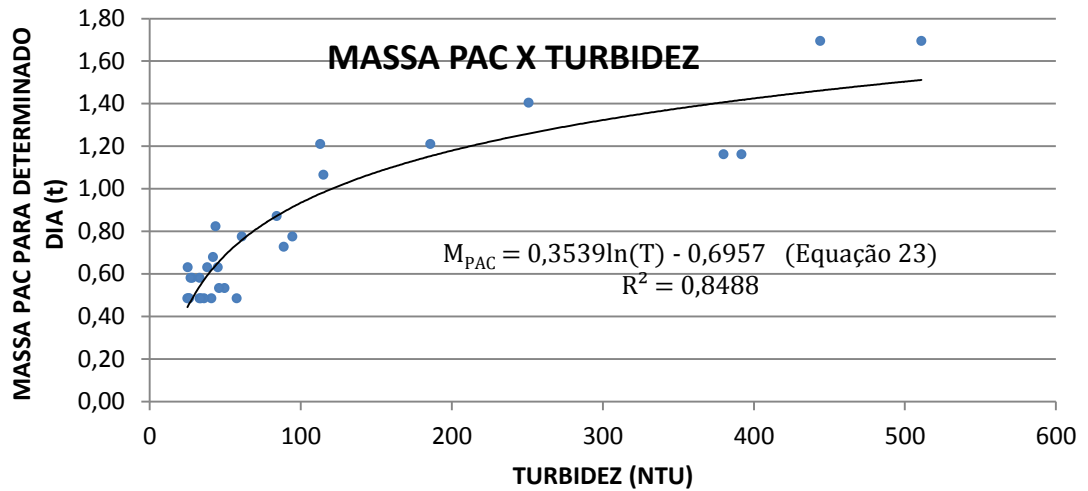
$$Custo_{total} = \sum_{i=1}^{30} cust_{final}(i) \quad (\text{Equação 22})$$

Para cada valor de $Cust_{final}(i)$ associou-se o seu correspondente valor de turbidez, obtendo assim uma equação que correlaciona o custo diário total com a turbidez.

Resultados e Discussões:

4. A equação de correlação entre a massa de PAC e a turbidez é mostrada na figura

Figura 4: Curva de correlação entre a massa de PAC e a turbidez

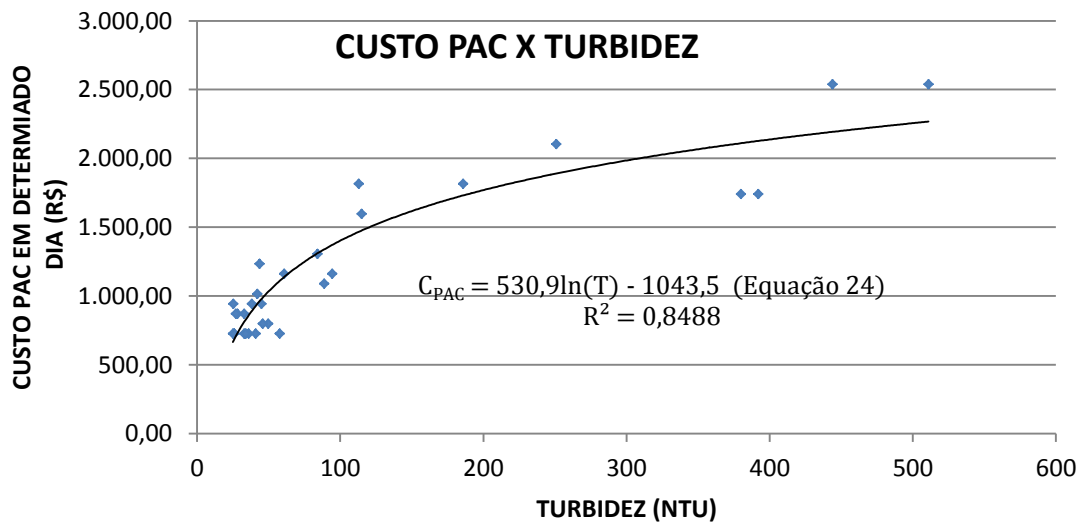


Para o período considerado de 30 dias foi gasto uma massa de 23,80 t de PAC.

Para a compra de PAC feita pela CASAN em abril desse ano durante a licitação de número PE 26/2015 foi realizada a compra pelo valor unitário de 1,50 R\$/ kg de PAC. Considerando a massa de PAC consumida no período experimental de 30 dias foi gasto R\$ 35.707,39.

A equação que correlaciona o custo com PAC para cada dia com a turbidez é mostrada na figura 5.

Figura 5: Curva que correlaciona custo de PAC e a turbidez.

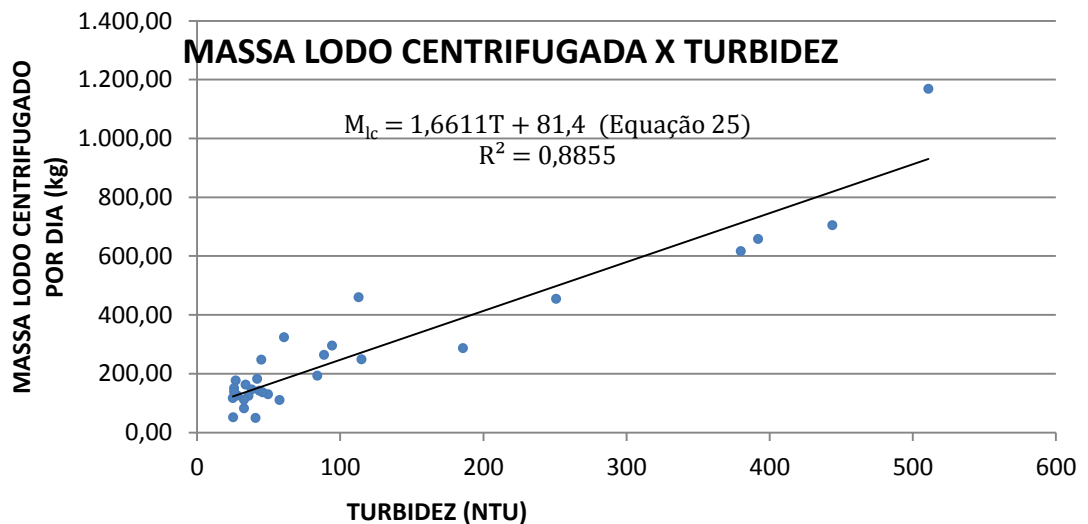


Custos com geração de lodo

O valor total de massa a ser centrifugada no período considerado é de 8.052,54 t. considerando a densidade calculada do lodo a ser centrifugado de $1,01 \text{ t.m}^{-3}$, chega-se a um volume de $7.998,86 \text{ m}^3$ a ser destinada ao desaguamento nesse período.

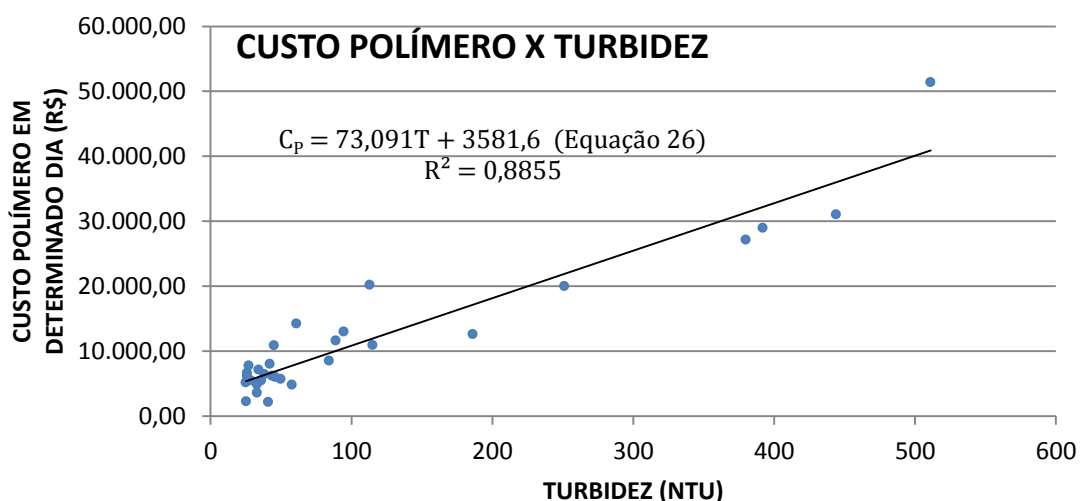
A equação de correlação obtida entre a massa de lodo a ser centrifugada e a turbidez é mostrada na figura 6.

Figura 6: Curva de correlação entre a massa de lodo a ser centrifugada e a turbidez.



Considerando o custo unitário do polímero de R\$ 11,00 foi obtida a curva de custo de polímero para cada valor de turbidez conforme a figura 7. O custo total com polímero foi de R\$ 354.311,77 para o período considerado. O ajuste que melhor se adapta aos pontos da figura é do tipo linear.

Figura 7: Curva de correlação entre o custo de polímero e a turbidez

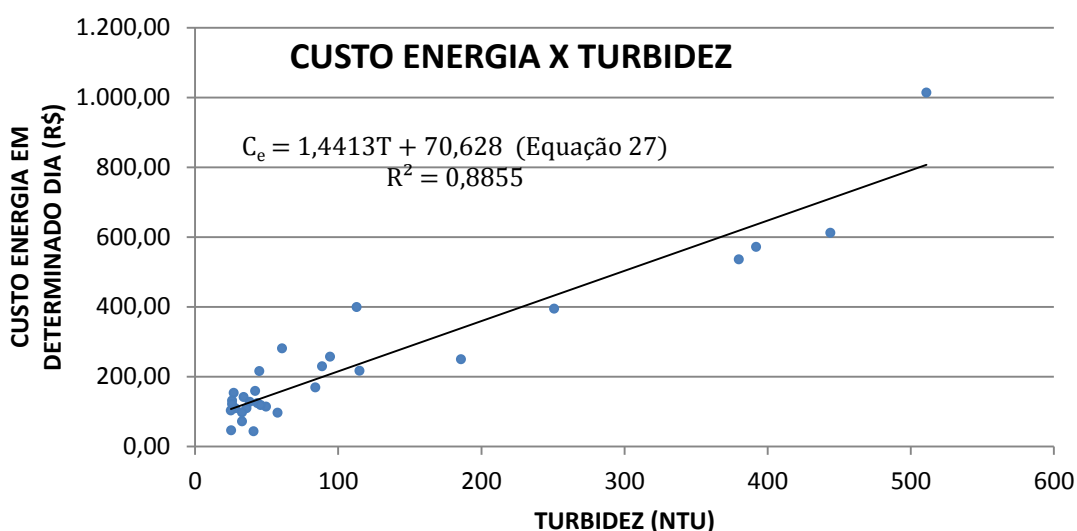


Com o volume de lodo a ser centrifugado de 7.998,86 m³ determinou-se a vazão média de lodo a ser centrifugado, considerando as 24 horas durante 30 dias chegou-se a um valor de 11,11 m³.h⁻¹. O decantador centrífugo deve operar com uma vazão que deve estar entre 45% e 70% da capacidade hidráulica do decantador de acordo com Richter 2001. Para isso a vazão considerada na escolha do decanter centrífugo foi considerada como 60% maior que a vazão média de centrifugação ficando em 17,78 m³.h⁻¹.

O decanter centrífugo escolhido foi o modelo AD39 / AD39H da empresa ASEPH Decanter com uma capacidade hidráulica que fica entre 15 m³.h⁻¹ e 20 m³.h⁻¹ com uma potência de 20 kW. Para 24 horas de funcionamento foi escolhido dois decanter que funcionarão 12 horas por dia cada um.

O preço unitário da energia elétrica de acordo com as tarifas da CELESC para água, esgoto e saneamento considerando os impostos para o mês de novembro foi de 0,485 R\$.kWh⁻¹. Considerando o custo unitário da energia e as características técnicas da centrífuga foi obtida a curva de correlação entre o custo da energia e a turbidez na figura 8.

Figura 8: Curva de correlação entre o custo com energia e a turbidez



Foi obtido o valor de R\$ 6.986,90 de custo com energia para o período considerado.

A massa total de lodo desaguado no período obtida foi de 805,2 t. Com uma densidade de 1,07 t.m⁻³ foi obtido o volume a ser descartado no período de 751,57 m³. Com o volume de lodo calculado foi determinado o custo com o transporte e a disposição final de lodo. O custo unitário com o transporte de lodo considerado foi de 250 R\$.m⁻³ encontrado na TCC de Welker Sichelero defendida no ano de 2014. O custo total com transporte e disposição final foi de R\$ 187.892,60 para o período considerado. A equação que correlaciona o custo com transporte e disposição final para cada dia com turbidez é mostrada na figura 9.

Após a determinação de todos os custos envolvidos, foi determinado o custo total com a operação da ETA considerando os custos com coagulante (PAC), custo com polímero, custo com a energia elétrica consumida no desaguamento e custo com transporte e disposição final de lodo gerando uma curva de correlação entre o custo total

da ETA e a turbidez na figura 10, sendo o custo total para o período experimental considerado de R\$ 584.898,66.

Figura 9: Curva de correlação entre o custo de transporte e disposição de lodo e a turbidez.

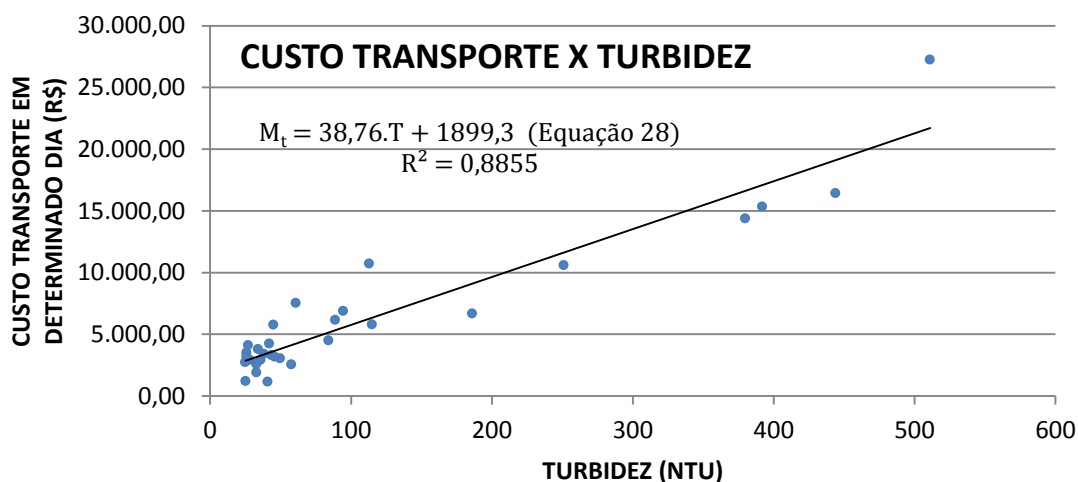
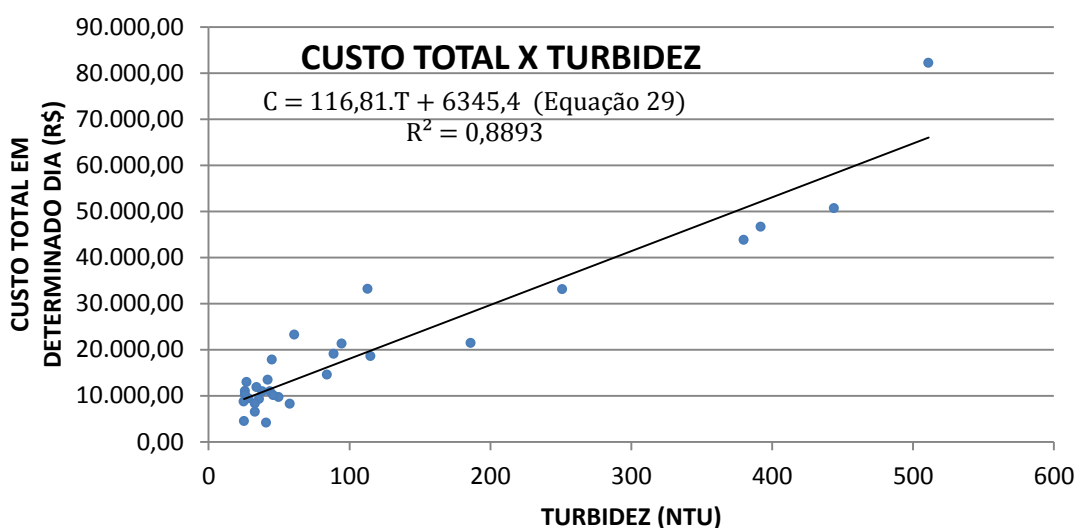


Figura 10: Curva de correlação entre o custo total e a turbidez



Após a determinação de todos os custos envolvidos, foi determinado o custo total com a operação da ETA considerando os custos com coagulante (PAC), custo com polímero, custo com a energia elétrica consumida no desaguamento e custo com transporte e disposição final de lodo gerando uma curva de correlação entre o custo total da ETA e a turbidez na figura 10, sendo o custo total para o período experimental considerado de R\$ 584.898,66.

Utilizando a equação da figura 10 para a turbidez média do período $T=112$ NTU multiplicando por 30 foi obtido o valor de R\$ 582.843,60. Comparando com o custo total definido pela equação 22, foi encontrada uma diferença de apenas R\$ 2.055,06 o que representa uma discordância de apenas 0,35 %, o que prova a confiança da equação.

Utilizando a curva de permanência da turbidez desenvolvida no trabalho de TCC de Welker Sichelero para o valor da turbidez com permanência de 50 % foi encontrado o valor de 35 NTU. Foi então calculado o custo total a partir da equação do custo total da figura 10.

Com a turbidez à 35 NTU foi obtido o custo total de R\$ 11.173,75 por dia, considerando uma redução de 30 % do valor da turbidez para 27 NTU com custo total de R\$ 10.158,28 diário gerando uma economia de R\$ 1.015,28 por dia.

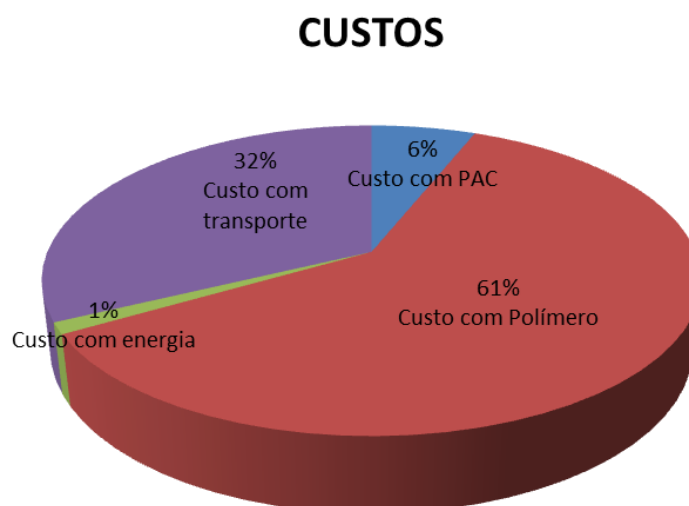
Os valores da tabela 1 foram retirados da curva de permanência da turbidez, que mostra significativa redução do valor do custo total em função desse parâmetro.

Tabela 1: Tabela de custo anual para os valores da curva de permanência da turbidez a 50% (T50), 75% (T75), 90% (T90)

CURVA PERMANÊNCIA	TURBIDEZ (NTU)	CUSTO ANUAL (R\$)
T50 – TURBIDEZ 50%	35	3.808.318,75
T75 – TURBIDEZ 75%	25	3.381.962,25
T90 – TURBIDEZ 90%	20	3.168.784,00

Com todos os custos considerados no manejo do lodo na ETA (PAC, polímero, energia elétrica consumida na centrifugação e descarte de lodo) foi determinada a representatividade de cada um deles no custo total demonstrado na figura 11. Pode-se perceber que o custo mais representativo no manejo do lodo da ETA é custo com a compra de polímero que representa 61 % custo total.

Figura 11: Divisão dos custos operacionais com o manejo do lodo na ETA Chapecó.



O custo total que envolve o processo do tratamento da água e do lodo gerado durante o tratamento pode ser determinado para um valor qualquer dos parâmetros de custos unitário (PAC, polímero, energia elétrica e descarte de lodo) e para uma dosagem qualquer de polímero de acordo com a equação 30.

$$C_t = (530,9 \cdot \ln(T) - 1043,5) \cdot \frac{C_{uPAC}}{1,5} + (73,091 \cdot T + 3581,6) \cdot \frac{C_{upol}}{11} \cdot \frac{D_{pol}}{4} + (1,4413 \cdot T + 70,628) \cdot \frac{C_{ue}}{0,4852} + (38,76 \cdot T + 1899,3) \cdot \frac{C_{utrans}}{250} \quad (\text{Equação 30})$$

Sendo C_t o custo total (R\$), T o valor do parâmetro turbidez (NTU), C_{uPAC} o custo unitário com o PAC (R\$.kg⁻¹), C_{upol} o custo unitário com polímero (R\$.kg⁻¹), D_{pol} a dosagem de polímero utilizada no desaguamento (kg.kg⁻¹), C_{ue} o custo unitário com

energia elétrica (R\$.kWh⁻¹) e $C_{u\text{trans}}$ o custo unitário com transporte e disposição final de lodo (R\$.m⁻³).

Conclusão

Pode-se perceber que todos os custos envolvidos com a operação da ETA de Chapecó são muito dependentes do valor da turbidez da água bruta, ou seja, esse parâmetro de simples obtenção pode ser usado como base para um modelo empírico que por sua vez é útil na avaliação de qualquer mudança operacional na ETA ou qualquer ação sobre a bacia hidrográfica que venha a impactar a turbidez da água. O aumento da turbidez gera um aumento da dosagem de PAC consumida e da geração de lodo, elevando os custos na ETA.

O custo total envolvido no tratamento da água para o período experimental considerado de 30 dias foi de R\$ 584.898,66 sendo que desse apenas o custo com polímero foi de R\$ 354.311,77 (61% do custo total com o manejo do lodo na ETA), mostrando que o polímero auxiliar de centrifugação representa o mais elevado de todos os custos no tratamento da água. Nesse trabalho foi considerada a dosagem média de polímero que pode ser utilizada na centrifugação, sendo que este custo pode variar em função da dosagem de polímero que é definida de forma experimental para cada estação.

Trabalhos futuros

- Estudo sobre o impacto na redução de custos operacionais na ETA a partir da melhoria da qualidade da água na bacia de captação.
- Estudo do impacto econômico da instalação de pré-filtro sobre os custos com o lodo.
- O modelo pode embasar futuras políticas de pagamentos por serviços ambientais; uma vez que possibilita avaliar economicamente o impacto das ações de preservação da bacia sobre os custos operacionais da ETA com lodo.
- Sugere-se ainda a realização semanal de análises de sólidos totais pela operação da ETA com vista a melhorar a equação de correlação entre turbidez e sólidos totais da água coagulada, sendo isto especialmente válido para os valores maiores de turbidez.

EMPIRICAL EQUATION FOR DETERMINING THE COST WITH THE MANAGEMENT OF SLUDGE IN ETA CHAPECÓ-SC

Abstract

This paper proposes modeling through empirical equations the relationship between turbidity and total cost involved in the sludge handling, i.e., the sum of the costs of the coagulant to the sludge conditioning polymers, with the energy consumed in dewatering and transportation and final disposal. To establish this empirical equation we used the correlation curves of dosage coagulant versus turbidity and also ST (total solids) versus turbidity, developed for the same station on TCC (course completion paper) the environmental engineering course of UFFS (Universidade Federal South of the frontier)

defended in 2014. From these curves was determined an empirical equation correlating turbidity with the cost PAC (Aluminum Polycloret) used in coagulation, an empirical equation correlating turbidity with the cost of polymer used as spin assist an equation correlating turbidity with the cost of electric power consumed during centrifugation and the empirical equation correlating turbidity with the cost of transportation and final disposal of the sludge. After that all these costs are added and obtained empirical equation turbidity correlating to the total cost for a given day. The total cost involved in the treatment of water for the experimental period was R \$ 584,898.66, and the spent polymer was 384,311.77, which represents 61% of the total demonstrating that has an ETA to a treatment system sludge cost centrifugation auxiliary polymer is more representative cost.

Keywords: Empirical equations. Correlation curve. Turbidity. Total cost.

REFERÊNCIAS

- (1) BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de Dezembro de 1989. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 10 Maio 2015.
- (2) DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2º ed. São Carlos: RiMA, vol. 1, 2005.
- (3) DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2º ed. São Carlos: RiMA, vol. 2, 2005.
- (4) RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água.** São Paulo: Blucher, 2001.
- (5) REALI, M. A. P.; et all. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.** 1ª ed. Rio de Janeiro.
- (6) AMITHARAJAH, A. **The mechanisms of coagulation.** In: **Tecnologias para tratamento de água de abastecimento.** São Carlos, 20p. 1989.
- (7) PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. 216p. (Hidráulica e saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

(8) BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de Dezembro de 1989. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 05 mai. 2015

(9) SABESP. **Norma Técnica Sabesp NTS 287, de junho de 2011**: Sistema de desaguamento de lodo utilizando centrífuga decanter. São Paulo: SABESP, 2011.

(10) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004, de 30 de maio de 2004**: Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

(11) FERRANTI, Maria Eliana. **Desidratação de lodos de estação de tratamento de água**. 2005. 116f. (Recursos hídricos e saneamento ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 200

ANEXO A: Planilha de cálculo da massa e custo PAC, massa de lodo seco (matéria seca), volume e massa de lodo pós adensamento.

Nº	DATA DA COLETA	TURBIDEZ (UNT)	DOSAGEM PAC 1% (m³/m³)	CONCEN. PAC 1% (kg/m³)	VAZÃO PAC 1% (m³/dia)	MASSA PAC (t)	CUSTO PAC (R\$)
1	01/09/2014	186	2,5	0,03	120,96	1,21	1.814,40
2	03/09/2014	511	3,5	0,04	169,34	1,69	2.540,16
3	04/09/2014	113	2,5	0,03	120,96	1,21	1.814,40
4	08/09/2014	88,8	1,5	0,02	72,58	0,73	1.088,64
5	10/09/2014	42	1,4	0,01	67,74	0,68	1.016,06
6	11/09/2014	38,2	1,3	0,01	62,90	0,63	943,49
7	15/09/2014	25,3	1,3	0,01	62,90	0,63	943,49
8	17/09/2014	28,3	1,2	0,01	58,06	0,58	870,91
9	18/09/2014	27,1	1,2	0,01	58,06	0,58	870,91
10	22/09/2014	43,7	1,7	0,02	82,25	0,82	1.233,79
11	24/09/2014	94,5	1,6	0,02	77,41	0,77	1.161,22
12	25/09/2014	61	1,6	0,02	77,41	0,77	1.161,22
13	28/09/2014	45,1	1,3	0,01	62,90	0,63	943,49
14	29/09/2014	392	2,4	0,02	116,12	1,16	1.741,82
15	30/09/2014	380	2,4	0,02	116,12	1,16	1.741,82
16	31/09/2014	251	2,9	0,03	140,31	1,40	2.104,70
17	01/10/2014	444	3,5	0,04	169,34	1,69	2.540,16
18	02/10/2014	115	2,2	0,02	106,44	1,06	1.596,67
19	03/10/2014	84,1	1,8	0,02	87,09	0,87	1.306,37
20	04/10/2014	49,7	1,1	0,01	53,22	0,53	798,34
21	06/10/2014	46	1,1	0,01	53,22	0,53	798,34
22	07/10/2014	57,7	1	0,01	48,38	0,48	725,76
23	08/10/2014	41	1	0,01	48,38	0,48	725,76
24	09/10/2014	36	1	0,01	48,38	0,48	725,76
25	10/10/2014	33	1,2	0,01	58,06	0,58	870,91
26	11/10/2014	33	1	0,01	48,38	0,48	725,76
27	13/10/2014	26	1	0,01	48,38	0,48	725,76
28	14/10/2014	34	1	0,01	48,38	0,48	725,76
29	15/10/2014	25	1	0,01	48,38	0,48	725,76
30	16/10/2014	26	1	0,01	48,38	0,48	725,76
TOTAL			49,20	0,49	2.380,49	23,80	35.707,39

Nº	DATA DA COLETA	TURBIDEZ (UNT)	TEOR DE SÓLIDOS (mg/L)	MASSA LODO SECO (t)	MASSA LODO DEC. (t)	MASSA DE LODO ADENS.(t)	VOLUME LODO ADEN.(m³)
1	01/09/2014	186	118,50	5,73	1.146,75	286,69	284,78
2	03/09/2014	511	482,71	23,36	4.671,11	1.167,78	1.159,99
3	04/09/2014	113	189,91	9,19	1.837,69	459,42	456,36
4	08/09/2014	89	108,96	5,27	1.054,39	263,60	261,84
5	10/09/2014	42	75,31	3,64	728,71	182,18	180,96
6	11/09/2014	38	60,36	2,92	584,13	146,03	145,06
7	15/09/2014	25	21,38	1,03	206,84	51,71	51,37
8	17/09/2014	28	51,76	2,50	500,87	125,22	124,38
9	18/09/2014	27	72,87	3,53	705,17	176,29	175,12
10	22/09/2014	44	58,48	2,83	565,87	141,47	140,52
11	24/09/2014	95	121,96	5,90	1.180,16	295,04	293,07
12	25/09/2014	61	133,54	6,46	1.292,19	323,05	320,89
13	28/09/2014	45	102,27	4,95	989,68	247,42	245,77
14	29/09/2014	392	271,97	13,16	2.631,82	657,96	653,57
15	30/09/2014	380	254,74	12,33	2.465,05	616,26	612,16
16	31/09/2014	251	187,62	9,08	1.815,59	453,90	450,87
17	01/10/2014	444	291,36	14,10	2.819,42	704,86	700,16
18	02/10/2014	115	102,66	4,97	993,41	248,35	246,70
19	03/10/2014	84	79,92	3,87	773,35	193,34	192,05
20	04/10/2014	50	53,81	2,60	520,75	130,19	129,32
21	06/10/2014	46	56,22	2,72	543,99	136,00	135,09
22	07/10/2014	58	45,46	2,20	439,87	109,97	109,24
23	08/10/2014	41	20,41	0,99	197,50	49,38	49,05
24	09/10/2014	36	51,54	2,49	498,73	124,68	123,85
25	10/10/2014	33	33,84	1,64	327,43	81,86	81,31
26	11/10/2014	33	45,86	2,22	443,79	110,95	110,21
27	13/10/2014	26	62,24	3,01	602,31	150,58	149,57
28	14/10/2014	34	67,15	3,25	649,80	162,45	161,37
29	15/10/2014	25	48,44	2,34	468,71	117,18	116,40
30	16/10/2014	26	57,36	2,78	555,05	138,76	137,84
TOTAL				161,05	32.210,16	8.052,54	7.998,86

ANEXO B: Planilha de cálculo da massa e custo de polímeros, custo com energia elétrica na centrifugação, volume e massa de lodo final (pós centrifugação), custo com transporte e disposição final de lodo e custo total de operação da ETA.

Nº	DATA DA COLETA	TURBIDEZ (UNT)	TEOR DE SÓLIDOS (mg/L)	MASSA LODO ADENS. (t)	MASSA POLÍMERO (t)	VOLUME LODO ADENS.(m³)	CUSTO POLÍMERO (R\$)	CUSTO ENERGIA (R\$)
1	01/09/2014	186	118,50	286,69	1,15	284,78	12.614,21	248,75
2	03/09/2014	511	482,71	1.167,78	4,67	1.159,99	51.382,24	1.013,24
3	04/09/2014	113	189,91	459,42	1,84	456,36	20.214,61	398,62
4	08/09/2014	89	108,96	263,60	1,05	261,84	11.598,29	228,71
5	10/09/2014	42	75,31	182,18	0,73	180,96	8.015,86	158,07
6	11/09/2014	38	60,36	146,03	0,58	145,06	6.425,40	126,71
7	15/09/2014	25	21,38	51,71	0,21	51,37	2.275,29	44,87
8	17/09/2014	28	51,76	125,22	0,50	124,38	5.509,56	108,65
9	18/09/2014	27	72,87	176,29	0,71	175,12	7.756,89	152,96
10	22/09/2014	44	58,48	141,47	0,57	140,52	6.224,56	122,75
11	24/09/2014	95	121,96	295,04	1,18	293,07	12.981,79	256,00
12	25/09/2014	61	133,54	323,05	1,29	320,89	14.214,13	280,30
13	28/09/2014	45	102,27	247,42	0,99	245,77	10.886,49	214,68
14	29/09/2014	392	271,97	657,96	2,63	653,57	28.950,03	570,88
15	30/09/2014	380	254,74	616,26	2,47	612,16	27.115,60	534,71
16	31/09/2014	251	187,62	453,90	1,82	450,87	19.971,49	393,83
17	01/10/2014	444	291,36	704,86	2,82	700,16	31.013,63	611,58
18	02/10/2014	115	102,66	248,35	0,99	246,70	10.927,63	215,49
19	03/10/2014	84	79,92	193,34	0,77	192,05	8.506,83	167,75
20	04/10/2014	50	53,81	130,19	0,52	129,32	5.728,26	112,96
21	06/10/2014	46	56,22	136,00	0,54	135,09	5.983,84	118,00
22	07/10/2014	58	45,46	109,97	0,44	109,24	4.838,62	95,42
23	08/10/2014	41	20,41	49,38	0,20	49,05	2.172,53	42,84
24	09/10/2014	36	51,54	124,68	0,50	123,85	5.486,06	108,18
25	10/10/2014	33	33,84	81,86	0,33	81,31	3.601,71	71,02
26	11/10/2014	33	45,86	110,95	0,44	110,21	4.881,71	96,27
27	13/10/2014	26	62,24	150,58	0,60	149,57	6.625,44	130,65
28	14/10/2014	34	67,15	162,45	0,65	161,37	7.147,83	140,95
29	15/10/2014	25	48,44	117,18	0,47	116,40	5.155,76	101,67
30	16/10/2014	26	57,36	138,76	0,56	137,84	6.105,58	120,40
TOTAL				8.052,54	32,21	7.998,86	354.311,77	6.986,90

Nº	DATA DA COLETA	TURBIDEZ (UNT)	TEOR DE SÓLIDOS (mg/L)	MASSA LODO DESCART. (t)	VOLUME LODO DESCAR.(m³)	CUSTO TRANSPORTE (R\$)	CUSTO TOTAL (R\$)
1	01/09/2014	186	118,50	28,67	26,76	6.689,35	21.366,71
2	03/09/2014	511	482,71	116,78	108,99	27.248,16	82.183,79
3	04/09/2014	113	189,91	45,94	42,88	10.719,87	33.147,51
4	08/09/2014	89	108,96	26,36	24,60	6.150,61	19.066,25
5	10/09/2014	42	75,31	18,22	17,00	4.250,83	13.440,82
6	11/09/2014	38	60,36	14,60	13,63	3.407,41	10.903,01
7	15/09/2014	25	21,38	5,17	4,83	1.206,59	4.470,24
8	17/09/2014	28	51,76	12,52	11,69	2.921,74	9.410,86
9	18/09/2014	27	72,87	17,63	16,45	4.113,50	12.894,26
10	22/09/2014	44	58,48	14,15	13,20	3.300,90	10.882,00
11	24/09/2014	95	121,96	29,50	27,54	6.884,29	21.283,29
12	25/09/2014	61	133,54	32,30	30,15	7.537,79	23.193,44
13	28/09/2014	45	102,27	24,74	23,09	5.773,14	17.817,80
14	29/09/2014	392	271,97	65,80	61,41	15.352,29	46.615,02
15	30/09/2014	380	254,74	61,63	57,52	14.379,48	43.771,62
16	31/09/2014	251	187,62	45,39	42,36	10.590,94	33.060,97
17	01/10/2014	444	291,36	70,49	65,79	16.446,62	50.611,99
18	02/10/2014	115	102,66	24,84	23,18	5.794,90	18.534,59
19	03/10/2014	84	79,92	19,33	18,04	4.511,20	14.492,15
20	04/10/2014	50	53,81	13,02	12,15	3.037,72	9.677,27
21	06/10/2014	46	56,22	13,60	12,69	3.173,25	10.073,42
22	07/10/2014	58	45,46	11,00	10,26	2.565,93	8.225,73
23	08/10/2014	41	20,41	4,94	4,61	1.152,10	4.093,23
24	09/10/2014	36	51,54	12,47	11,64	2.909,27	9.229,28
25	10/10/2014	33	33,84	8,19	7,64	1.910,00	6.453,64
26	11/10/2014	33	45,86	11,09	10,36	2.588,78	8.292,52
27	13/10/2014	26	62,24	15,06	14,05	3.513,49	10.995,35
28	14/10/2014	34	67,15	16,25	15,16	3.790,52	11.805,06
29	15/10/2014	25	48,44	11,72	10,94	2.734,12	8.717,31
30	16/10/2014	26	57,36	13,88	12,95	3.237,81	10.189,54
TOTAL				805,25	751,57	187.892,60	584.898,66