

**WELKER SICHELERO**

**MODELAGEM EMPÍRICA PARA ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO  
DE 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.

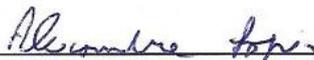
Orientador: Prof. Me. Leandro Bassani

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e  
aprovado pela banca em: 05 / 12 / 2019

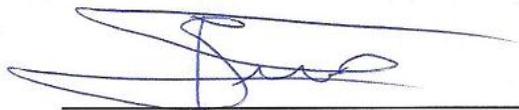
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Me. Leandro Bassani – UFFS



Prof. Dr. Alexandre Augusto Moreira Lapis – UFFS



Prof. Dr. Fernando Grison - UFFS

# MODELAGEM EMPÍRICA PARA ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE LODO NA ETA DE CHAPECÓ-SC

\* Welker Sichelero  
\*\* Leandro Bassani

## Resumo

Foi construída uma equação de correlação entre turbidez e concentração de sólidos na água coagulada com base nas determinações do teor de sólidos e turbidez de amostras de água obtidas na entrada da água bruta na estação de tratamento de água de Chapecó. A partir dessa curva foi estimada a produção de sólidos que formam o lodo proveniente do sistema de tratamento de água. Com os resultados dessa estimativa de sólidos foram calculados os volumes de lodo gerados para algumas tecnologias de desidratação e os respectivos custos de disposição final. Os resultados obtidos indicam que a disposição final de lodos em aterros sanitários é bastante dispendiosa, variando entre R\$ 600 mil e R\$ 1,6 milhão por ano (valores baseados na série de dados de turbidez e vazões registradas na operação da ETA de fevereiro de 2013 até março de 2014). Uma vez que o lodo de estações de tratamento de água tem diversas potencialidades de incorporação à processos industriais sem comprometer a qualidade final dos produtos, deve-se sempre estudar a possibilidade de se buscar parcerias para o aproveitamento desse material antes da decisão pela destinação final como resíduo sólido.

**Palavras-chave:** Modelo empírico, estimativa, produção de lodo.

## Introdução

Equações empíricas são importante ferramenta na definição de parâmetros de projeto quando não existe a possibilidade de medição da grandeza propriamente dita ou pretende-se fazer um prognóstico de determinado processo. Diante disso, pode-se afirmar que a estimativa da produção de lodo em uma estação de tratamento de água é de grande valia tanto para o dimensionamento de sistemas de tratamento da fase sólida para estações já existentes quanto para auxiliar decisões relacionadas a novos projetos. Sabe-se que com o aumento da concentração de material particulado suspenso na água bruta, aumenta proporcionalmente a dosagem do coagulante adicionado para que a floculação seja efetiva, aumentando também a produção de lodo na estação de tratamento. Tanto o aumento do uso de coagulante quanto o maior volume de lodo gerado vêm a agregar significativos custos operacionais ao funcionamento da estação.

Tratar a água torna-se inviável ou ineficaz sob condições em que a concentração de impurezas na água bruta é elevada. Isso se deve ao fato de os espaços intersticiais dos filtros da estação sofrerem uma colmatação acelerada pelo acúmulo da grande quantia de flocos que não sedimenta no decantador. Com esses espaços reduzidos, a perda de carga no filtro evolui muito rapidamente o que torna curtas as carreiras de filtração, resultando em uma diminuição da produção de água tratada em virtude do aumento na frequência de descarte de água para

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

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

limpeza das unidades (120 m<sup>3</sup> para a limpeza de cada filtro). Em casos extremos essa queda na produção pode levar ao desabastecimento. Portanto é extremamente importante que se adotem medidas de conservação do solo e da água em bacias estratégicas que sejam ou possam vir a ser mananciais de abastecimento humano.

É enfoque principal desse projeto o desenvolvimento de um modelo empírico para a estimativa da produção de lodo na estação de tratamento de água do município de Chapecó usando como dados de entrada a vazão e a turbidez da água bruta, grandezas de fácil aferição e que costumeiramente são registradas durante a operação de estações de tratamento de água.

A estimativa dos custos anuais com tratamento de lodo toma relevante papel como ferramenta de gestão para a operação da unidade de tratamento de água. A inexistência de um modelo ajustado à estação de tratamento em questão acarreta dificuldades de quantificação dos gastos com transporte e disposição dos lodos gerados. É também correto afirmar que os resultados desse estudo poderão servir de apoio ao correto dimensionamento de futuras instalações de tratamento de efluentes de ETA.

Determinou-se a correlação entre turbidez da água bruta e sólido totais na água coagulada realizando-se medições de turbidez ainda na estação de tratamento de água e a determinação dos respectivos teores de sólidos em laboratório. Com os dados de turbidez e de sólidos totais interrelacionados foi estabelecida uma equação empírica que permita a utilização da turbidez para a estimativa da massa de sólidos produzida no tratamento de água.

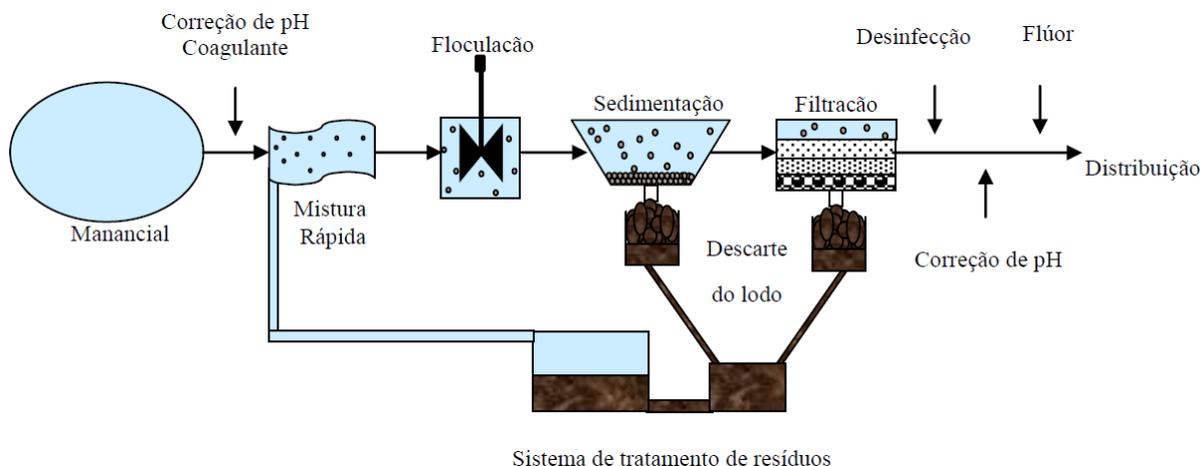
## **Desenvolvimento**

Atualmente quase a totalidade da água de abastecimento da cidade de Chapecó é captada do Lajeado São José. A bacia hidrográfica situa-se na microrregião Colonial Oeste de Santa Catarina nos municípios de Chapecó e Cordilheira Alta, abrangendo uma área total de 77,44 km<sup>2</sup>. Tem forma alongada no sentido norte-sul e sua característica geológica principal é o derrame de lavas básicas da formação Serra Geral. O solo da bacia é composto por 80% de Latossolo Bruno-Roxo Álico e de 10 a 20% de Cambissolo Eutrófico. Parte da cidade de Chapecó situa-se dentro da bacia hidrográfica do Lajeado São José e o processo de urbanização da bacia gera grande carregamento de sedimentos provenientes de loteamentos, terraplenagens e abertura de ruas pela remoção da proteção vegetal do solo (BASSI, 2002).

No intento de que a água oferecida à população seja de qualidade e, portanto, não exponha os indivíduos a fatores patogênicos, a água é submetida a procedimentos técnicos dos sistemas de tratamento de água para obtenção de um produto físico-químico e bacteriologicamente seguro para consumo humano (CUNHA, M. P. O, 2004).

Nas estações brasileiras o que predomina é o tratamento em ciclo completo. Esse método de tratamento é composto pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, conforme o fluxograma da figura 1, exceto pela parte de desaguamento do lodo (sistema de tratamento de resíduos) e recirculação da água resultante desse último processo.

Figura – 1 – Fluxograma do ciclo de tratamento completo em ETA.



Fonte: (CUNHA, M.P.O, 2004).

As impurezas mais comuns encontradas em águas superficiais são sólidos dissolvidos em forma ionizada, gases dissolvidos, compostos dissolvidos e material em suspensão (tais como microrganismos e coloides). A maioria delas tem cargas superficiais negativas fazendo com que permaneçam em suspensão na água por longos períodos de tempo devido à repulsão mútua entre elas (PAVANELLI, 2001). Para que se desestabilize a suspensão coloidal efetua-se a adição de sais de alumínio ou de ferro, caracterizando assim a coagulação. A adição de um cátion num sistema coloidal diminui o alcance de influência das partículas às quais o cátion neutraliza eletricamente, ocorrendo a coagulação por compressão da dupla camada elétrica. Uma vez a dupla camada elétrica comprimida, as partículas da suspensão coloidal perdem a sua repulsão mútua e sua distribuição passa a ocupar um volume menor na solução. Além da neutralização de cargas, existe também o mecanismo de varredura, no qual hidróxidos insolúveis precipitam carregando consigo as impurezas presentes na coluna de água (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Na unidade de flocculação – que pode ser uma câmara com agitação mecânica ou um flocculador com chicanas – a água é lentamente agitada, forçando a aproximação das partículas já eletricamente neutras com uma intensidade de agitação seguramente menor do que a suficiente para a quebra dos flocos. Em flocculadores mecânicos essa agitação é feita através do movimento de pás com o auxílio de um motor. No flocculador de chicanas o caminho sinuoso da água através dos estreitamentos de passagem causados pela colocação de paredes no interior das unidades são os responsáveis pela turbulência que resulta na aglomeração dos flocos.

A sedimentação é o fenômeno físico no qual as partículas suspensas apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica pela ação da gravidade, indo depositar-se no fundo do decantador (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; RIBEIRO, 2007). No interior da unidade são utilizadas técnicas de controle de fluxo para que a turbulência cesse e então os flocos possam ser dirigidos ao fundo do decantador.

A clarificação do meio líquido, que consiste na separação entre as fases sólida e líquida, na maioria das estações de tratamento brasileiras, é obtida através de sedimentação. Os flocos separados no processo formam uma camada de lodo no fundo dos decantadores que é removida periodicamente (RIBEIRO, 2007). Após a

decantação da maior parte dos flocos a água é dirigida à unidade de filtração. A filtração representa uma importante barreira sanitária para que a água produzida seja de qualidade e atenda às normas de potabilidade em quaisquer circunstâncias, uma vez que uma filtração ineficiente acarreta em insuficiência do sistema de desinfecção pelo aumento de micro-organismos e outros materiais na solução.

De 60 a 95% do lodo gerado na estação de tratamento de água provém 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).

A desinfecção consiste no processo em que os microrganismos patogênicos presentes na água são inativados e tem sua população suficientemente reduzida pela ação de um agente químico ou físico através da ocorrência de um ou mais dos seguintes mecanismos: destruição da estrutura celular; interferência no metabolismo com inativação de enzimas; interferência na biossíntese e no crescimento celular, evitando a produção de proteínas, ácidos nucleicos e coenzimas. Os agentes químicos mais utilizados tem sido os oxidantes cloro, bromo, iodo, dióxido de cloro, ozônio, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, ácido peracético, ferrato de potássio e os íons metálicos prata e cobre. Os agentes físicos mais utilizados são o calor e radiação ultravioleta. O método mais comum em estações de tratamento de água tem sido a cloração, realizada através do borbulhamento de gás cloro dentro de um tanque de contato e mostra-se um dos melhores por garantir uma desinfecção que continua após a saída da água da estação de tratamento. Essa desinfecção durante a distribuição é resultante da formação de residuais de cloro persistentes na água (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; RIBEIRO, 2007).

### Geração de lodo

Somando-se os municípios com sistemas de abastecimento isolados e integrados no Brasil, 3630 estações de tratamento de água para abastecimento captam água de mananciais superficiais (ANA 2010). Estações que tratam águas superficiais trabalham com água cuja turbidez e cor são elevadas, o que leva a uma significativa produção de lodo.

A turbidez das águas se dá devido à presença de partículas em suspensão, podendo ser resultado da existência de substâncias como areia, argila, matéria orgânica e microrganismos em geral e é medida através da atenuação de um feixe de luz ao atravessar a amostra de água. É importante observar que águas com a mesma turbidez podem conter diferentes tamanhos e quantidades de partículas. A distribuição granulométrica das partículas faz com que as condições de coagulação se alterem, devendo-se tomar cuidado ao se comparar águas de diferentes mananciais (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Porém, sabe-se que a dosagem de coagulante aumenta de forma diretamente proporcional ao aumento da turbidez para águas que tenham uma granulometria de sólidos parecida. Portanto com um modelo empírico ajustado às características da água do correspondente manancial, é possível estimar a quantidade de lodo gerado no tratamento de água através da medida de sua turbidez.

A qualidade da água bruta, o tipo e dosagem dos produtos químicos utilizados e o desempenho hidráulico das unidades de tratamento são fatores que influenciam primordialmente na quantidade e qualidade do lodo produzido em estações de tratamento de água. A quantificação do lodo produzido é de indiscutível importância para o dimensionamento dos sistemas de adensamento e desidratação assim como

das formas de uso e disposição desse subproduto do processo de tratamento de água (RIBEIRO 2007).

Dimensionar qualquer sistema de desidratação de lodo, seja natural ou mecânico, exige fundamentalmente que se conheça a quantidade de lodo gerada durante o tratamento de água. A determinação rotineira da quantidade de sólidos gerados no tratamento de água pode facilitar a redução de sua produção através da otimização dos processos de tratamento de água. O registro de informações mensais de quantidade de lodo produzido em cada unidade é prática aconselhável e de grande importância para a melhoria dos modelos que estimam a quantidade de lodo produzido, com vistas a dar maior segurança aos projetos de sistemas de tratamento de lodo de ETAs ainda não instaladas (SARON; LEITE, 2001).

### Métodos de desaguamento de lodo

Para que se viabilize o tratamento adequado do lodo gerado na estação de tratamento, é necessário que ele seja adensado. Isso se deve ao elevado teor de água no lodo – dependendo do coagulante utilizado e o tipo de estação de tratamento, pode chegar a mais de 99% da massa de lodo produzida (RICHTER, 2001).

A água contida no efluente de ETA pode ser separada em função de sua energia de ligação às partículas e alocação na estrutura do efluente (FERRANTI, 2005):

- *Água intersticial*: adsorvida na superfície dos sólidos e pode ser removida por ação mecânica ou uso de floculante;
- *Água intracelular ou de ligação*: é parte integrante da partícula e só pode ser removida através de energia térmica que provoque grande mudança no estado de agregação da água;
- *Água superficial*: é aquela que está presa a superfície das partículas sólidas por adesão e adsorção;
- *Água livre*: consiste na água que ocupa os espaços entre as partículas, não tem ligação com os sólidos e pode ser removida facilmente por gravidade.

### Adensamento

O adensamento consiste no aumento da concentração dos sólidos no lodo pela retirada da água livre no material. De acordo com Richter (2001), os lodos brutos dos sistemas de tratamento de água saem da linha de tratamento de água com uma concentração de sólidos de 0,5%. O adensamento permite que se reduza o volume do lodo, atingindo-se concentrações de sólidos em torno de 2%. Com esse pequeno aumento percentual (de 0,5 para 2%) na concentração de sólidos o volume do material se reduz para um quarto do seu volume inicial. O líquido sobrenadante pode ser redirecionado à unidade de mistura rápida da ETA. Outro fator a favor dos sistemas de adensamento é que, para que os equipamentos de desidratação mecânica existentes no mercado funcionem de forma adequada, recomenda-se uma concentração de sólidos no lodo de entrada de 2% (FERREIRA FILHO, 1997).

As duas formas mais comuns de adensamento são o adensamento por gravidade e o adensamento por flotação. Em sistemas de adensamento por gravidade as partículas flocosas com alto teor de sólidos sedimentam como uma massa única (manto de lodo), submetida simultaneamente a sedimentação e adensamento (CHAO, 2001). Tratando-se de volume, as taxas de aplicação usuais

em adensamento por gravidade são  $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , sem adição de polímero, e de  $4,0$  a  $8,0 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , com a aplicação de polímero. (RICHTER, 2001)

No adensamento por flotação a fase sólida é separada da fase líquida de forma parecida com o adensamento por decantação, porém de forma reversa. No processo 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 1mm. 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 (RICHTER, 2001).

### Tecnologias de desidratação

O procedimento seguinte no tratamento da fase sólida dos resíduos de estação de tratamento de água é a desidratação. Os métodos mais usuais de desidratação apontados por Richter (2001) são:

- *Métodos de desidratação mecânica:*
  - Filtração a vácuo: Muito pouco usada na desidratação de lodos de estações de tratamento de água devido a características operacionais que o tornam inviável, tais como a blindagem da tela de saída de água pela passagem do lodo através do tecido do filtro, o que pode ser evitado com o uso de revestimento com terra diatomácea, o que agrega excessivo custo operacional;
  - Filtro prensa: foi uma das primeiras tecnologias capazes de produzir uma torta com teor de sólidos alto o suficiente para serem depositados em aterro sanitário. Os mais utilizados no tratamento de lodos de estação de tratamento de água são o tipo câmara e o de membrana ou diafragma. Filtros prensa de câmara consistem em uma série de placas tipo câmara, dispostas entre uma meia placa fixa e uma meia placa móvel nas extremidades do equipamento. Todas as placas tem uma reentrância na qual será acomodada a torta final. O meio filtrante é instalado contra as paredes internas das placas e retém os sólidos.
  - Prensa desaguadora: também conhecida como filtro prensa de correia, é capaz de produzir uma torta que pode ser diretamente encaminhada a aterro sanitário e alia características tanto do filtro prensa quanto do filtro rotativo a vácuo. Sua operação consiste nas seguintes etapas: a) condicionamento químico para flocular o lodo em uma massa fibrosa e extrair a água aderente às partículas; b) drenagem gravitacional para permitir que a água liberada no condicionamento químico esorra livremente através de uma correia porosa contínua; c) estágio de baixa pressão, quando o lodo passa por um afunilamento formado pelas duas correias móveis sobrepostas, expelindo água por compressão e formando um tapete de lodo exprimido entre as correias; d) estágio de alta pressão, onde a torta de lodo está presa entre as correias que passam por uma série de rolos, cujos diâmetros variam do maior

para o menor, aumentando a pressão compactando a torta ao extremo e drenando mais água através da correia porosa; e) as correias se afastam e é realizada a raspagem da torta de lodo;

- Decantadores centrífugos: Consta de um tambor tronco-cônico de eixo horizontal que gira em torno de seu eixo a uma velocidade de 3000 a 4000rpm. Um parafuso transportador gira no interior do tambor a uma velocidade ligeiramente diferente realizando a raspagem do material centrifugado para fora da máquina. Com os recentes aperfeiçoamentos no projeto dessas máquinas, aliados ao uso de polímeros no condicionamento, essas máquinas são capazes de drenar lodos tanto de estações de abrandamento a cal quanto das que utilizam coagulantes metálicos.
- *Métodos não mecânicos de desidratação*:
  - Leitos de secagem de areia: Os mecanismos responsáveis pela retirada de água dos lodos nesses sistemas são essencialmente decantação, percolação e evaporação. A operação consiste em enchimento e secagem e são construídos para um tempo total de duração do ciclo de 3 a 4 meses, pois sua eficiência depende de condições climáticas. Consequentemente cada leito de secagem recebe apenas 3 ou 4 aplicações por ano. A altura máxima de lodo depositado para esse método é de 60 cm, exigindo grandes áreas de construção;
  - Lagoas: Funcionam com base nos mesmos mecanismos que os leitos de secagem de areia, porém com altura líquida de até 1,80 m. Ambos os sistemas são capazes de receber uma carga superficial igual, que varia de 10 a 60 kg·m<sup>2</sup>. Portanto a profundidade das lagoas é de 3 a 4 vezes a profundidade dos leitos de secagem. Desse modo, o número de cargas em cada unidade e o tempo de secagem é proporcionalmente maior, resultando em um único ciclo por ano.

#### Disposição final

Diversas são as opções de tratamento e disposição desse subproduto do tratamento de água. As alternativas de disposição usualmente utilizadas são: lançamento em corpos de água; lançamento no mar; lançamento na rede de esgotos sanitários; lagoas; aplicação no solo e a destinação a aterro sanitário. O lançamento em rios é o método menos financeiramente oneroso de disposição e também o mais frequentemente utilizado nas ETAs brasileiras. Entretanto depende da permissão das autoridades ambientais em função das características e do volume do curso de água escolhido. As principais limitações são atribuídas a existência de coagulante e outros produtos químicos aplicados que vem a aumentar a sedimentabilidade tanto dos materiais despejados quanto dos já existentes no corpo receptor, podendo causar acúmulos indesejáveis. Quando se opta pela descarga em redes de esgoto sanitário, a responsabilidade pelo tratamento do efluente da estação de tratamento de água é transferida para a operadora da estação de tratamento de esgoto. Entretanto, o lodo de tratamento de efluentes urbanos, que poderia ser facilmente utilizado para aplicação agrícola, passa a ser contaminado pelos metais provenientes do lodo do tratamento de água. Caso não exista estação de tratamento para os efluentes da rede coletora, a capacidade do corpo de água que recebe a emissão dessa rede deve ser analisada. O despejo no mar, por meio de embarcações, já foi considerado uma opção viável no passado, porém caiu em desuso por estar atualmente submetida a severas considerações legais relativas ao

meio ambiente. Lagoas já foram bastante utilizadas como um método de disposição de lodos, entretanto são apenas uma destinação temporária para o lodo que terá que ser removido das lagoas mais cedo ou mais tarde e então aplicado no terreno ou disposto em aterro sanitário (RICHTER, 2001).

Tratando-se de legislação, existe a Política Nacional de Recursos Hídricos que foi instituída pela Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, com o intuito de preservar os recursos hídricos e regulamentar seu uso adequado, submetendo o lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de água em corpos hídricos ao processo de outorga do direito de uso. Há ainda a NBR 10.004/2004 que classifica os lodos provenientes de estação de tratamento de água como resíduos sólidos, estando sua disposição final regulamentada por essa norma.

Algumas das alternativas com potencial de uso são apontados por Tsutiya e Hirata (2001):

- Fabricação de cimento: O lodo de ETA vem nesse caso a suprir a deficiência de sílica ferro e alumínio do calcário utilizado na fabricação de cimento, visto que o calcário representa entre 70 e 80% da matéria prima bruta. O lodo é introduzido no processo na fase de pré-homogeneização das matérias primas. Porém, para isso precisa ter uma concentração de sólidos de ao menos 50%. A presença de óxidos de potássio e de sódio no lodo diminuem a formação de álcalis que causam expansão e fissuras em estruturas de concreto. Quando apresentam altas concentrações de matéria orgânica, antracito, metais pesados e permanganato de potássio (composto altamente oxidante capaz de comprometer a armadura metálica das estruturas) não é aconselhável sua incorporação no processo de fabricação de concreto;
- Fabricação de tijolos telhas e cerâmicas: O lodo de estações de tratamento de água apresenta características muito semelhantes ao material retirado das jazidas naturais de xisto e argila. A adição do lodo pode ser feita durante fabricação do tijolo ou ainda na jazida de onde o material natural é retirado. Para aplicação diretamente na jazida, a concentração de sólidos precisa ser de ao menos 20%, para introdução direta no processo de fabricação a concentração de sólidos tem que ser em torno de 50%. Devido à retração que ocorre na argila natural, que chega a 20%, as dosagens de lodo precisam ser rigorosamente controladas para que se garanta a resistência do produto final. A presença de carvão ativado ou antracito no lodo torna sua utilização inviável para esse fim devido a expansão desses componentes causar fissuras no tijolo.
- Aplicação em solo agrícola: Aumento da capacidade de retenção de água, melhoria estrutural do solo, melhora a aeração, e introduz traços de minerais. Os contrapontos da aplicação em solos agricultáveis são a tendência de indisponibilizar fósforo para as plantas e a fitotoxicidade do alumínio em pH maior que 6,5. Frente aos prós e contras da aplicação de lodo em solos agrícolas, cabe destacar que quando se trata de lodo de estação de tratamento de água a baixa concentração de matéria orgânica torna a prática menos interessante;
- Reaproveitamento para aumento da sedimentabilidade de águas com baixa turbidez: Águas de baixa turbidez apresentam concentração se sólidos sedimentáveis muito baixas, dificultando a formação de flocos com tamanho e densidade ideais para a decantação. Estudos indicam que o bombeamento de lodo gerado nos decantadores para as unidades de

coagulação e floculação melhora aumenta a formação de flocos pesados e diminui o gasto com produtos químicos;

- Compostagem e solo comercial: O lodo confere uma melhor estrutura para o solo, maior capacidade de retenção de água e micronutrientes importantes. A compostagem geralmente é realizada misturando-se o lodo à restos material vegetal proveniente de podas. Porém seu uso é restrito devido às mesmas implicações descritas para a aplicação no solo.

## Metodologia

Foram coletadas as amostras na entrada de água bruta na estação de tratamento de água antes de qualquer etapa do tratamento. As amostragens no período de 1 a 25 de setembro foram realizadas três vezes por semana e no período de 28 de setembro à 16 de outubro as amostras foram coletadas seis vezes por semana, contabilizando um total de 30 amostras. Em consequência do período de escassês de chuvas com capacidade de alterar significativamente a turbidez da água na entrada da estação de tratamento, não foram coletadas mais amostras, pois essas concentrariam-se em uma faixa de turbidez que já ocupa a maior parte do conjunto amostral. A conservação das amostras até o momento da determinação de sólidos foi realizada em refrigerador sob temperaturas em torno de 4°C por um período máximo de quatro dias.

As medidas de turbidez foram aferidas o mais rapidamente possível após as coletas com a intenção de se garantir uma medida de turbidez representativa da existência tanto dos sólidos mais finos quanto dos sólidos mais grosseiros, cuja velocidade de decantação é elevada. Para a estimativa da produção de lodo, fez-se necessária a determinação de sólidos totais da água já coagulada. A coagulação e floculação da água foi realizada na estação de tratamento com o auxílio de aparelho de jar test (ou teste de jarros), simulando as condições de agitação e dosagem de coagulante mantidas na estação de tratamento.

As determinações de sólidos totais foram realizadas em triplicata para a água bruta e para a água coagulada utilizando-se para a construção da curva de correlação apenas o valor médio das três determinações de sólidos totais associado a cada valor de turbidez.

Para que as alíquotas fossem representativas foi utilizado um agitador magnético para uniformização da amostra, principalmente no caso da água coagulada, cujos sólidos rapidamente se depositam no fundo do recipiente. Em cada ensaio foi pipetado um volume de 100 mL da amostra sendo esse colocado em cápsula de porcelana. Após a determinação da massa da alíquota, com balança analítica, as cápsulas contendo a água foram levadas a estufa de secagem a uma temperatura e 98°C por 24 horas e posteriormente, tiveram sua massa aferida novamente. O teor de sólidos foi calculado dividindo-se a diferença entre a massa da capsula vazia e da capsula após a secagem pela massa de água posta na capsula. Todas as capsulas foram manuseadas com o auxílio de uma pinça para que se evitasse a adição de massa pela adesão de materiais não pertencentes às alíquotas.

As metodologias de amostragem, conservação de amostras, determinação de turbidez e determinação de sólidos secos seguidas foram as apresentadas pelo Standard Methods Committee no livro *Standard methods for the examination of water & wastewater* (2130 - Turbidity; 2540B - Total Solids Dried at 103-105°C), com a adaptação da temperatura de secagem na estufa de 103-105°C para 98°C

para que se evitasse a perda de material através de respingos causados pela possível intensa ebulição da água à temperaturas acima de 100°C.

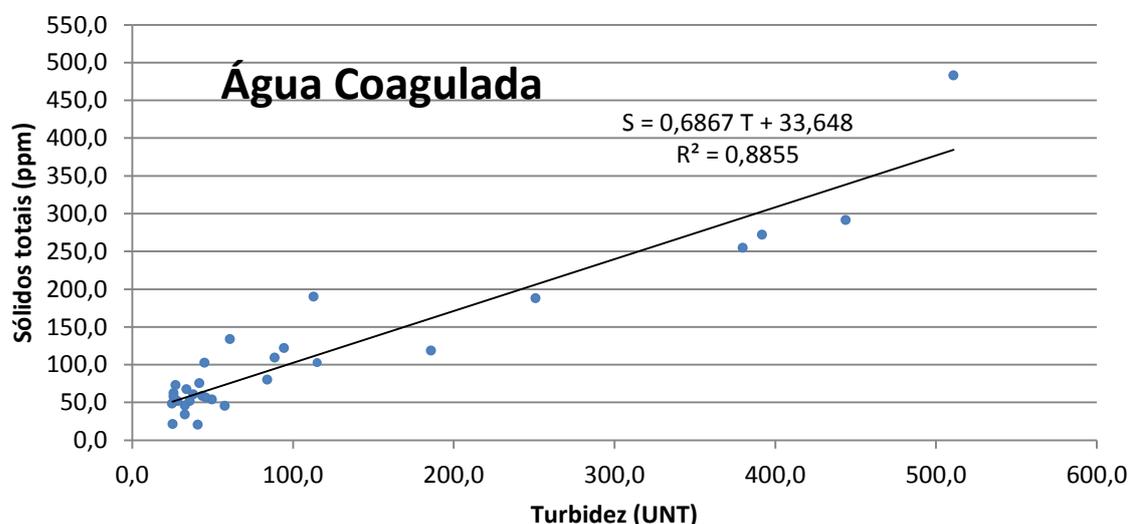
Os dados das medidas de turbidez e concentração de sólidos foram armazenados na planilha do anexo A, a qual foi utilizada para a determinação dos ajustes matemáticos que correlacionam as medidas de turbidez com a concentração de sólidos. Para a estimativa da geração de lodo no tratamento de água foi utilizada a curva gerada pela regressão linear resultante da distribuição dos pontos correspondentes aos pares de turbidez e concentração de sólidos na água coagulada.

A série de dados de turbidez e vazão, entre outros parâmetros, registrados digitalmente durante a operação da ETA compreende o período de 21 de fevereiro de 2013 até 20 de março de 2014. Aplicando a equação empírica obtida para a geração diária de sólidos à série de dados foi possível fazer uma estimativa anual da quantidade de lodo gerado na estação. Cabe a observação de que o resultado restringe-se ao período dos registros informados.

## Resultados e discussão

O ajuste que apresentou melhor correlação é do tipo linear (Figura 2). Essa reta foi utilizada nas estimativas diárias de produção de lodo para todo o período de treze meses a que correspondem os dados fornecidos pela companhia de saneamento. Com os dados de turbidez e vazão média diários aplicados à equação 1, chegou-se a massa de sólidos gerada para cada dia.

Figura – 2 – Curva de correlação entre teor de sólidos e turbidez da água coagulada.



Fonte: Autor

$$M_s = Q \cdot (0,6867 T + 33,648) \cdot 8,64 \times 10^{-5} \quad (1).$$

Sendo:

$M_s$ : Massa de sólidos [t·dia<sup>-1</sup>];

$Q$ : vazão de água bruta na ETA [L·s<sup>-1</sup>];

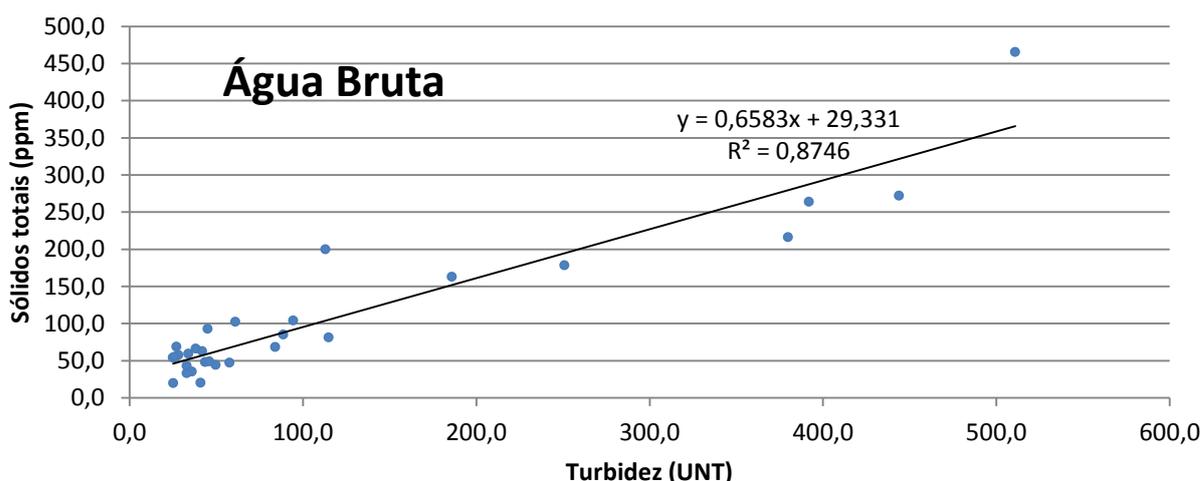
$T$ : turbidez da água bruta [UNT].

A série de dados de vazão e turbidez disponibilizada contém apenas 392 dias de registros válidos. A Equação 1 foi aplicada para cada dia, os resultados foram somados e o resultado dessa soma foi multiplicada pela fração 365/392 para que se obtivesse o resultado correspondente a 1 ano de operação. O resultado obtido foi uma massa de sólidos produzida de 1003,50 t·ano<sup>-1</sup>.

Foram realizadas determinações de sólidos totais também para a água bruta, o que resultou no gráfico da Figura 3. A diferença entre os ajustes da água coagulada e da água bruta afirma o pressuposto de que a adição do coagulante aumenta a massa de sólidos gerada. Aplicando-se o ajuste correspondente aos sólidos na água bruta à Equação 1, o resultado é uma estimativa da massa de sólidos que entra na estação de tratamento. O resultado em termos de massa anual de sólidos é 919,3 t·ano<sup>-1</sup>. Com isso pode-se supor que a massa de sólidos gerada anualmente pela adição do coagulante, mantido o mesmo padrão de dosagem, é de 84,2 t·ano<sup>-1</sup>.

O ajuste resultante da dispersão de dados da água bruta também serve de parâmetro para adequação de modelos empíricos da produção de lodo que separem em seu cálculo as parcelas correspondentes a contribuição de lodo pela dosagem do coagulante e turbidez afluente, substituindo o coeficiente que converte turbidez em concentração de sólidos.

Figura – 3 – Correlação entre concentração de sólidos e turbidez da água bruta.



Fonte: Autor

Lodos de tratamento físico-químico costumam sair dos equipamentos de retirada de água com as concentrações de sólidos mostradas no quadro 1.

Quadro 1: Concentração de sólidos em função do processo de desidratação (%).

Filtro a vácuo	Lagoa de Lodo	Decantador centrífugo	Prensa desaguadora	Filtro prensa
27 - 35	25 - 35	15 - 20	15-25	20 - 25

Fonte: Adaptado de Richter, C.A (2001).

A partir da estimativa da massa de sólidos retirada da água durante o tratamento, foram calculados os volumes do lodo em função da capacidade de retirada de água de cada equipamento dos quais se tinha informação. O volume de

lodo gerado é de importância fundamental quando se fala de transporte e disposição final.

Para o cálculo do volume do lodo é necessário que se determine a densidade desse material. Richter (2007) apresenta a Equação 2 para o cálculo da densidade do lodo.

$$\delta_L = \frac{1}{\frac{C}{\delta_s} + \frac{(1-C)}{\delta_a}} \quad (2)$$

Onde:

$\delta_L$ : Densidade do lodo [ $t \cdot m^{-3}$ ]

C: Concentração de sólidos em valores absolutos

$\delta_s$ : Densidade dos sólidos [ $t \cdot m^{-3}$ ]

$\delta_a$ : Densidade da água [ $t \cdot m^{-3}$ ]

No cálculo da densidade do lodo, por meio da Equação 2, foi considerada uma densidade dos sólidos do lodo de  $1,5 t \cdot m^{-3}$  e densidade da água igual a  $1 t \cdot m^{-3}$ . Com a densidade e massa de lodo calculada para cada concentração de sólidos foram obtidos os resultados apresentados no Quadro 2.

Em consulta com uma empresa local de disposição de resíduos sólidos, obteve-se a informação de que, por se tratar de resíduo sólido Classe II A (não perigoso e não inerte), o valor cobrado pela empresa para o transporte e disposição final do resíduo é R\$ 250,00 por metro cúbico. Com base no volume de lodo gerado e o valor cobrado para a disposição chegou-se aos resultados também apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Custos com disposição final de lodo em função das concentrações de sólidos nas tortas de lodo geradas por cada equipamento.

Métodos de desaguamento (numerados de forma crescente em função de seu custo de implantação e operação)	5	Lagoas de lodo				
		Filtro a vácuo				
C (%)	4	Filtro prensa		30	35	
		Decantador Centrífugo				
MI (t)	3	Prensa desaguadora				
		15	20	25	30	35
Densidade do lodo ( $t \cdot m^{-3}$ )						
Volume final do lodo ( $m^3$ )		6.366,89	4.691,04	3.685,53	3.015,19	2.536,37
Disposição final (R\$)		1.591.721,59	1.172.759,28	921.381,90	753.796,98	634.093,46

Fonte: Autor.

Diante desses valores fica evidente que a disposição final em aterro sanitário é uma das destinações menos economicamente viáveis para o lodo de estação de tratamento de água. Além disso, tratar como resíduo um material cheio de potencialidades como o lodo nos dias de hoje é no mínimo irracional. Das alternativas de destinação final, a de mistura no processo de fabricação de tijolos e

telhas mostra-se a mais promissora por aceitar tortas de lodo com concentração de sólidos menores – cerca de 20% quando misturado na jazida – por imobilizar o alumínio proveniente dos coagulantes.

Aplicados na Equação 1 valores médios de turbidez diária e de vazão diária correspondentes ao mesmo período e multiplicando-se o resultado pela duração de um ano (como mostra a Equação 3), os valores se aproximam do valor resultante da soma dos resultados diários usados na estimativa de custos. O valor médio da vazão nos treze meses analisados é  $462,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  e o valor médio de turbidez para o período é 51,3 UNT.

$$M_{s(ano)} = Q_m \cdot (0,6867 T_m + 33,648) \cdot 8,64 \times 10^{-5} \cdot 365 \quad (3)$$

$$M_{s(ano)} = 462,5 \cdot (0,6867 \cdot 51,3 + 33,648) \cdot 8,64 \times 10^{-5} \cdot 365$$

$$M_{s(ano)} = 1004,60 \text{ t}$$

Esse valor de massa de sólidos gerada difere em apenas 0,1 % da massa de sólidos calculada ponto a ponto para toda a série de dados. Isso indica que a estimativa da produção de sólidos dada pela vazão média e pela turbidez média é uma boa estimativa da massa de sólidos gerada. Essa proximidade dos resultados decorre de que o ajuste da correlação é uma equação linear.

## Conclusões

Fica evidente que o custo com disposição final do lodo produzido na ETA de Chapecó não é irrelevante, sendo a média dos valores encontrados para os diferentes sistemas de desidratação de R\$ 1.014.750. Diante disso exalta-se a importância do controle operacional da ETA para que sejam diminuídos os custos com produtos químicos, e conseqüentemente da desidratação, transporte e disposição final dos efluentes.

Diante dos custos com transporte e disposição final e da possibilidade de incorporação do lodo de ETA em processos industriais torna relevância o firmamento de parcerias com empresas que possam diminuir os custos totais no processamento desse material e utilizá-lo como matéria prima, dando-se preferência para atividades que produzam artefatos ou materiais que imobilizem o alumínio adicionado no tratamento.

Frente ao fato de que o aumento da turbidez da água que adentra a estação causa um aumento na geração de lodo e dos custos com produtos químicos, fica clara a necessidade de existirem políticas públicas de ocupação do solo restritivas à urbanização e adensamento populacional na área da bacia hidrográfica de captação, porque além de os trabalhos em terra nos loteamentos aumentarem o aporte de sedimentos, a recarga de água subsuperficial é diminuída em função da impermeabilização do solo causada pela urbanização. Uma vez reduzido o abastecimento da reserva subsuperficial, se reduz conseqüentemente a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica em intervalos de tempo com pouca chuva.

## Trabalhos futuros

O presente estudo mostra a importância do desenvolvimento de futuros trabalhos que poderão complementar contemplando os seguintes aspectos:

- Melhoria da equação empírica pela obtenção de um conjunto amostral melhor distribuído;
- Determinação da densidade dos sólidos produzidos pelo uso de PAC com vistas à obtenção de uma estimativa do volume de lodo mais acurada;
- Determinação do coeficiente estequiométrico de contribuição de lodo para o PAC, o que permitiria o uso de modelos que tem como parâmetro a dosagem de coagulante;
- Avaliação técnico-econômica dos custos de implantação das diversas tecnologias de desidratação;
- Acompanhamento da evolução do transporte de sedimentos na bacia através do acompanhamento das alterações na curva de permanência da turbidez (ANEXO B).

## EMPIRICAL MODELLING FOR THE EVALUATION OF THE SLUDGE PRODUCTION AT THE WATER TREATMENT PLANT OF CHAPECÓ-SC

### Abstract

Was built an equation that express the relation between turbidity and solids concentration in the coagulated water based in the solids determination and turbidity of water samples obtained at the entry of raw water on the water treatment plant of Chapecó. This curve allowed to estimate the production of solids that will integrate the sludge. Using the results of this estimative were calculated the generated sludge volumes according to the dehydration technology accompanied by the respective final disposal costs. The results indicate that the final disposal of this kind of sludges in landfills is expensive, varying between R\$ 1,6 mi and 600 thousand by year (values based in data registered during the water treatment plant's operation at the period of February of 2013 until march of 2014). Once the sludge of water treatment plants have several possibilities of incorporation in industrial processes without endanger the final products quality, the disposal in landfills as waste shall to be better evaluated giving preference for the reuse of this material.

**Keywords:** Empirical model, estimative, sludge production.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). (Brasil). **Atlas Brasil**: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília: ANA: Engecorps/Cobrape, 2010. Disponível em:

<<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%201%20-%20Panorama%20Nacional.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2014.

ANDREOLI, C. V (coord.). **Resíduos sólidos do saneamento**: processamento, reciclagem e disposição final. 1ª ed. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. Projeto PROSAB.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21º ed. Washington: APHA, 2005.

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

BASSI, Lauro. **Valuation of land use and management impacts on water resources in the Lajeado São José micro-watershed - Chapecó, Santa Catarina State**. Roma: FAO, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd66/brazilpix.pdf> >. Acesso em: 03 jul. 2014.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 3ª ed. Ver. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009.146p.

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/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm)>. Acesso em: 07 jul. 2014.

CHAO, Iara R. Soares. **Diagnóstico e otimização dos adensadores por gravidade**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2001.

CUNHA, Márcia Porto de Oliveira. **Importância da frequência de descarte de lodo na eficiência dos decantadores de estações de tratamento de água em ciclo completo**. 2004. 263f. Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2º ed. São Carlos: RiMA, vol.1 e 2, 2005.

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, 2005.

FERREIRA FILHO, Sidnei Seckler. **Pré-condicionamento de lodos de estações de tratamento de água visando o seu adensamento por gravidade**. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19. 1997, Foz do Iguaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1997.

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.

RIBEIRO, Frederico L. De Matos. **Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito – MG**. 2007. 133f. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas-Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Blucher, 2001.

SARON, A.; LEITE V. M. B. Quantificação de lodo em estação de tratamento de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2001.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. **Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água no estado de São Paulo**. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21. 2001, João Pessoa. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/brasil/i-025.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2014.

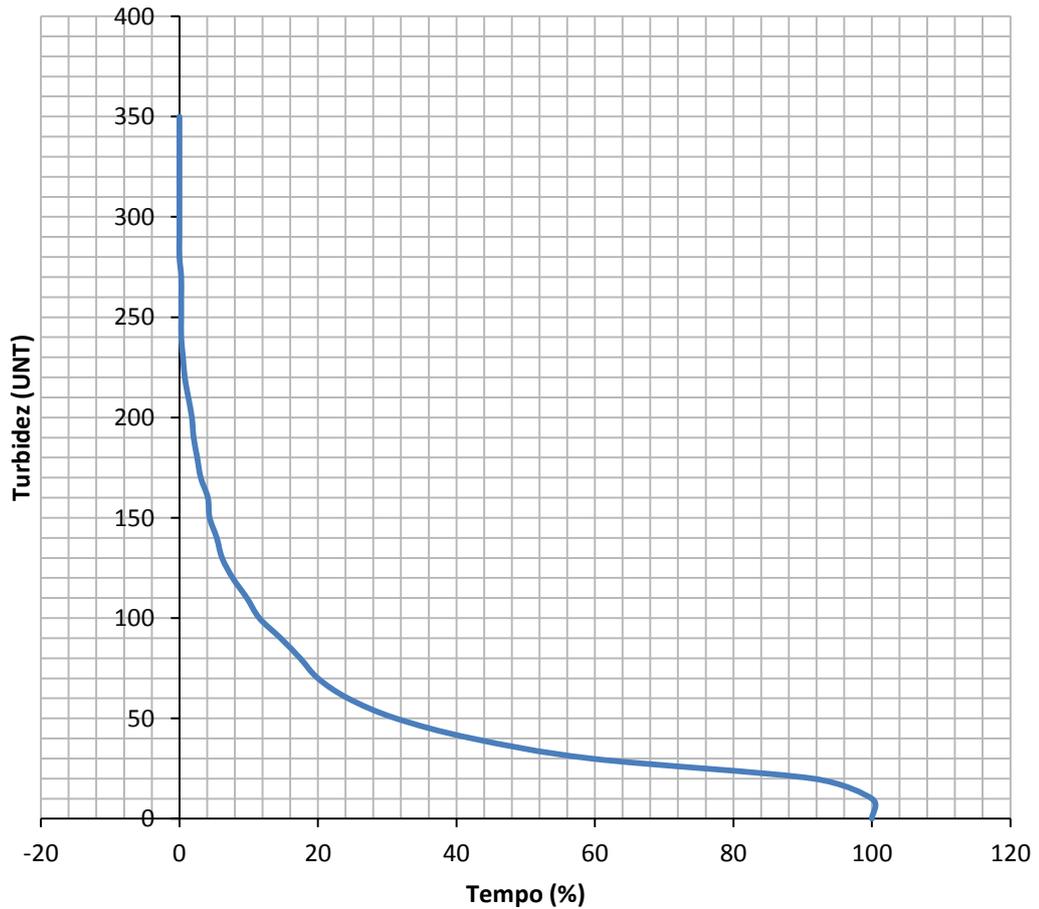
**ANEXO A : Planilha de cálculo das concentrações de sólidos e registro das medidas de turbidez utilizadas na construção das correlações entre turbidez e concentração de sólidos.**

Data da Coleta		30/09/2014	01/10/2014	02/10/2014	03/10/2014	04/10/2014	05/10/2014	06/10/2014	07/10/2014	08/10/2014	09/10/2014	10/10/2014	11/10/2014	13/10/2014	14/10/2014	15/10/2014	16/10/2014
Turbidez (UNT)		251.0	444.0	115.0	84.1	49.7	46.0	57.7	41.0	36.0	33.0	33.0	26.0	34.0	25.0	26.0	
Dosagem (ml/l) PAC 1%		2.9	3.5	2.2	1.8	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	
mc+na (g)		107.2601	92.4480	97.8604	92.4485	97.8600	107.2610	92.4500	97.8611	107.2621	92.4508	97.8611	107.2618	92.4505	97.8616	97.8616	
ms+mc (g)		206.7925	192.0306	197.5284	191.9187	197.5830	206.8315	207.0052	192.1256	197.5278	206.7491	191.9104	197.5278	206.9495	192.3278	197.8916	
Teor de sólidos(ppm)		183.8597	270.1302	77.2565	60.3196	39.1083	34.1466	49.1257	17.0553	37.1237	31.1599	39.2119	56.1901	59.1848	57.0700	58.9823	
mc (g)		98.6353	102.0701	107.1518	102.0691	107.1511	98.6346	98.6346	102.0707	107.1523	98.6370	102.0715	102.0715	107.1524	102.0709	107.1529	
mc+na (g)		198.3515	201.7922	206.8896	201.8558	206.8896	198.3182	198.2855	201.7810	206.7448	198.1627	201.5968	206.7013	206.5174	202.6892	207.5724	
ms+mc (g)		98.6531	102.0976	107.1611	102.0752	107.1554	98.6407	98.6407	102.0752	107.1559	98.6400	102.0765	107.1574	98.6421	102.0755	107.1581	
Teor de sólidos(ppm)		178.5066	275.7664	93.2445	61.1304	43.1133	59.1873	47.1653	19.0552	36.1328	30.1430	50.2385	50.2266	57.1556	45.9548	52.3031	
mc (g)		97.3620	103.4448	96.4795	103.4488	96.4799	97.3611	97.3611	103.4504	96.4803	97.3631	103.4510	103.4510	96.4803	97.3625	103.4509	
mc+na (g)		196.9600	203.0533	196.2330	203.4488	196.2330	196.8438	197.1004	202.9263	196.1374	196.7373	202.9420	196.0630	197.1535	203.1234	196.0630	
ms+mc (g)		97.3791	103.4765	96.4867	103.4571	96.4848	97.3664	97.3662	103.4528	96.4834	97.3668	103.4549	96.4838	97.3686	103.4568	96.4866	
Teor de sólidos(ppm)		171.6902	270.0703	83.0000	49.1783	49.1783	53.2756	45.1179	24.1664	31.1067	37.2330	39.1995	55.1962	61.1278	59.1939	53.2226	
Teor de sólidos(ppm)		178.0188	271.9890	80.8930	68.1500	43.7863	48.8698	47.1363	20.0790	34.7877	32.8453	42.8833	53.8710	59.1561	54.0729	54.8360	
mc (g)		112.3684	103.4201	103.9588	103.4194	103.9594	112.3690	112.3692	103.4212	103.9607	112.3702	103.4221	103.9608	112.3696	103.4212	103.9617	
mc+na (g)		211.8720	203.0966	203.6713	203.1255	203.7515	212.0498	162.2566	203.0700	203.5455	211.7754	202.8552	203.5580	212.1611	203.0906	203.2250	
ms+mc (g)		112.3866	103.4487	103.9691	103.4274	103.9641	112.3748	112.3748	103.4241	103.9653	112.3731	103.4260	103.9669	112.3766	103.4255	103.9670	
Teor de sólidos(ppm)		182.9080	286.9282	103.2970	80.2358	47.0979	58.1857	29.1022	29.1022	46.1918	29.1735	39.2224	61.2467	70.1463	43.1426	53.9933	
mc (g)		102.6720	103.5576	103.7143	103.5563	103.7148	102.6724	102.6725	103.5587	103.7164	102.6742	103.5592	103.7163	102.6736	103.5585	103.7169	
mc+na (g)		202.4491	203.2465	203.3666	203.2182	203.3666	202.2407	202.3829	203.0916	203.3426	202.3670	203.1916	203.4061	202.8802	203.2038	203.5241	
ms+mc (g)		102.6907	103.5868	103.7243	103.5643	103.7243	102.6774	102.6786	103.5595	103.7211	102.6776	103.5634	103.7226	102.6802	103.5633	103.7226	
Teor de sólidos(ppm)		187.4178	292.9112	100.3469	80.2604	64.2131	50.2168	61.1772	8.0419	47.1163	34.1065	42.1550	63.1960	66.1924	48.1709	57.1101	
mc (g)		109.3867	97.2507	99.5301	97.2499	99.5311	109.3868	109.3873	97.2526	99.5319	109.3884	97.2525	99.5320	109.3884	97.2525	99.5329	
mc+na (g)		209.1046	196.6303	199.2104	196.9253	199.2676	208.9232	209.1200	196.8975	199.1555	208.7885	196.8842	199.0724	209.2145	197.2624	196.6011	
ms+mc (g)		109.4059	97.2800	99.5405	97.2578	99.5405	109.3928	109.3928	97.2550	99.5361	109.3928	97.2550	99.5382	109.3949	97.2579	99.5380	
Teor de sólidos(ppm)		192.5432	294.2370	104.3336	79.2573	50.1321	60.2437	55.1474	24.0855	61.2489	38.2293	56.2070	62.2863	65.1132	53.9947	61.5737	
Teor de sólidos(ppm)		187.6230	291.3588	102.6591	79.9178	53.8144	56.2154	45.4566	20.4099	51.5390	33.8364	45.8614	62.2430	67.1506	48.4360	57.3591	
Data da Coleta		01/09/2014	03/09/2014	04/09/2014	08/09/2014	10/09/2014	11/09/2014	15/09/2014	17/09/2014	18/09/2014	22/09/2014	24/09/2014	25/09/2014	28/09/2014	29/09/2014	29/09/2014	
Turbidez (UNT)		186.0	511.0	113.0	88.8	42.0	38.2	25.3	28.3	27.1	43.7	94.5	61.0	45.1	392.0	380.0	
Dosagem (ml/l) PAC 1%		2.5	3.5	2.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.7	1.6	1.6	1.3	2.4	2.4	
mc+na (g)		105.9196	105.9225	106.9420	107.2627	92.4522	97.8629	107.2630	92.4519	97.8625	107.2622	92.4500	97.8586	97.8610	107.2605	92.4521	
ms+mc (g)		184.1736	253.8500	254.2140	207.2558	192.3928	197.8120	207.0255	192.0779	197.6098	207.0688	192.1868	197.5701	197.9454	207.2777	192.4942	
Teor de sólidos(ppm)		143.1237	476.5848	195.5865	90.0062	53.015	74.0377	102.0238	59.2215	73.1849	68.1318	101.2665	113.3269	92.9216	267.9539	216.9087	
mc (g)		103.9533	103.9583	103.9790	98.6370	102.0740	107.1540	98.6367	102.0730	107.1537	98.6390	102.0708	107.1504	107.1514	107.1516	102.0710	
mc+na (g)		182.6717	251.5900	252.9770	198.6821	202.0324	206.9701	198.4182	201.8381	206.8932	197.7346	201.7697	206.8690	207.1539	198.6358	202.0720	
ms+mc (g)		103.9697	104.0250	104.0080	98.6453	102.0807	107.1590	98.6402	102.0791	107.1600	98.6425	102.0818	107.1597	107.1608	98.6619	102.0928	
Teor de sólidos(ppm)		170.2314	451.8000	194.6335	84.9617	67.0279	50.0921	35.0766	61.1436	63.1645	35.3194	110.3322	93.2624	93.9977	261.0000	218.0960	
mc (g)		99.5269	99.5333	99.5490	97.3638	103.4535	96.4819	97.3637	103.4523	96.4809	97.3661	103.4522	96.4787	96.4788	97.3617	103.4520	
mc+na (g)		177.4193	246.6450	248.5210	197.4035	202.8804	196.4260	197.0235	193.1943	196.2120	197.1228	203.1877	196.2030	197.4734	203.3382	203.3382	
ms+mc (g)		99.5405	99.6020	99.5800	97.3718	103.4602	96.4893	97.3650	103.4575	96.4878	97.3701	103.4621	96.4886	96.4879	97.3880	103.4733	
Teor de sólidos(ppm)		174.5998	466.9921	208.0928	79.9683	67.3862	74.0414	13.0444	52.1345	69.1860	40.0976	99.2625	99.2737	99.9432	262.7066	213.0294	
Teor de sólidos(ppm)		162.6516	465.1256	199.4376	84.9787	62.4819	66.0571	19.3816	57.4999	68.5118	47.8496	103.6204	101.9544	101.9544	263.8688	216.0113	
mc (g)		92.4498	92.4500	92.4700	112.3717	103.4213	103.9884	112.3737	103.4213	103.9894	112.3737	103.4211	103.9567	103.9567	112.3700	103.4226	
mc+na (g)		170.0768	240.8880	239.5810	212.3672	203.3935	203.6417	212.1757	203.2312	203.6905	212.1140	203.1699	203.5600	203.9567	212.3951	203.3825	
ms+mc (g)		92.4581	92.5210	92.5000	112.3822	103.4281	103.9649	112.3729	103.4273	103.9680	112.3765	103.4335	103.9701	103.9703	112.3966	103.4494	
Teor de sólidos(ppm)		102.0708	478.3142	203.9276	105.0047	68.0189	65.2065	29.0565	60.1143	76.2057	60.1543	124.3123	134.5337	106.0032	265.9333	268.1075	
mc (g)		102.0708	102.0748	102.0960	102.6718	103.5575	103.7152	102.6729	103.5593	103.7150	102.6746	103.5598	103.7138	103.7138	102.6729	103.5596	
mc+na (g)		182.7500	248.6850	249.3190	202.7342	203.6346	203.6988	202.4472	203.4070	203.4336	202.4718	203.2799	203.3518	203.7861	202.6687	203.5306	
ms+mc (g)		102.0823	102.1460	102.1220	102.6842	103.5650	103.7210	102.6735	103.5631	103.7226	102.6806	103.5720	103.7270	103.7248	102.7000	103.5850	
Teor de sólidos(ppm)		142.5398	485.6415	176.6028	123.9227	74.9422	58.0095	6.0136	38.0580	76.2145	60.1219	112.3424	132.4796	99.9288	271.0114	254.0737	
mc (g)		103.4491	103.4528	103.4710	109.3872	97.2525	99.5307	109.3893	97.2536	99.5305	109.3915	97.2537	99.5293	99.5304	109.3890	97.2541	
mc+na (g)		181.6325	250.5050	251.4700	209.4339	197.3069	199.7464	209.1971	197.0659	199.2346	209.1113	197.0697	199.0860	199.6406	209.3990	197.2398	
ms+mc (g)		103.4574	103.5240	103.4990	109.3970	97.2668	99.5352	109.3922	97.2593	99.5391	109.3970	97.2656	99.5426	99.5405	109.4169	97.2783	
Teor de sólidos(ppm)		106.1606	484.1818	189.1905	97.9543	82.9549	57.8752	29.0558	57.1072	66.1972	58.4769	119.2194	133.5922	133.5922	278.9721	242.0346	

**ANEXO B:** Curva de permanência de turbidez contruída com base na série de dados fornecida pela companhia de saneamento.

A curva de permanência da turbidez na água na entrada da ETA correlaciona o valore de turbidez com a porcentagem do tempo em que é igualado ou superado.

### Curva de permanência de turbidez



Fonte: Autor.