

II-223 – ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO COM EFLUENTE DE LAVANDERIA INDUSTRIAL UTILIZANDO COAGULANTE VEGETAL À BASE DE TANINO

Bruno da Silveira Marins Coutinho⁽¹⁾

Engenheiro Agrícola e Ambiental pela Escola de Engenharia da UFF. Especializado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UERJ. Mestrando em Recursos Hídricos pela COPPE-UFRJ. Subgerente Técnico da BIOFIBRA SANEAMENTO.

Dario de Andrade Prata Filho

Professor Adjunto IV de Saneamento Ambiental da Escola de Engenharia da UFF. Engenheiro Civil, Engenheiro Agrícola pela Universidade de Viçosa-MG.

Eduardo Benevenuto

Químico pela Universidade Salgado de Oliveira – São Gonçalo/RJ. Gerente Técnico da BIOFIBRA SANEAMENTO.

Ronaldo Luiz Lepsch

Engenheiro Civil pela Universidade Católica de Petrópolis. Especializado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UERJ. Mestrando em Engenharia de Biosistemas pela UFF. Diretor Técnico da BIOFIBRA SANEAMENTO.

Endereço⁽¹⁾: Rua Alberto Torres, 185 – Venda das Pedras – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 24804-400 - Brasil - Tel: (21) 99687 5464 - e-mail: bmcoutinho@hotmail.com

RESUMO

A utilização de coagulantes químicos no tratamento dos efluentes de lavanderias industriais tais como o sulfato de alumínio e o férrico, tem gerado um efluente tratado com pequenas parcelas dos produtos químicos utilizados no tratamento, sendo isto prejudicial aos organismos vivos, já que estes elementos em excesso dificultam o desenvolvimento dos peixes e das algas. Além disso, o lodo formado não apresenta característica biodegradável, dificultando assim a destinação final do mesmo. A partir disso, tem-se buscado utilizar coagulantes poliméricos alternativos aos coagulantes químicos, ou seja, aplicação de coagulantes vegetais. Assim, o presente trabalho teve como objetivo apresentar a aplicabilidade do coagulante vegetal à base de tanino, mostrando uma eficiência de remoção próxima à encontrada com os coagulantes químicos, propondo um tratamento mais “limpo”. Além disso, foi possível apresentar parâmetros de dimensionamento para decantadores a partir dos percentuais dos sólidos floculados que sedimentaram para cada Tempo de Detenção Hidráulica, determinado na coluna de sedimentação.

PALAVRAS-CHAVE: Lavanderia, efluente, coagulante, tratamento, decantadores, lodo.

INTRODUÇÃO

Impulsionados pela realização de grandes eventos nos próximos anos, tais como a Copa do Mundo de 2014, as Olimpíadas de 2016, além de grandes investimentos em construção nos estados brasileiros as cidades tem se tornado um grande canteiro de obras e, dentre outras atividades, o número de lavanderias industriais vem crescendo anualmente no Brasil. A Associação Nacional das Empresas de Lavanderia (ANEL) elevou de 5% para até 8% ao ano a projeção de crescimento nos próximos cinco anos.

Recentemente, com a chegada do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro – COMPERJ no município de Itaboraí/RJ, houve um aumento significativo das atividades industriais na cidade e consequentemente um visível crescimento populacional. Diversas empresas, contratadas pela Petrobras, estão se instalando no município e com isso o número de lavanderias industriais vem aumentando anualmente. A principal função destas lavanderias é atender à demanda no tratamento (limpeza) dos tecidos dos hotéis, hospitais e das grandes indústrias instaladas no município.

De acordo com a Secretaria de fazenda de Itaboraí, até o ano de 2006 não havia nenhuma lavanderia instalada na cidade. A partir daí, com o início das obras, começaram a surgir as primeiras. Atualmente o número de lavanderias é de nove.

Como parte nos requisitos necessários na fase de licenciamento ambiental de uma lavanderia industrial, é exigido o tratamento do efluente gerado na lavagem dos tecidos. Os parâmetros de lançamento determinados pelos órgãos ambientais competentes devem ser atendidos, no caso do estado do Rio de Janeiro a NT 202 – R10.

Os efluentes deverão passar por processos de tratamento antes do descarte na rede pública, ou em córregos, rios, etc. O órgão ambiental de cada estado deve ser consultado para verificação dos padrões em vigor (ANEL, 1996, citado por BARCELOS e FERREIRA, 2005).

Os despejos de lavanderias industriais são normalmente tratados por meio de sistema físico-químico composto por coagulação/floculação, sedimentação e filtração. O uso de estações compactas é importante devido à localização da maioria das lavanderias em centros urbanos, onde há pouca disponibilidade de área física (CRUZ et al, 2005).

Dentre os tipos de coagulantes químicos utilizados no tratamento físico-químico em efluentes de lavanderias, encontram-se principalmente o sulfato de alumínio e o férrico.

Segundo Chernicharo (2001), citado por Matos, Cabanellas e Brasil (2006), o efeito dos sais de alumínio como coagulante é fortemente dependente do pH, atuando bem na faixa entre 5,5 e 8,0.

Os produtos químicos normalmente utilizados para o ajuste do pH são: ácido clorídrico, cal ou soda. Após o processo de coagulação e floculação, uma parcela de sais de alumínio e dos produtos químicos utilizados na correção do pH são encontrados no efluente tratado e no resíduo gerado (lodo).

O uso de sais de alumínio pode ser prejudicial aos seres humanos e aos organismos vivos, além do que, o excesso deste elemento nos recursos hídricos pode prejudicar o desenvolvimento de peixes e algas (COSTA, 2008, citado por PELEGRINO, 2011).

O outro coagulante utilizado no tratamento é o sulfato férrico. Com pH entre 8 e 11, o sulfato férrico ou ferroso representa uma melhor escolha. Para problemas de difícil remoção de cor, o sulfato férrico, em condições de pH entre 5 e 6, é muitas vezes mais eficiente (DREW, 1979 citado por MATOS, CABANELLAS, BRASIL, 2006).

Segundo Matos, Cabanellas e Brasil (2006), na coagulação com sulfato férrico, a formação de flocos é mais rápida, devido ao alto peso molecular se comparado com o alumínio; consequentemente, os flocos são mais densos e o tempo de sedimentação é, significativamente, reduzido.

A utilização do cloreto férrico diminui, drasticamente, a turbidez e a DBO e elimina fosfatos; uma significativa parte de metais pesados (mercúrio, chumbo) ou venenosos (arsênio, selênio, bário) também é eliminada, quando a coagulação é realizada em condições de elevado pH (PAVANELLI, 2001).

Nos últimos anos, vários estudos vem sendo realizados sobre a utilização de coagulantes poliméricos alternativos aos coagulantes químicos para a produção de água para abastecimento, possibilitando a otimização do processo, com melhorias como a redução da geração e dos teores de metais do lodo (KONRADT-MORAES et al, 2007, citados por PELEGRINO 2011).

Com a finalidade de resolver alguns problemas encontradas no efluente tratado e também na destinação do lodo gerado nas estações de tratamento de dejetos industriais (ETDI), mantendo uma eficiência de remoção próxima à usual, tem-se buscado trabalhar com coagulantes vegetais. A partir disso, dentre outros coagulantes, o tanino aparece como substituto dos coagulantes químicos (sulfato de alumínio e férrico) no tratamento de água e efluente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para visualização da velocidade de sedimentação dos sólidos em suspensão presentes (flocos formados) no efluente, para os tempos de detenção de 30, 60, 90 e 120 minutos, foi realizado o ensaio em coluna de sedimentação de acrílico, de 100 mm de diâmetro e 1,00 m de altura, conforme figura 1.



Figura 1: Coluna de sedimentação.

A coluna de sedimentação foi preenchida com efluente coletado na caixa elevatória de uma lavanderia industrial localizada em Itaboraí. Foram aplicados dois tipos de coagulantes, primeiramente o tanino na concentração de 1 ml/L, e o sulfato de alumínio na concentração de 3 ml/L.

O tanino utilizado, TANFLOC SL, é formado por uma solução com 23 a 27 % de sólidos totais diluídos em água. Foi adquirido na empresa TANAC localizada em Montenegro – Rio Grande do Sul. Com relação ao Sulfato de Alumínio, a solução foi formada com 200 g de sulfato de alumínio para um litro de água, sendo então aplicado 3ml/L. Para que o processo de coagulação/floculação acontecesse foi necessário elevar o pH do efluente aplicando-se 3ml de soda (NaOH) para cada litro. Além disso, foi verificado que os flocos formados são muito leves, sendo então dosado 3 ml/L de polieletrólito na concentração de 50 g de polieletrólito para um litro de água. A concentração ótima encontrada para os dois coagulantes utilizados correspondem aos melhores resultados obtidos em ensaio realizado anteriormente com o Jar-test.

Em cada ensaio de sedimentação, logo após a adição do coagulante no efluente, contido em um recipiente calibrado, uma haste de plástico foi utilizada com a finalidade de promover uma mistura rápida, realizando movimentos circulares durante dois minutos.

Após a mistura rápida, o volume contido no recipiente foi transferido para a coluna de sedimentação. Para a determinação da velocidade de sedimentação, foi instalado um registro de ½” a cada 0,20 m de profundidade na parede da coluna, sendo numerada de 1 a 4, conforme figura 1.

Imediatamente após a transferência foi feita a primeira bateria de coletas, considerada no tempo zero. Foram então coletadas amostras de 50 ml, de cima para baixo e em intervalos de tempos regulares de 30 minutos, durante 2 horas ininterruptas de ensaio, totalizando 20 amostras de 50 ml para cada ensaio, conforme figura 2.



Figura 2: Amostras coletadas.

A concentração de sólidos em suspensão nas amostras coletadas foi determinada filtrando-a em funil acoplado à kitassato com saída ligada a mangueira plástica conectada a bomba de vácuo.

O filtro de separação utilizado foi a membrana de fibra de vidro de 47 mm, 13400-047Q/ HX0009-00039. Antes de iniciar a filtração todos os filtros, com os seus suportes identificados, foram colocados na estufa a 50°C, durante 40 minutos, com o objetivo de retirar a umidade. Sendo então submetidos à balança de precisão, determinando assim a massa de cada filtro + suporte.

Terminada a filtração de toda a alíquota, o filtro foi secado em estufa a 50°C, durante 2 horas e pesado em balança de precisão, encontrando assim a massa do filtro + suporte + sólido retido, conforme figura 3..

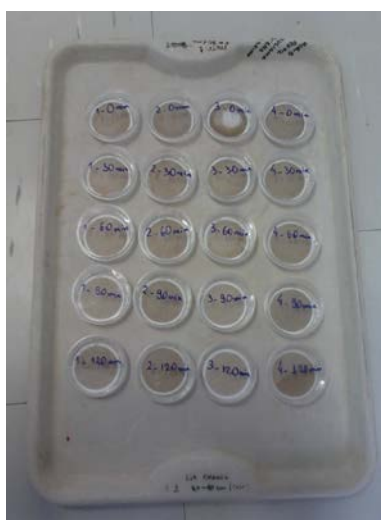


Figura 3: Amostras coletadas.

A concentração dos sólidos floculados, para cada altura e tempo de detenção, foi determinada subtraindo-se a massa do filtro + suporte + sólidos retidos da massa do filtro + suporte.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

SULFATO DE ALUMÍNIO

A concentração dos sólidos formados a partir da coagulação/floculação em cada altura (1, 2, 3 e 4), e para cada tempo de detenção hidráulica (30, 60, 90 e 120 minutos), estão apresentados na tabela 1. Foram aplicados 3ml/L de sulfato de alumínio, soda e polieletrólito.

Tabela 1: Sólidos floculados com o sulfato de alumínio.

tempo / Ponto	1	2	3	4
0 minuto	0,0095	0,0163	0,009	0,0079
30 minutos	0,0061	0,0058	0,0063	0,0068
60 minutos	0,0059	0,0043	0,0029	0,0028
90 minutos	0,0022	0,0033	0,0025	0,0026
120 minutos	0,0029	0,0276	0,0025	0,0033

Os resultados obtidos na coluna de sedimentação estão apresentados nos gráficos a seguir. A figura 4 mostra a concentração dos sólidos floculados ao longo da coluna no tempo 0. A média encontrada nos quatro pontos foi de 0,0106 g.

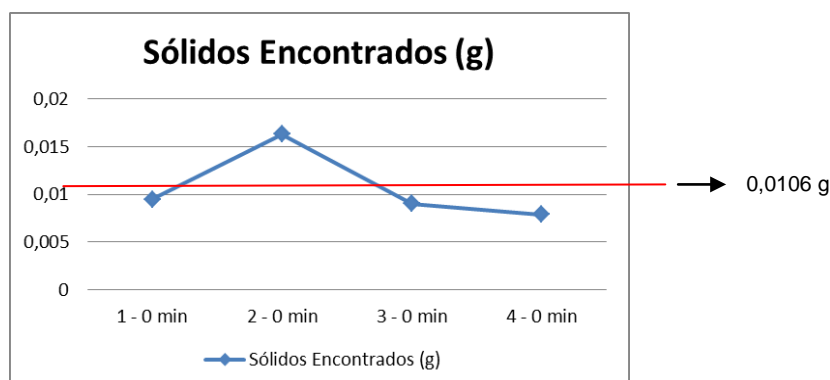


Figura 4: Concentração no ponto 0 – Sulfato de alumínio.

A figura 5 mostra que com 30 minutos de TDH o percentual de sólidos floculados que sedimentaram próximos ao ponto mais elevado, ponto 1, foi de apenas 36%. Sendo atingida uma percentagem de remoção maior com TDH igual a 90 minutos, aproximadamente 75%.

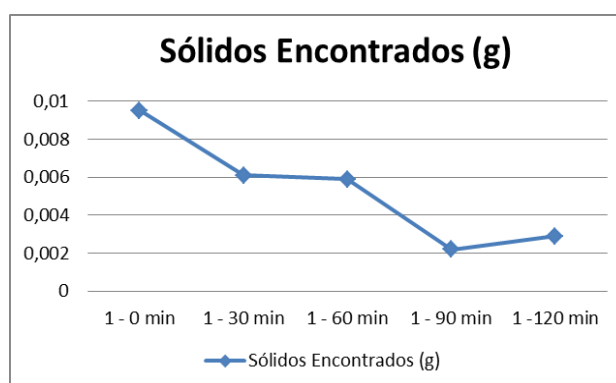


Figura 5: Concentração no ponto 1 – Sulfato de alumínio.

Na figura 6 é possível visualizar que com 30 minutos de TDH a maior concentração dos sólidos floculados encontrava-se nos pontos 3 e 4. Sendo os percentuais de remoção nos pontos 1, 2, 3 e 4, com relação à concentração no tempo 0, de 36, 65, 30 e 14% respectivamente. Perceba que a partir do ponto 2, a remoção dos sólidos é inversamente proporcional à profundidade da coluna, ou seja, quanto maior a profundidade, menor o percentual de remoção. Isso se justifica com a contribuição dos sólidos sedimentados nos pontos 1 e 2.

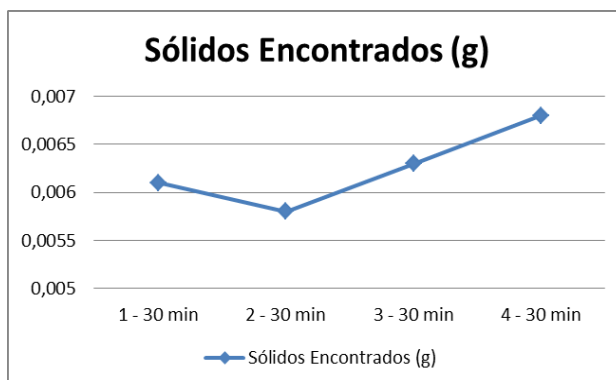


Figura 6: Concentração com TDH de 30 minutos – Sulfato de Alumínio.

Como a percentagem de remoção dos flocos com 30 minutos de TDH não foi muito elevada no ponto 1, com 60 minutos ainda havia uma quantidade significativa de sólidos floculados nesta altura (pontos 1 e 2), isto pode ser justificado pelo sabão presente no efluente, promovendo a flotação dos sólidos, e/ou também em virtude de se ter uma velocidade de sedimentação menor, ou seja, flocos mais leves. Na figura 7 é possível visualizar estes dados.

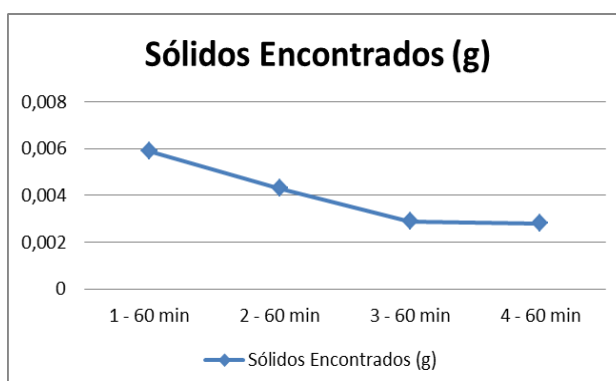


Figura 7: Concentração com TDH de 60 minutos – Sulfato de Alumínio.

Na figura 8 é possível perceber que a concentração dos sólidos floculados nos pontos 1 e 2, com 90 minutos de TDH baixou consideravelmente. Já nos pontos 3 e 4 a variação não foi expressiva.

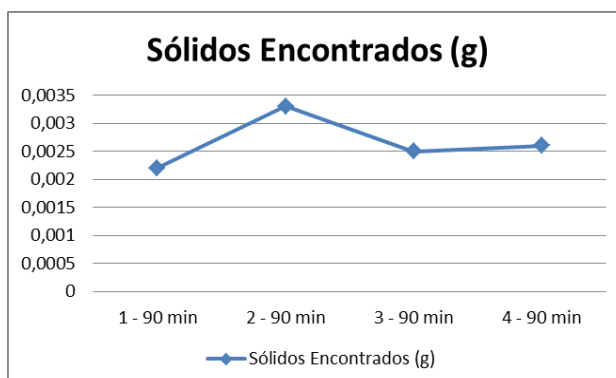


Figura 8: Concentração com TDH de 90 minutos – Sulfato de Alumínio.

Quando o TDH chegou a 120 minutos, a concentração dos sólidos nos pontos 1, 3 e 4 estava bem próxima à encontrada com TDH de 90 minutos. Por outro lado, no ponto 2 a concentração se apresentou bem diferente, isto se justifica com uma quantidade pontual no momento da coleta da amostra. Na figura 9 é possível visualizar estes dados.

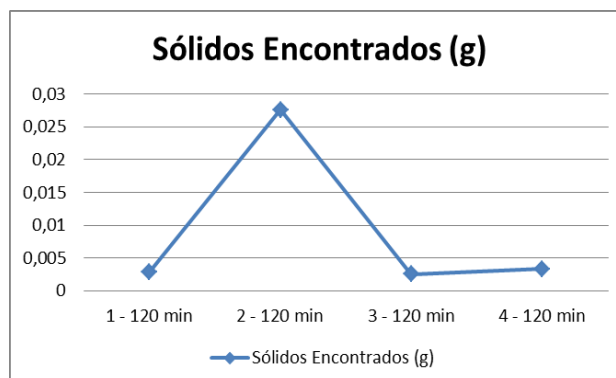


Figura 9: Concentração com TDH de 120 minutos – Sulfato de Alumínio.

No que diz respeito à eficiência de remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO), verificou-se uma redução em torno de 78% apenas na coagulação/floculação, conforme análise realizada pelo laboratório da Biofibra. Como mencionado anteriormente, foi necessário elevar o pH de 6,7 para 12,4 para que o processo acontecesse, os valores estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Análise laboratorial com sulfato de alumínio.

PARÂMETROS	RESULTADOS		UNIDADE	*VMP FEEMA			*LDM
	Ef. Bruto c/ NaOH	Ef. Tratado		NT 202-R10	CONAMA 430	DZ 215-R4	
DQO	363	80	mg O ₂ / L	N/D	N/D	N/D	1 mg/L
pH	12,4	12,4	**	5 a 9	**	**	**
* LIMITE DE DETECÇÃO DO MÉTODO							
* VALOR MÁXIMO PERMITIDO							

COAGULANTE VEGETAL - TANINO

Os resultados obtidos com o coagulante vegetal à base de tanino foram satisfatórios, apresentando uma excelente coagulação e floculação aplicando-se apenas 1ml/L. A velocidade de sedimentação dos flocos formados foi bem elevada. Em ensaio feito em béquer foi possível visualizar o processo de coagulação, floculação e sedimentação ocorrendo, conforme figuras 10, 11 e 12. A figura 10 refere-se ao efluente bruto.

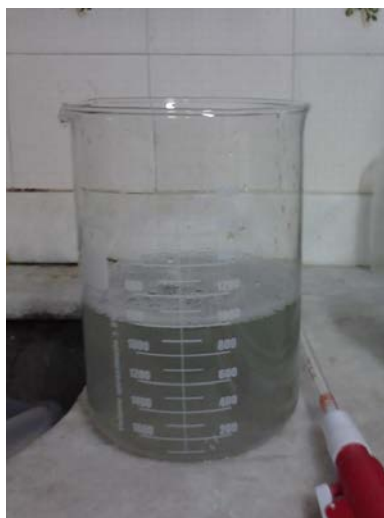


Figura 10: Efluente Bruto.

A figura 11 foi registrada 15 minutos após a aplicação do coagulante. Percebe-se que aproximadamente 50% dos flocos formados já sedimentaram, já os 50% restantes encontram-se próximos à lâmina d'água. Isto ocorreu em virtude do sabão (espuma) presente no efluente, promovendo a flotação dos flocos.



Figura 11: Processo de Coagulação e Floculação.

À medida em que a espuma foi se desfazendo, os flocos foram sedimentando. A figura 12 mostra isto, sendo registrada 40 minutos após a aplicação do coagulante.



Figura 12: Sedimentação dos flocos.

A eficiência de remoção da DQO apresentou uma redução em torno de 71% apenas na coagulação/floculação, conforme análise realizada pelo laboratório da Biofibra, tabela 3.

Tabela 3: Análise laboratorial com tanino.

PARÂMETROS	RESULTADOS		UNIDADE	*VMP FEEMA			*LDM
	Ef. Bruto	Ef. Tratado		NT 202-R10	CONAMA 430	DZ 215-R4	
DQO	181	52	mg O ₂ / L	N/D	N/D	N/D	1 mg/L
pH	7,1	7,1	**	5 a 9	**	**	**
* LIMITE DE DETECÇÃO DO MÉTODO							
* VALOR MÁXIMO PERMITIDO							

Com relação aos resultados obtidos na coluna de sedimentação, a tabela 4 apresenta a concentração dos sólidos floculados em cada altura (1, 2, 3 e 4), e para cada tempo de detenção hidráulica (30, 60, 90 e 120 minutos).

Tabela 4: Sólidos floculados com o tanino.

tempo / Ponto	1	2	3	4
0 minuto	0,0217	0,0079	0,0175	0,0084
30 minutos	0,0049	0,0073	0,0063	0,0165
60 minutos	0,0052	0,0058	0,0045	0,095
90 minutos	0,0049	0,0056	0,005	0,0073
120 minutos	0,0058	0,0061	0,0201	0,0717

As figuras a seguir tem a finalidade de demonstrar a velocidade de sedimentação dos flocos formados em cada altura e TDH. A figura 13 mostra a concentração dos sólidos floculados ao longo da coluna no tempo 0. A média encontrada nos quatro pontos foi de 0,0138 g.

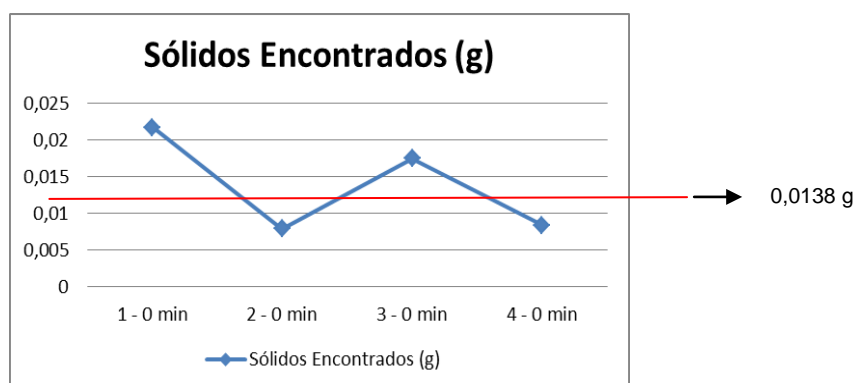


Figura 12: Concentração no tempo 0 – Tanino.

Diferentemente do que ocorreu com o sulfato de alumínio, após 30 minutos aproximadamente 75% dos sólidos floculados próximos ao ponto 1 sedimentaram. Observe que com o TDH de 30 a 120 minutos não houve uma mudança significativa dos sólidos encontrados neste ponto. Isto pode ser verificado na figura 13.

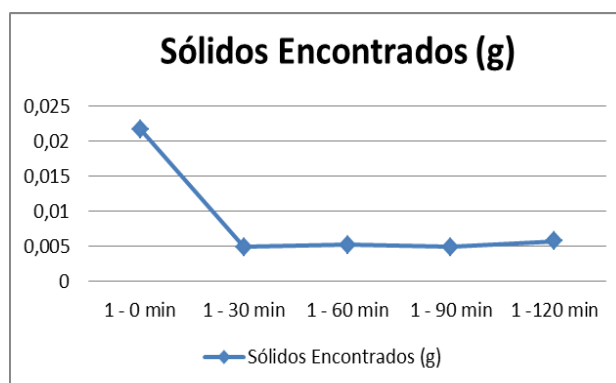


Figura 13: Concentração no ponto 1 – Tanino.

Na figura 14 é possível visualizar que com 30 minutos de TDH a maior parte dos sólidos floculados encontrava-se entre os pontos 3 e 4.

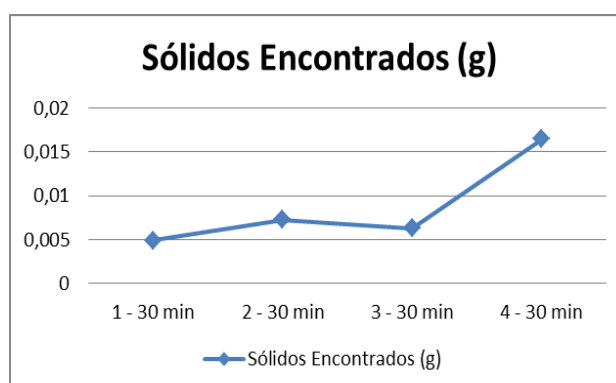


Figura 14: Concentração com TDH de 30 minutos – Tanino.

Com TDH igual a 60 minutos, a concentração dos sólidos floculados nos pontos 1, 2 e 3, quando comparada com a do ponto 4, pode ser considerada zero, conforme a figura 15.

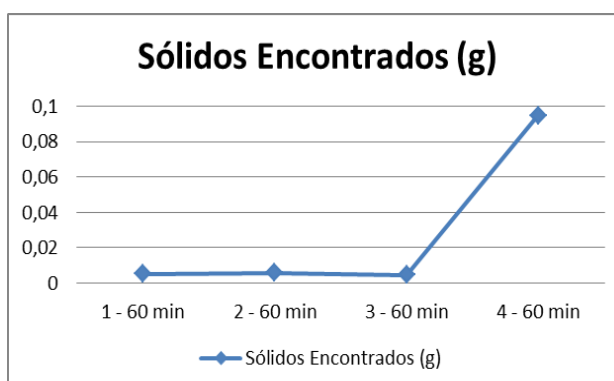


Figura 15: Concentração com TDH de 60 minutos – Tanino.

A figura 16 mostra que com 90 minutos de TDH não ocorreu uma variação considerável na concentração dos sólidos floculados nos pontos 1, 2 e 3 em relação ao TDH de 60 minutos.

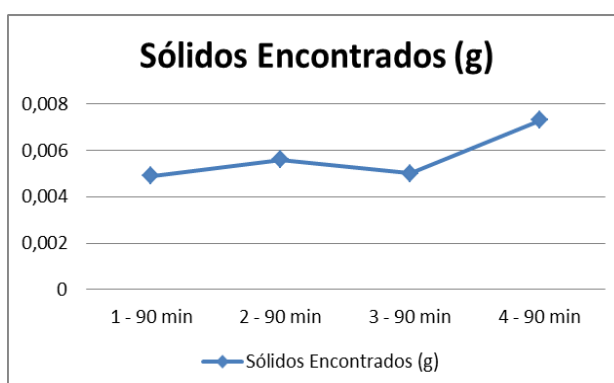


Figura 16: Concentração com TDH de 90 minutos – Tanino.

Por outro lado, quando o TDH chegou a 120 minutos, a concentração dos sólidos nos pontos 3 e 4 aumentou de 0,005 e 0,007 para 0,0201 e 0,0717, respectivamente. Nos pontos 1 e 2 não houve variação significativa com relação ao TDH de 60 minutos. Isto pode ser verificado na figura 17.

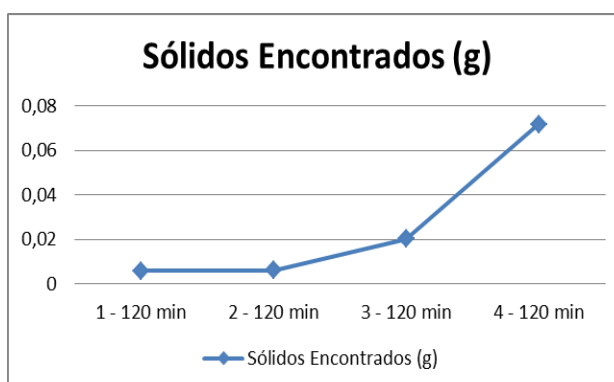


Figura 17: Concentração com TDH de 120 minutos – Tanino.

CUSTOS

Os custos com os insumos para o tratamento tanto com o sulfato de alumínio quanto com o tanino estão apresentados a seguir:

Tratamento com o sulfato de alumínio:

Custo de sulfato de alumínio: $600 \text{ g} / \text{m}^3 \times \text{R\$ } 1,50 / \text{Kg} \times 1 \text{ Kg} / 1000 \text{ g} = \text{R\$ } 0,90 / \text{m}^3$

Custo de soda: $3 \text{ L} / \text{m}^3 \times \text{R\$ } 2,00 / \text{L} = \text{R\$ } 6,00 / \text{m}^3$

Custo de Polieletrólito: $150 \text{ g} / \text{m}^3 \times \text{R\$ } 17,82 / \text{Kg} \times 1 \text{ Kg} / 1000 \text{ g} = \text{R\$ } 2,67 / \text{m}^3$

Custo total de tratamento com sulfato de alumínio: $\text{R\$ } 9,57 / \text{m}^3$

Tratamento com o Tanino:

Custo do tanino: $1 \text{ L} / \text{m}^3 \times \text{R\$ } 4,00 / \text{L} = \text{R\$ } 4,00 / \text{m}^3$

Custo total de tratamento com tanino: $\text{R\$ } 4,00 / \text{m}^3$

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na coluna de sedimentação com os dois tipos de coagulantes, químico e vegetal, pode-se concluir que o sulfato de alumínio não se mostrou sustentável no âmbito ambiental nem no econômico. Sendo o custo de insumos igual a $\text{R\$ } 9,57$ para cada m^3 de efluente tratado, além de gerar um resíduo (lodo) e efluente tratado contendo sais de alumínio que, em altas concentrações, são prejudiciais ao meio ambiente. Vale ressaltar que a eficiência de remoção de DQO foi igual a 78%.

Por outro lado, os resultados com o tanino se apresentaram bastantes satisfatórios econômica e ambientalmente falando. Além de o custo ser de apenas $\text{R\$ } 4,00$ para cada m^3 tratado, o lodo gerado tem características biodegradáveis e o efluente tratado pode ser lançado em corpos hídricos sem oferecer danos aos organismos vivos. Nesta concepção, a eficiência de remoção de DQO foi de 71%.

Sabe-se que nas duas situações, após o reator físico-químico, o efluente será submetido a um polimento elevando assim a eficiência de remoção.

Vale ressaltar que antes de pensar em tratar o resíduo gerado em qualquer planta industrial, é de extrema importância ter uma visão sustentável no processo, ou seja, prezar pela redução ou reutilização da matéria-prima, já que os recursos naturais são finitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANEL - Associação Nacional das Empresas de Lavanderia.
2. BARCELOS, R. T., FERREIRA, O. M. Os Impactos do Lançamento dos Efluentes das Lavanderias no Córrego Barro Preto do Município de Trindade – GO. Artigo Técnico – Universidade Católica de Goiás.
3. BELTRAME, L. T. C. Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2000.
4. BRAILE, P. M., CAVALCANTI, J. E. W. A. Manual de tratamento de águas residuárias industriais - CETESB, 1993.
5. CARNEIRO, A.C.O. et al. Reatividade dos taninos da casca de Eucalyptus grandis para produção de adesivos. Cerne, Lavras, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2001.
6. CRUZ, J. G. H., MENEZES, J. C. S. S., RUBIO, J., SCHNEIDER, I. A. H. Aplicação de Coagulante Vegetal à Base de Tanino no Tratamento por Coagulação/Floculação e Adsorção/Coagulação/Floculação do Efluente de uma Lavanderia Industrial. II-042 – 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
7. KLUMB, A. K., FARIA, O. L. V. Produção de Coagulante Vegetal a partir de Cascas de Eucalipto (Eucalyptus tereticornes). Programa de Pós-Graduação, Vetor, Rio Grande, v.22, n.1, 71-80, 2012.
8. MATOS, A. T., CABANELLAS, C. F. G., BRASIL, M. S. Ensaio de Sedimentação em Água Utilizada no Descascamento/Despolpa de Frutos do Cafeeiro. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.14, n.3, 148-155, Jul/Set, 2006.
9. NT-202. R-10 – Critérios e Padrões para Lançamento de Efluente Líquidos.
10. PAVANELLI, G. Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação, Floculação e sedimentação de Água com Cor ou Turbidez Elevada. Programa de Pós-Graduação – Hidráulica e Saneamento – USP, 2001.
11. PELEGRINO, E. C. F. Emprego de Coagulante à Base de Tanino em Sistema de Pós-Tratamento de Efluente de Reator UASB por Flotação. Programa de Pós-Graduação – Hidráulica e Saneamento – USP, 2011.