

Ensaio controlados para análise de desaguamento de lodo de ETA em leitos de drenagem: influência do teor de sólidos

Controlled tests for dewatering sludge of WTS in drainage bed: influence of solid content

- **Data de entrada:**
31/03/2023
- **Data de aprovação:**
05/06/2023

Matheus Morais Minatel^{1*} | Cali Laguna Achon¹ | Renan Felicio dos Reis²

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.035>

ORCID ID

Minatel MM  <https://orcid.org/0000-0003-2679-5035>

Achon CL  <https://orcid.org/0000-0001-5819-8089>

Reis RF  <https://orcid.org/0000-0002-0290-2126>

Resumo

O lodo gerado em estações de tratamento de água (ETA) tem cerca de 97% de umidade (valor que varia de acordo com as características do sistema de tratamento), sendo considerado um resíduo sólido de acordo com a Lei n. 12.305/2010, que prevê como primeira ordem de prioridade para os resíduos a redução, seguida do reuso e da reciclagem. A redução do volume do lodo pode ser realizada através do desaguamento, usando sistemas naturais ou mecânicos. Entre os sistemas naturais, o leito de drenagem (LD) se mostrou promissor em vários estudos que promoveram esse processo com distintos teores de sólidos totais (%ST), avaliando a eficiência do sistema de LD em ensaios submetidos a condições iniciais muito distintas. Neste trabalho, avaliou-se a influência do %ST do lodo bruto em drenagens submetidas a condições iniciais controladas, analisando-se a influência da variação do %ST em leitos com a mesma altura de lodo e as mesmas taxas de aplicação de sólidos (TAS). Utilizou-se o sistema gravimétrico para a medição das vazões nos ensaios, e também foram realizadas medidas de pH, turbidez e cor aparente para mensurar a qualidade dos drenados. Verificou-se que leitos com maiores %ST submetidos a mesma TAS, apesar de apresentarem menores vazões, terminaram suas drenagens em menos tempo. Também se verificou que o volume drenado é inversamente proporcional ao %ST do lodo bruto. Não foi observada uma relação direta entre o %ST e os valores de cor aparente e turbidez, evidenciando que a qualidade do líquido drenado foi independente do %ST do lodo bruto.

Palavras-chave: Lodo de ETA. Desaguamento. Leito drenagem. Concentração de sólidos.

Abstract

The sludge generated in water treatment plants (WTS) has about 97% humidity (a value that varies according to the characteristics of the treatment system), being considered a solid waste according to Brazilian Law No. 12,305/2010, which provides, as the first order of priority for the waste, reduction, followed by reuse and recycling. The sludge volume reduction can be accomplished by dewatering, using natural or mechanical systems. Among the natural systems,

¹ Universidade Federal de São Carlos – São Carlos – São Paulo – Brasil.

² Instituto Federal de São Paulo – São Roque – São Paulo – Brasil.

* **Autor correspondente:** matheusminatel@hotmail.com

the drainage bed (DB) showed promise in several studies that promoted this process with different levels of total solids (TS%), evaluating the efficiency of DB in clinical trials under very different initial conditions. In this work, the influence of the TS% of the raw sludge in drainages submitted to controlled starting conditions was evaluated, analyzing the influence of the variation of the TS% in beds with the same sludge height and the same solid application rates (SAR). It used the gravimetric system to determine the flow rates in the tests, and measurements of pH, turbidity, and color were also performed to measure the quality of the drains. Beds with higher TS% with the same SAR, despite having lower flow rates, finished their drains in less time. It was also found that the volume drained is inversely proportional to the TS% of the crude sludge. No direct relationship was observed between the TS% and the apparent color and turbidity values, showing that the quality of the drained liquid was independent of the TS% of the crude sludge.

Keywords: Sludge of WTS. Dewatering. Drainage bed. Solids concentration.

1 INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de água (ETA) geram resíduos durante o processo de potabilização para abastecimento público, sendo esses o lodo e a água de lavagem de filtros (ALAF). Esses resíduos precisam ser removidos, garantindo a eficiência do sistema, e tratados, sendo dispostos de forma ecologicamente adequada para evitar impactos ambientais.

O volume estimado de resíduos de ETAs gerados no Brasil, considerando a geração de 5% de lodo em relação ao volume de água tratada (Cordeiro; Barroso; Achon, 2011) em dados de produção atuais, totaliza cerca de 700 mil m³.dia⁻¹ de lodo.

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a ALAF supera em termos volumétricos os lodos provenientes dos decantadores, porém possui teor de sólidos totais (%ST) bem menor, com valores entre 0,01% a 0,05%. Fontana (2004) e Reali (1999) indicam que a %ST do lodo dos decantadores pode variar bastante de um sistema para o outro, podendo alcançar até 3%. Já Di Bernardo L, Di Bernardo A e Centurione Filho (2002) indicam a variação da %ST geralmente na faixa de 4 a 13% para lodos provenientes de decantadores convencionais, sem equipamentos de extração,

e a concentração entre 0,1 e 1% para lodos de decantadores de alta taxa ou convencionais, com equipamentos de remoção de lodo que realizam descargas diárias.

Estudos elaborados por Achon e Cordeiro (2016) sobre a destinação e disposição de resíduos (lodo) em 22 ETAs de uma mesma sub-bacia, localizada no estado de São Paulo, demonstraram que 77% dessas lançam o resíduo em corpos d'água, 9% lançam no solo, 14% dispõem em aterros e não existe reciclagem ou reuso.

Embora tenha em sua composição grande quantidade de água, o lodo de ETA é classificado como resíduo sólido e, portanto, deve estar em conformidade com a NBR 10004 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004) e com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei n. 12.305/2010, que estabeleceu uma ordem de prioridade no gerenciamento desses resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, por fim, a disposição final ambientalmente adequada (Brasil, 2010). Nesse âmbito, para viabilizar o reuso ou a reciclagem é necessário que antes o lodo seja destinado a um sistema de desaguamento natural ou mecânico.

Entre os sistemas naturais, o leito de drenagem (LD), proposto inicialmente por Cordeiro (2001), tem se mostrado promissor em promover o desaguamento de resíduos de ETA, conforme observado em estudos em escala piloto realizados por Barroso (2007), Achon, Barroso e Cordeiro (2008), Reis (2011), Silveira (2012) e Cordeiro *et al.* (2014), e em protótipos em escala real estudados por Fontana (2004) e Lustosa *et al.* (2017). Todas essas pesquisas citadas promoveram ensaios de desaguamento de lodos em LD com distintos %ST, de acordo com as amostras de lodo bruto coletadas nas ETAs, avaliando a eficiência do sistema em ensaios submetidos a condições iniciais muito distintas.

Nesse sentido, e buscando contribuir com a avaliação pontual de um parâmetro que possui valores com grande amplitude, este estudo tem por objetivo avaliar a influência do teor de sólidos totais (%ST) do lodo bruto na qualidade e quantidade do líquido drenado, usando um sistema de bancada de LD com monitoramento contínuo da vazão em drenagens submetidas a condições iniciais controladas, analisando também a influência da %ST para diferentes alturas de camada de lodo e taxa de aplicação de sólidos (TAS).

2 METODOLOGIA

Foram realizados dez ensaios com a finalidade de avaliar o desaguamento dos lodos de ETA em LD com diferentes teores de sólidos totais (%ST). Avaliou-se a influência da variação de %ST nas drenagens em leitos submetidos a mesma carga hidráulica e, posteriormente, em leitos submetidos a mesma TAS em KgST.m^{-2} .

Os lodos utilizados nas drenagens foram preparados previamente para obterem os valores de %ST de 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% e 2,5%. Todo o lodo utilizado nos ensaios foi coletado com teor de sólidos inicial de $\text{ST}=5,5$, diretamente do decantador de uma ETA localizada no estado de São Paulo e durante a realização do processo de limpeza. Para se atingir o %ST inicial desejado aos ensaios para além do lodo, a água diretamente do decantador em operação foi coletada a fim de diluir o lodo com alta %ST.

A diluição foi realizada conforme etapas (a) e (b) da Figura 1. Na etapa (a), o lodo passou por peneira de 4 mm para a retenção de matéria orgânica grosseira. Em seguida, na etapa (b), uma fração do lodo peneirado foi diluído com água do decantador até atingir as concentrações de sólidos totais predefinidas.

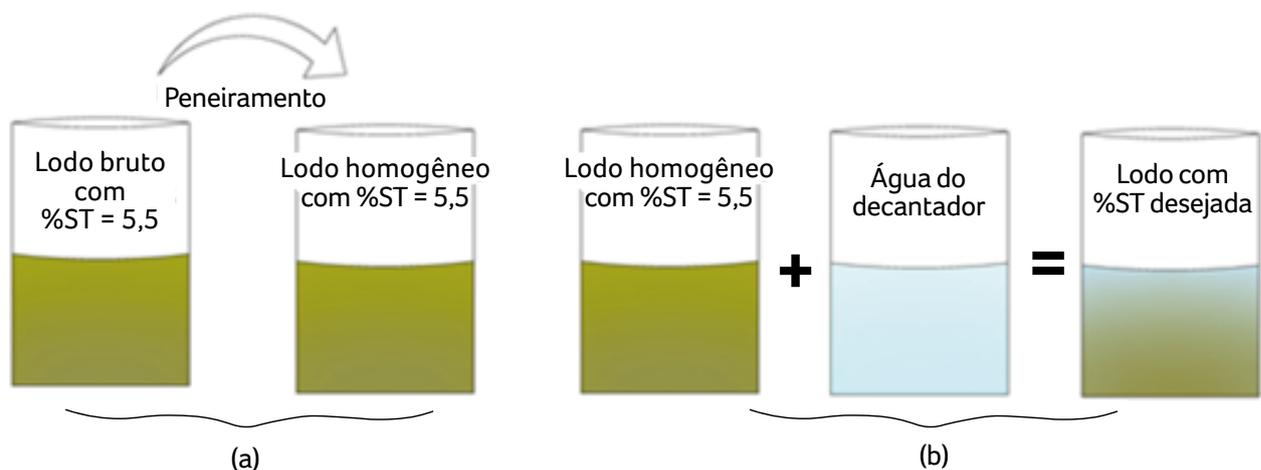


Figura 1 – Etapas de preparação do lodo com diferentes %ST.

A quantidade de água necessária para a diluição da amostra foi calculada conforme Equação 1

$$M_{\text{água}} = M_{\text{lodo inicial}} \cdot \left(\left(\frac{\%ST_i}{\%ST_f} \right) - 1 \right) \quad (1)$$

Onde:

$M_{\text{água}}$ (kg) – Massa de água a adicionar.

$M_{\text{lodo inicial}}$ (kg) – Massa de lodo antes da diluição.

$\%ST_i$ – Porcentagem de sólidos totais do lodo antes da diluição.

$\%ST_f$ – Porcentagem de sólidos desejado.

A metodologia adotada para a diluição se mostrou eficiente, visto que após todas as diluições, amostras do resíduo foram coletadas em triplicata e levadas a estufa até a estabilização da massa, onde se observou erros da ordem de 0,02 em %ST.

O sistema de LDs proposto utilizado neste estudo foi concebido para que houvesse apenas fluxo normal em relação ao plano do geotêxtil, o leito foi composto por tubo de acrílico (D = 150mm), preenchido com brita no fundo (4 cm). O tubo condutor de cada LD conduziu a vazão a um recipiente alocado sobre uma balança, e esta enviou dados

de variação de massa ao sistema de aquisição de dados. Optou-se por um sistema gravimétrico de medição das vazões devido à grande amplitude de faixa observada em ensaios preliminares.

Assim, foram medidas as vazões do drenado e determinado o percentual de volume de drenado de água livre em função do tempo, conforme Equação 2. A medição das vazões foi realizada até o fim da percolação de água livre em cada ensaio.

$$Q = \frac{\Delta m}{\Delta t \times \rho \times A} \quad (2)$$

Onde:

Q (L.min⁻¹.m⁻²) – Taxa de drenagem: vazão em litros por minuto a cada m² de geotêxtil.

Δm (kg) – Variação da massa no intervalo de tempo Δt .

ρ (g.cm⁻³) – Massa específica do drenado.

Δt (min) – Intervalo de tempo.

A (m²) – Área de aplicação do lodo no geotêxtil.

A foto do sistema de desaguamento proposto e detalhes do sistema de LD em escala laboratorial são apresentados na Figura 2.

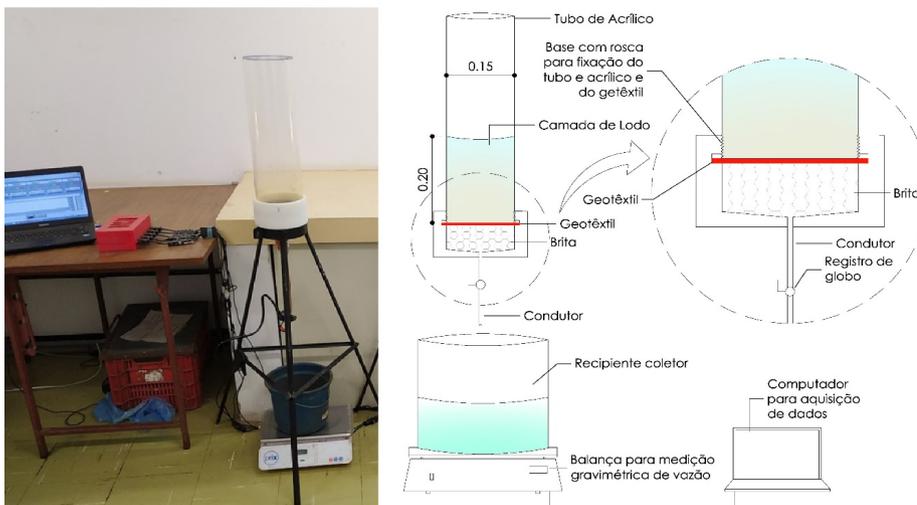


Figura 2 – Foto do sistema de Leito de Drenagem e esquema de instalação.

Tabela 1 – Condições iniciais dos ensaios realizados.

Ensaio	Altura da camada de lodo bruto (cm)	%ST	TAS (kg.m ⁻²)	Volume de lodo bruto aplicado (L)
H20-ST0,5-T1	20	0,5	1	3,53
H20-ST1,0-T2	20	1	2	3,53
H20-ST1,5-T3	20	1,5	3	3,53
H20-ST2,0-T4	20	2	4	3,53
H20-ST2,5-T5	20	2,5	5	3,53
H20-ST3,0-T6	20	3	6	3,53
H30-ST2,0-T6	30	2	6	5,30
H40-ST1,5-T6	40	1,5	6	7,07
H40-ST0,5-T2	40	0,5	2	7,07
H10-ST2,0-T2	10	2	2	1,77

Semelhante ao que foi proposto por Silveira (2012), determinou-se a porcentagem dos drenados com qualidade similar ao padrão de cor aparente e turbidez, estabelecido pela Resolução CONAMA n. 357/2005 para corpos de água doce Classe II. Então, foram observadas as porcentagens dos drenados com valores de turbidez

inferiores a 100 uT e a porcentagem dos drenados com valores de cor aparente inferiores a 75 uH.

Para todos os ensaios foi utilizado o geotêxtil de poliéster não tecido, GeoFort GH 21. Na Tabela 2, tem-se as especificações técnicas do geotêxtil utilizado nos ensaios.

Tabela 2 – Especificação do geotêxtil utilizado na pesquisa.

PARÂMETROS	GeoFort GH 21 Geotêxtil Não tecido
Gramatura (g.m ⁻²)	400
Resistência à tração nominal (kN.m ⁻¹)	21
Permeabilidade (cm.m ⁻¹)	0,22
Abertura de filtração (µm)	65
Permissividade(S-1)	1,22
Fabricante	OBBER
Composição	100% Poliéster

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3, compilou-se os resultados da taxa de drenagem por metro quadrado de geotêxtil, em L.min⁻¹.m⁻² nos leitos submetidos ao carregamento de 20 cm de lodo, com seis concentrações distintas.

Santos (2012) observou que quando registrada a vazão de 1,67mL.min⁻¹, atribuída por Barroso (2007) como sendo a vazão de final da drenagem, ainda havia volumes consideráveis de lodo em seus LD e, em consonância com Silveira (2012),

considerou como final da drenagem a extinção da lâmina de água no lodo retido no geotêxtil. Cabe observar que Barroso (2007) atribuiu a vazão de 1,67 mL.min⁻¹ como a vazão de final da drenagem para um LD com tipologia peculiar, e com nítida contribuição lateral do geotêxtil. Nos experimentos de Santos (2012) e Silveira (2012) em escala reduzida, a tipologia dos LDs utilizados nesses ensaios evidencia apenas fluxo normal ao

plano do geotêxtil, no entanto seus leitos possuem diâmetros distintos e ambas apresentam seus resultados de vazão em mL.min⁻¹, o que torna difícil a comparação entre esses resultados. Buscando padronização na apresentação dos dados, e procurando estabelecer critérios para elaboração de projetos de LD em escala real, propõe-se neste estudo a utilização de taxa de drenagem por metro quadrado de geotêxtil.

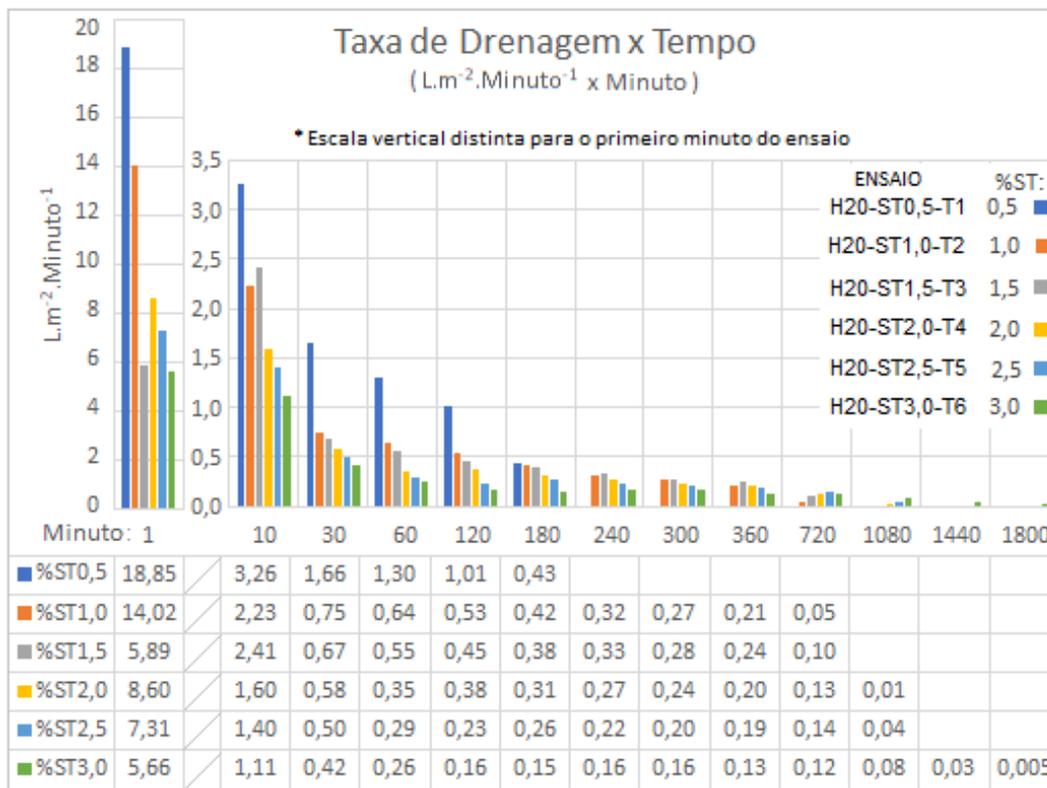


Figura 3 – Taxa de drenagem por metro quadrado de geotêxtil L.min⁻¹.m⁻² ao longo dos ensaios para LD, submetidos a mesma altura de lodo inicial.

Santos (2012) realizou ensaios com leito, geotêxtil, %ST e altura de camada de lodo semelhantes aos propostos nesta pesquisa, porém seus resultados foram expressos em mL.min⁻¹. Com o objetivo de comparar esses aos encontrados nesta pesquisa, calculou-se a taxa de drenagem em função dos valores de vazão que Santos (2012) observou em seu

ensaios com %ST de 1,71, TAS de 3,5 kg.m⁻², altura inicial de camada de lodo de 20,5 cm, com lodo aplicado em leito com área de fundo de 0,0177 m². Os valores da taxa de drenagem calculada e vazões podem ser encontrados na Tabela 3, na qual também se verifica valores semelhantes aos das taxas de drenagem encontradas nesta pesquisa.

O gráfico apresentado na Figura 3 demonstra, conforme observado em Santos (2012), que há redução da vazão drenada ao longo do tempo. Barroso (2007) e Mortara (2011) atribuem esse decréscimo à obstrução dos poros do geotêxtil pelas partículas menores de lodo. Verifica-se também que a taxa de drenagem é inversamente proporcional ao %ST

do lodo aplicado e, conforme pode se observar na Figura 3, o lodo com %ST de 3,0 demorou 10 vezes mais tempo para encerrar a drenagem quando comparado com os resultados para o lodo de 0,5 %ST. Isso evidencia o maior efeito da colmatação em leitos com maiores %ST e, conseqüentemente, maiores TAS para a mesma carga hidráulica.

Tabela 3 – Vazões observadas por Santos (2012) e Taxas de Drenagem calculadas.

Tempo (min)	15	30	45	60	90	120	210	300	390
Q (mL.min ⁻¹)	44,0	6,2	2,9	1,8	1,7	1,0	1,3	0,8	0,5
Taxa de drenagem calculada. (L.min ⁻¹ .m ⁻²)	2,49	0,35	0,16	0,10	0,10	0,06	0,07	0,05	0,03

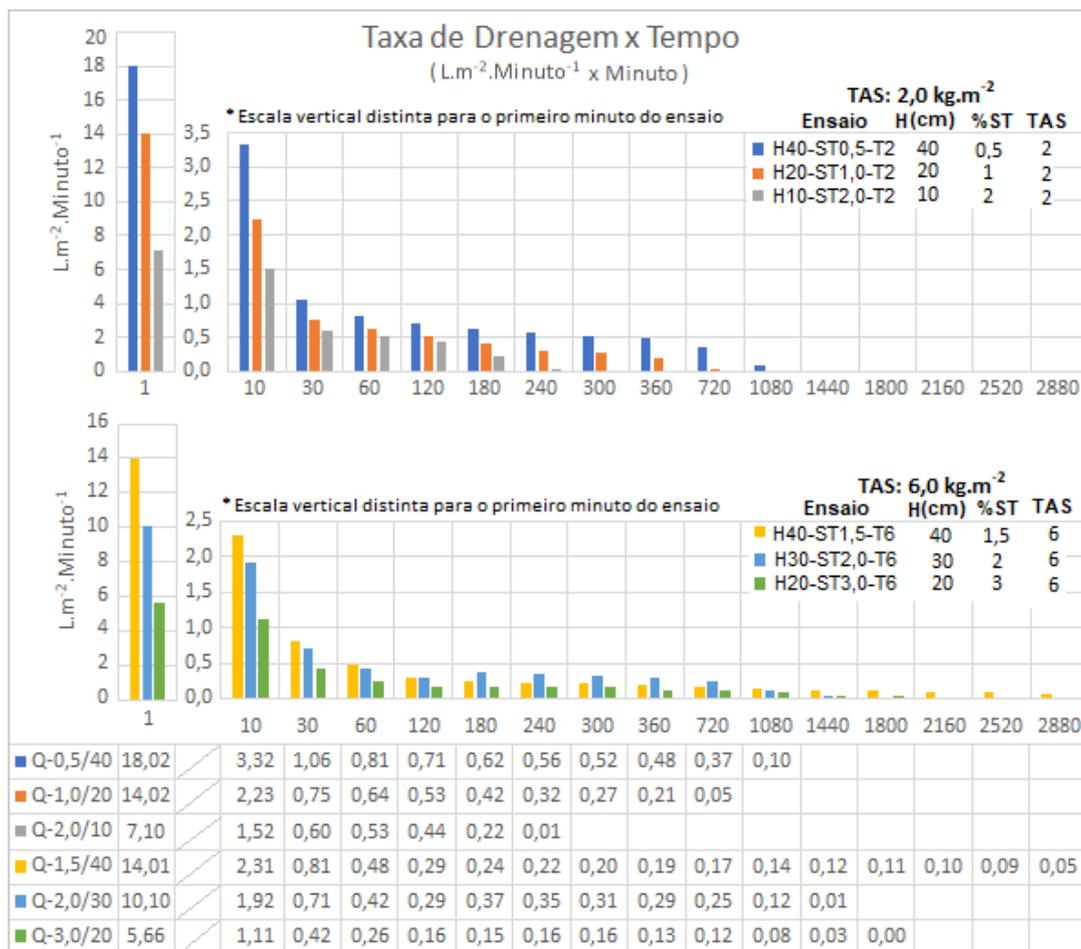


Figura 4 – Taxa de drenagem ao longo dos ensaios para leitos submetidos a mesma TAS.

Na Figura 4, compilou-se a vazão observada, representada a partir da Taxa de Drenagem, nos leitos submetidos a mesma TAS. Variou-se a carga hidráulica e o %ST do lodo aplicado e foram realizados três ensaios com TAS de 2,0 kg.m⁻² e três ensaios com TAS de 6,0 kg.m⁻².

Verificou-se que a taxa de drenagem é inversamente proporcional ao %ST, em que leitos com maiores %ST e menores alturas de lodo apresentaram menores vazões. Mesmo apresentando menores taxas de drenagem, observou-se que os leitos com maiores %ST e menores alturas terminaram suas drenagens mais rápido quando comparados com os leitos com menores %ST e maior altura de camada de lodo inicial.

Na Figura 5 se pode observar a porcentagem do drenado com relação ao volume inicial de lodo, aplicado para os leitos submetidos a mesma altura inicial do resíduo de 20 cm e diferentes concentrações de sólidos. Barroso (2007) verificou que, quanto menor o teor de sólidos inicial do lodo bruto, maior é o volume de lodo drenado, e tal observação foi constatada nos ensaios realizados para esta pesquisa. Além disso, foi possível verificar que os leitos com menores %ST apresentaram porcentagens acumuladas de drenado com valores maiores para os primeiros minutos da drenagem. Verificou-se o valor de 95,43% de volume drenado para o leito com %ST de 0,5 e o valor de 74,9% para o leito com %ST de 3,0.

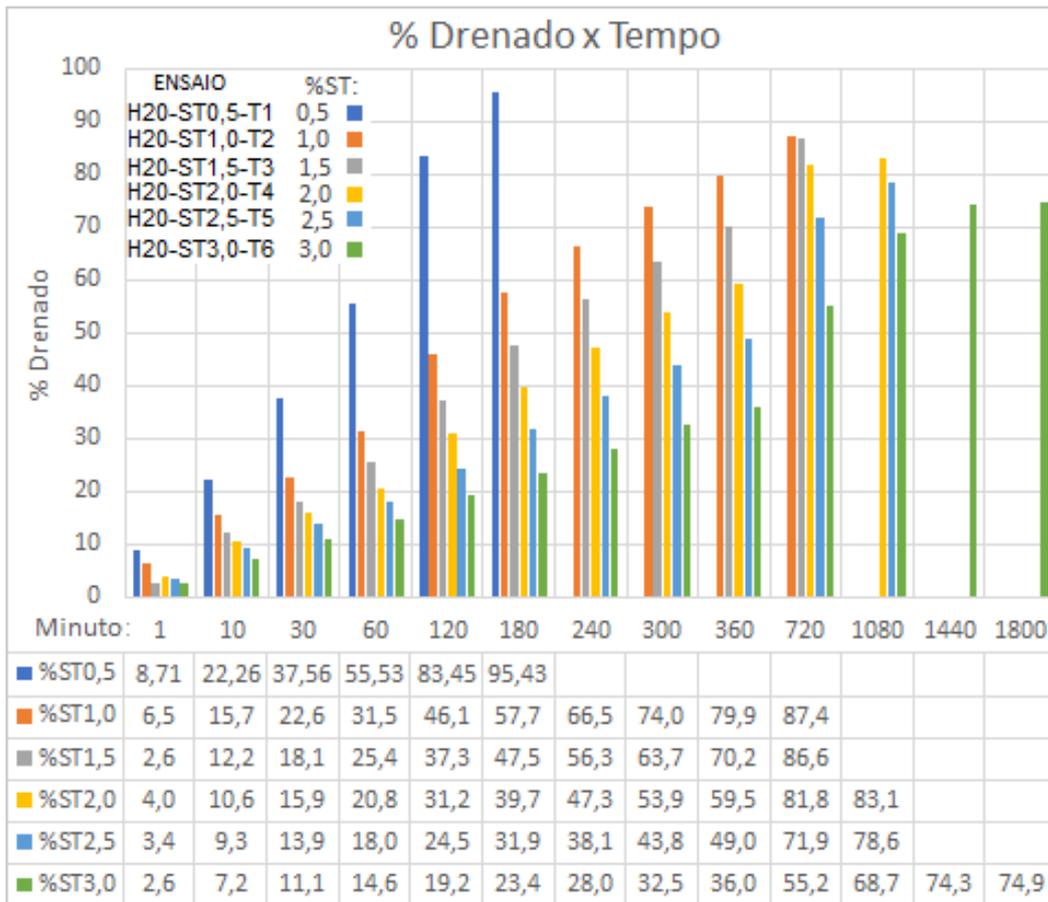


Figura 5 – Porcentagem drenada acumulada para os ensaios com a mesma altura de lodo.

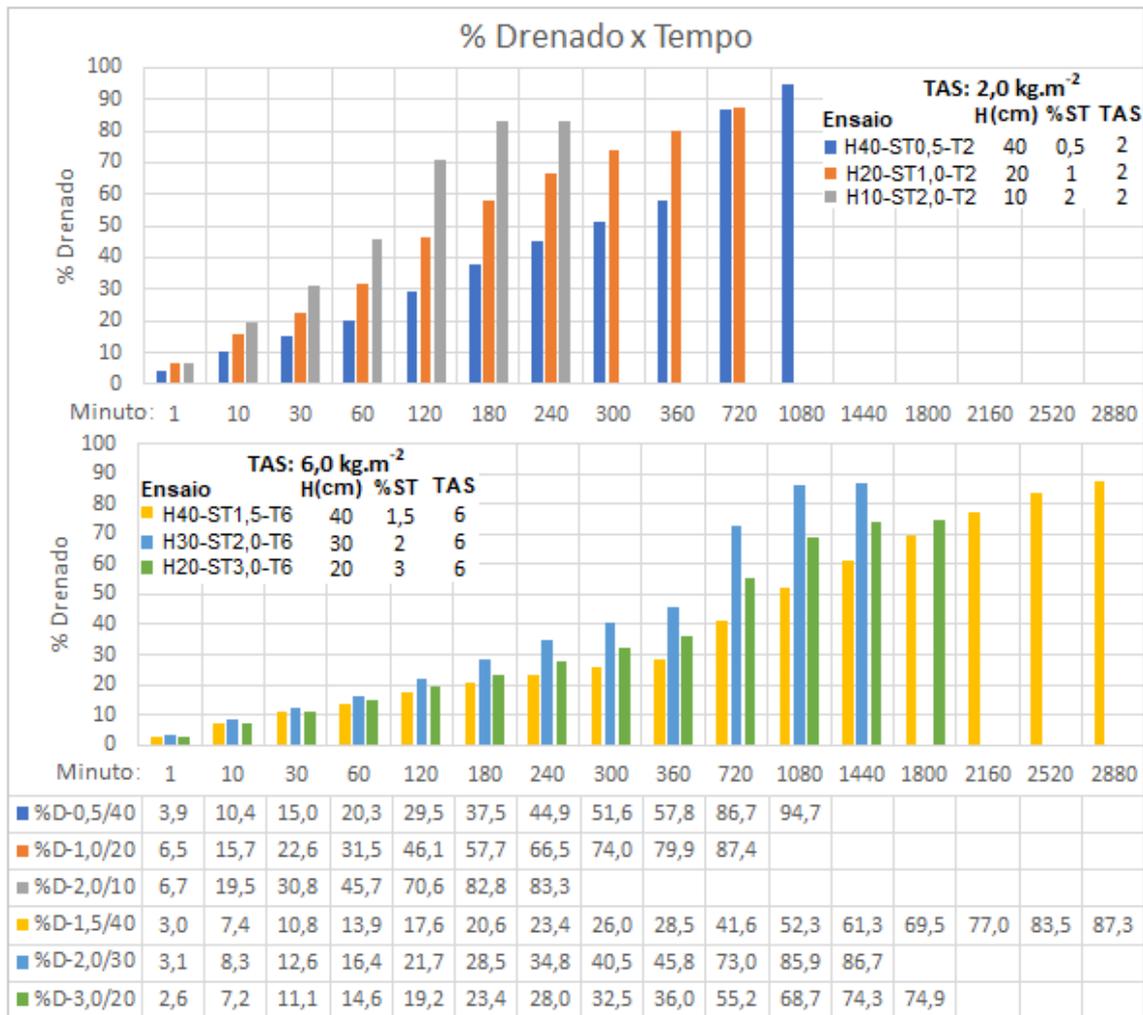


Figura 6 – Porcentagem drenada acumulada para os ensaios com mesmas TAS.

Na Figura 6, verifica-se a porcentagem drenada acumulada para três ensaios com TAS de 2,0 kg.m⁻² e três ensaios com TAS de 6,0 kg.m⁻². Verificou-se a mesma tendência observada na Figura 5, com leitos com menores %ST apresentando maiores porcentagens drenadas em relação ao volume de lodo aplicado. Isso evidenciou ainda mais a correlação entre o %ST e a porcentagem total do drenado após o término das vazões.

Nas Figuras 7 e 8, é possível observar a evolução dos valores para os parâmetros de turbidez e cor aparente nas amostras coletadas durante as dre-

nagens com diferentes %ST, submetidas a mesma carga hidráulica, para os três ensaios com TAS de 2,0 kg.m⁻², e para outros três ensaios com TAS de 6,0 kg.m⁻².

Na análise da Figura 7, e conforme observado em Santos (2012), Silveira (2012) e Reis (2011), existe uma tendência de decréscimo nos valores dos parâmetros cor aparente e turbidez do drenado ao longo do processo de desagamento por LD.

Pode-se observar que as amostras coletadas no tempo de um minuto geralmente apresentam

valores mais elevados de cor e turbidez, sendo que para os ensaios da Figura 7, o leito com %ST de 1,5 apresentou as maiores medições para esses parâmetros. Não foi possível observar correlação da %ST do lodo aplicado com os valores observados para os parâmetros de cor aparente e turbidez nos ensaios submetidos a mesma carga hidráulica, visto que os maiores valores desses fatores foram observados em leitos com %ST intermediárias. Já na Figura 8, é possível verificar que os três ensaios com TAS de 6,0 kg.m⁻² apresentaram valores maiores desses dados quando comparados com os três ensaios com TAS de 2,0 kg.m⁻².

Considerando apenas as porcentagens dos drenados com turbidez inferiores a 100 uT, foi possível observar que, em todos os ensaios, todo o líquido drenado a partir do primeiro minuto já apresentava qualidade compatível com corpos de água doce classe II. Para o parâmetro cor aparente, foi possível observar que apenas os ensaios com altura da camada inicial de lodo de 20 cm e

%ST de 0,5 e 1,0 apresentaram drenados com cor aparente inferior a 75 uH já no primeiro minuto de ensaio, sendo que todos os leitos alcançaram qualidade similar apenas a partir do 30º minuto. O percentual dos drenados com turbidez inferior a 100 uT e cor aparente inferior a 75 uH pode ser observado na Tabela 4.

Observando-se a Tabela 4 e visto que todo o drenado, a partir do primeiro, já apresentou turbidez inferior a 100 uT, pode-se afirmar que maiores percentuais do drenado com turbidez inferior a 100 uT estão associados a menores vazões iniciais apresentadas nas drenagens, com maiores %ST submetidas a mesma altura de aplicação de lodo. Já para os leitos com TAS de 2,0 kg.m⁻², as menores porcentagens de drenado com turbidez inferior a 100 uT estão associadas aos leitos com menores alturas de camada de lodo e, conseqüentemente, menores volumes de lodo aplicado, em que a vazão do primeiro minuto (não considerada no enquadramento) representou maiores frações no drenado total para esses leitos.

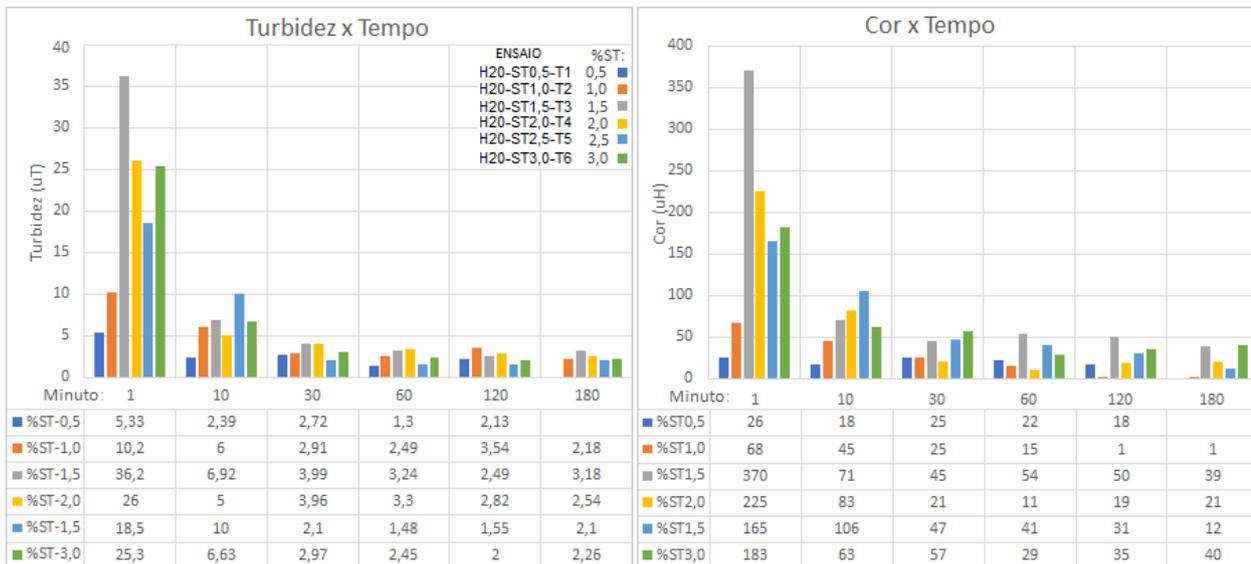


Figura 7 – Cor aparente e turbidez para os ensaios com mesma altura inicial de lodo.

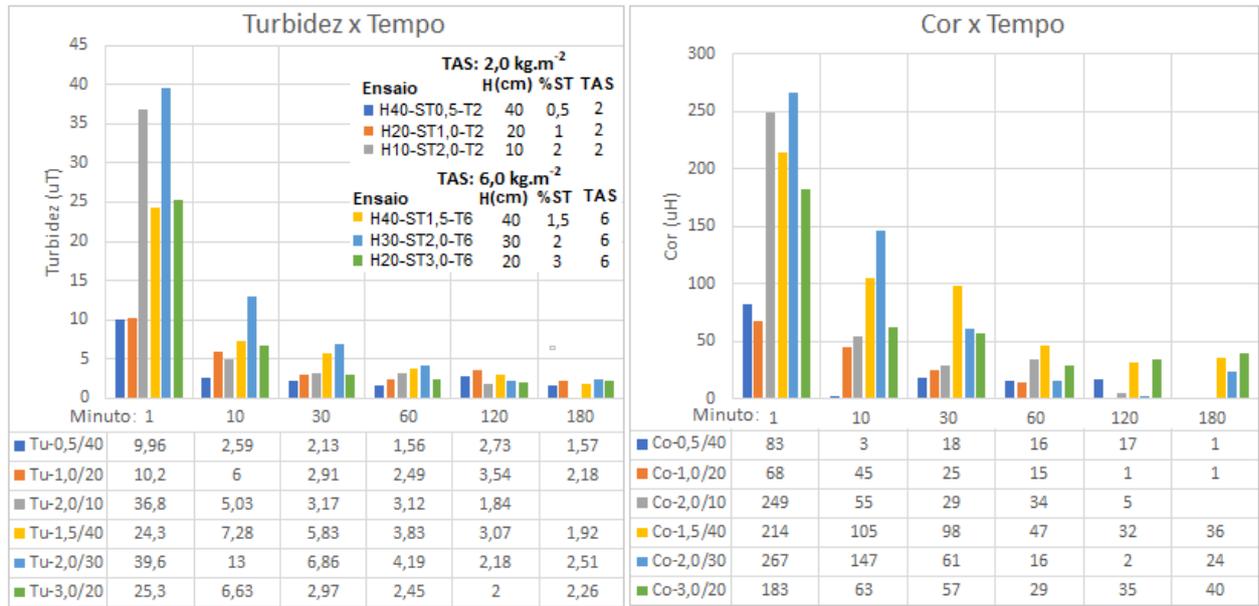


Figura 8– Cor aparente e turbidez para os ensaios com mesma TAS.

Observadas as porcentagens do drenado com cor aparente inferior a 75 uH, verifica-se uma certa aleatoriedade nos valores, o que indica que a qualidade do líquido drenado foi independente da %ST do lodo bruto.

Na Figura 9, pode-se observar a variação de pH dos drenados nos dez ensaios realizados nesta pesquisa. Verifica-se também que o ensaio H30-ST2,0-T6 apresentou os valores mais baixos de pH e o H20-ST3,0-T6 apresentou os valores mais elevados para esse parâmetro. Os demais ensaios não apresentaram grandes variações entre si, observando-se os

valores mínimo e máximo de 6,70 e 7,16. Durante as análises para cada ensaio, observou-se pequenas variações dessa medida. Barroso (2007) observou uma tendência de elevação nos valores de pH. Nos ensaios desta pesquisa, a maior amplitude foi observada no ensaio H20-ST2,5-T5, sendo que este também apresentou as maiores amplitudes nas análises dos outros parâmetros de qualidade do drenado. No ensaio H30-ST2,0-T6, que apresentou os valores mais baixos de pH, também foi observado valores iniciais mais altos para os parâmetros de cor e turbidez.

Tabela 4 – Resumo quantitativo e qualitativo das porcentagem de líquido drenado.

Ensaio	%ST Inicial	Altura da camada de lodo bruto (cm)	TAS (kg.m ⁻²)	% do Drenado Final	% do drenado com Turbidez inferior a 100uT	% do drenado com cor aparente inferior a 75uH
Ensaio com altura de lodo inicial de 20cm e diferentes %ST:						
H20-ST0,5-T1	0,5	20	1	95,4	90,9	90,9
H20-ST1,0-T2	1	20	2	87,4	93	92,6
H20-ST1,5-T3	1,5	20	3	86,6	97	86

continua...

Tabela 4 – Continuação...

Ensaio	%ST Inicial	Altura da camada de lodo bruto (cm)	TAS (kg.m ⁻²)	% do Drenado Final	% do drenado com Turbidez inferior a 100uT	% do drenado com cor aparente inferior a 75uH
Ensaio com altura de lodo inicial de 20cm e diferentes %ST:						
H20-ST2,0-T4	2	20	4	83,1	95	80,8
H20-ST2,5-T5	2,5	20	5	78,6	96	82,3
H20-ST3,0-T6	3	20	6	74,9	97	90,4
Ensaio com TAS de 2,0 kg.m⁻² e diferentes %ST:						
H40-ST0,5-T2	0,5	40	2	94,7	96	89
H20-ST1,0-T2	1	20	2	87,4	93	92,6
H10-ST2,0-T2	2	10	2	83,3	92	76,6
Ensaio com TAS de 6,0 kg.m⁻² e diferentes %ST:						
H40-ST1,5-T6	1,5	40	6	87,3	97	84,1
H30-ST2,0-T6	2	30	6	86,7	96	85,5
H20-ST3,0-T6	3	20	6	74,9	97	90,4

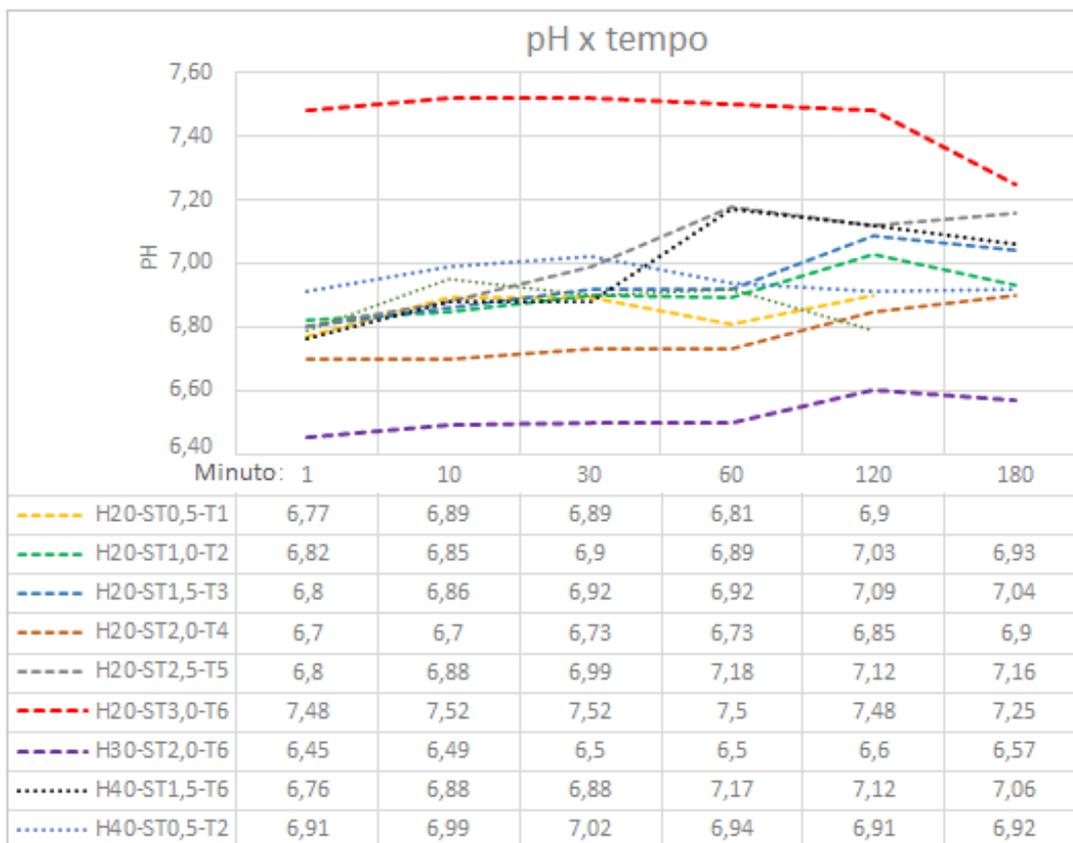


Figura 9 – Variação do pH para os ensaios.

4 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, conclui-se que leitos com maiores teor de sólidos (%ST) apresentaram menores vazões ao longo de toda a drenagem. Mesmo os leitos com maiores %ST apresentando menores vazões, terminaram as drenagens mais rápido quando comparados com ensaios submetidos a mesma TAS e, portanto, possibilitam desaguamentos com menor duração. Observando os ensaios com a mesma TAS de $2,0 \text{ kg.m}^{-2}$, o leito com %ST de 2,0 terminou a vazão cinco vezes mais rápido em relação ao leito com %ST de 0,5. Isso também permite inferir que há uma tendência de menor volume de água livre presente em lodo de ETA, com maior %ST quando comparado com lodo com menor %ST.

Foi possível observar que a porcentagem do drenado em relação ao volume de lodo aplicado é inversamente proporcional ao %ST, pois leitos com maiores %ST apresentaram menores porcentagens de drenado final. Isso era a hipótese inicial, visto que a retenção dos sólidos nos leitos é proporcional à concentração de sólidos do lodo.

Considerando os parâmetros de qualidade analisados, observou-se que os menores valores de cor aparente e turbidez foram observados nos ensaios com menores %ST. No entanto, os maiores valores foram observados em ensaios com %ST intermediários, evidenciando que não há uma relação direta entre a %ST e os valores de cor aparente e turbidez observados, o que indica que a qualidade do líquido drenado foi independente da %ST do lodo bruto.

Levando em conta a porcentagem dos drenados quanto ao parâmetro de turbidez, o fato deles já apresentarem valores baixos para esse parâmetro logo no primeiro minuto de ensaio fez com que as porcentagens de drenado com qualidade compatível ao enquadramento de corpos de água classe II fossem maiores para leitos com maiores %ST,

submetidos a mesma altura da camada de lodo inicial aplicada no leito.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa, Projeto Universal 01/2016 Faixa A, Processo Nº 424639/2016-5.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Resumo: Minatel MM, Achon CL; **Introdução:** Minatel MM; **Materiais e Métodos:** Minatel MM; **Resultados:** Minatel MM, Achon CL; **Conclusões:** Minatel MM, Achon CL, Reis RF.

7 REFERÊNCIAS

- ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Leito de Drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. **Engenharia Sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 54-62, 2008.
- ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S. Gestão de resíduos dos serviços de saneamento (água e esgoto), a lei 12.305/2010 e os desafios no Brasil. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2016, Bogotá, DC. **Anais [...]**. AIDIS, cd, I-Achon-Brasil-1, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BARROSO, M. M. **Influência das micro e macropropriedades dos lodos de estações de tratamento de águas no desaguamento por Leito de Drenagem**. 2007. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 3, 2010.
- CORDEIRO, J. S. Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). In: ANDREOLLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. p. 215-245.
- CORDEIRO, J. S. ; BARROSO, M. M. ; ACHON, C. L. Resíduos de estações de tratamento de água e a saúde ambiental. In: JORNADAS TÉCNICAS INTERNACIONAIS DE RESÍDUOS, 7., 2011, Porto. **Anais [...]**. Porto: JTIR, 2011.

CORDEIRO, J. S. *et al.* Evolução dos Leitos de Drenagem (LD) no Brasil – uma década de avanços. *In*: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 34., Monterrey, 2014. **Anais [...]**. Monterrey: AIDIS, 2014. p. 1-8.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005. v. 1-2.

DI BERNARDO, L., DI BERNARDO, A., CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: RiMa, 2002.

EATON, A. D. *et al.* (Ed.). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21st ed. Washington, DC: American Public Health Associations (APHA), 2005.

FONTANA, A. O. **Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros** – estudo de caso – ETA Cardoso. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

LUSTOSA, J. B. *et al.* Tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtro em estação de tratamento de água. **Revista DAE**, São Paulo, n. 206, p. 44-61, 2017.

MORTARA, F. C. **Utilização de leitos de drenagem no desaguamento de lodos anaeróbios**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

REALI, M. A. P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. *In*: REALI, M. A. P (Coord.). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 21-39.

REIS, R. F. **Estudo de influência de cobertura plástica na remoção de água de lodos de estações de tratamento de água em leitos de drenagem**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas da Terra) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

SANTOS, B. **Avaliação da aplicação do sistema de leito de drenagem com tratamento de lodo de estação de tratamento de água Bom Jardim em Uberlândia-MG**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharias) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

SILVEIRA, C. **Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem/secagem com manta geotêxtil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.