

Lodo de estação de tratamento de água como adsorvente: preparo e caracterização

Water treatment plant sludge as adsorbent: preparation and characterization

• **Data de entrada:**
28/07/2021

• **Data de aprovação:**
16/11/2021

Danubia Santiago Martins^{1*} | Bianca Ramos Estevam² | Ruan Larisson Toninato Vilela¹ | William Deodato Isique¹ | Rosane Freire Boina³

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2023.001>

ORCID ID

Martins DS  <https://orcid.org/0000-0002-6377-2994>

Estevam BR  <https://orcid.org/0000-0002-2595-5124>

Vilela RLT  <https://orcid.org/0000-0003-0270-8427>

Isique WD  <https://orcid.org/0000-0003-1054-7379>

Boina RF  <https://orcid.org/0000-0002-9903-5902>

Resumo

O Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA) é um resíduo descartado usualmente de forma irregular e sem tratamento adequado. Em busca de alternativas para esse problema, objetivou-se a produção e a caracterização de um material adsorvente (MA), e nesse processo o LETA, seco e pulverizado, foi ativado por processo físico e químico. A DRX mostrou a presença das fases caulinita e quartzo e, após a ativação, apenas o quartzo. Por MEV observou-se uma superfície rugosa com elevada área superficial e distribuição irregular do tamanho dos grânulos. A EDS e a EDX confirmaram composição por SiO_2 , Al_2O_3 e compostos de carbono. Por meio do estudo de pH_{PCZ} verificou-se que o valor do pH com carga neutra é 6,15, podendo ser manipulado para que a superfície fique carregada com cargas positivas ou negativas, promovendo a adsorção de compostos catiônicos e aniônicos. Conclui-se que as mudanças promovidas no LETA foram significativas para seu uso como material precursor de adsorvente.

Palavras-chave: LETA. Ácido Fosfórico. Adsorvente. Caracterização.

Abstract

Sludge from a Water Treatment Plant (SWTP) is a waste usually disposed of irregularly and without proper treatment. In search of alternatives to this problem, the objective was the production and characterization of an adsorbent material (AM), and in this process, the dry and pulverized SWTP was activated by physical and chemical process. XRD showed the presence of kaolinite and quartz phases; and, after activation, only the quartz. By SEM, a rough surface with high surface area and irregular granule size distribution was observed. EDS and EDX confirmed composition by SiO_2 , Al_2O_3 and carbon compounds. Through the study of pH_{PCZ} it was found that the pH value with neutral charge is 6.15, which can be manipulated so that the surface is charged with positive or negative charges, promoting the adsorption of cationic and anionic compounds. It is concluded that the changes promoted in SWTP were significant changes for its use as adsorbent precursor material.

Keywords: SWTP. Phosphoric Acid. Adsorbent. Characterization.

¹ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdade de Engenharia - Ilha Solteira - São Paulo - Brasil.

² Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) - Campinas - São Paulo - Brasil.

³ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente - São Paulo - Brasil.

* **Autora correspondente:** danubia.s.martins@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem necessário para a vida humana cotidiana. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2015 foi estimado que 5,3 bilhões de pessoas utilizaram serviços de água potável de gerenciamento seguro (OMS, 2017). Conforme descrito por Wasserman (2019), estima-se que para o consumo global divulgado pela OMS em 2017 foram produzidos 104 milhões de m³ de água para poder suprir a necessidade global. As fontes de água potável de gerenciamento seguro são as Estações de Tratamento de Água (ETA), que são responsáveis por deixar a água bruta em condições de ser consumida e utilizada pela população (OMS, 2017).

A água bruta, ao chegar à ETA, possui sólidos suspensos e dissolvidos, matéria orgânica (partículas coloidais e componentes que dão coloração à água) e inorgânica (silte, areia, argila e óxidos metálicos) originária do local de captação, além de organismos patogênicos (USEPA, 2011). Durante o processo de tratamento é necessária a utilização de coagulantes — geralmente Polícloreto de Alumínio e Sulfato de Alumínio — que auxiliam na desestabilização das partículas, promovendo a floculação do material sobrenadante e a decantação desses materiais (FILHO, 2017). Como produto residual do tratamento imposto às águas brutas, tem-se o Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA), o qual é gerado pela interação de todas as substâncias químicas aplicadas durante o tratamento: matéria orgânica, inorgânica e solo (DI BERNARDO, 2008).

Por ser um subproduto industrial e considerado resíduo sólido (ABNT NBR 10004, 2004), embora contenha aproximadamente 95% de água (MARGUTI, FILHO, PIVELI ; 2018), a sua disposição se torna complexa pela quantidade e composição. Os métodos tradicionais ou sistema naturais de adensamento do lodo são as lagoas de lodo e leito de secagem. Para a redução do volume de água, podem-se utilizar sistemas mecânicos:

filtro prensa, prensa desaguadora, centrífuga e filtros a vácuo, porém estes necessitam de alto custo para implantação, operação e manutenção, tornando-os, geralmente, inviáveis (SMIDERLE, 2016). Em contrapartida, os sistemas naturais requerem menores custos de implantação e execução, mas há uma necessidade de grandes áreas para ser eficiente (ACHON, BARROSO, CORDEIRO, 2008). Quanto à destinação, o LETA pode ser empregado em aterros sanitários, incinerado ou ser reutilizado dentro da própria ETA (MARGUTI, FILHO, PIVELI ; 2018; SMIDERLE, 2016)

Segundo a literatura (ABO-EL-ENEIN, et al., 2017; DI BERNARDO, 2008; TSUTIYA, HIRATA, 2001; RICHTER, 2001), o LETA é lançado frequentemente em corpos de água, mesmo no Brasil, onde essa prática é considerada crime ambiental (BRASIL, 1998; BRASIL, 1981). Como consequência dessa ação, pode-se citar o aumento da concentração de íons metálicos nos cursos d'água, limitação da concentração de carbono disponível para alimentação de macro invertebrados e o aumento da turbidez, reduzindo a produtividade do fitoplâncton (SMIDERLE, 2016). Di Bernardo (2008) cita que pela presença os íons de alumínio (Al³⁺), o LETA possui uma ligação forte com os fosfatos, afetando o ciclo do fósforo, que é o nutriente principal para a biota aquática.

No âmbito acadêmico, pesquisas mostram soluções para reutilização e agregação de valor econômico ao LETA, convertendo-o em matéria-prima para diversos tipos de materiais. Algumas aplicações realizadas são: setor ceramista (MYMRIM, et al. 2017); uso agrícola (YUEHAN, LEE, LEE, 2019; FERREIRA, et al. 2018; SILVA, MELO, TEIXEIRA, 2005), recuperação de coagulantes (AHMAD, AHMAD, ALAM, 2016), e adsorção (SISWOYO, et al. 2019).

O lodo de estação de tratamento de água (LETA) se mostra interessante na adsorção, pois se tra-

ta de um resíduo gerado de forma intermitente em abundância. Abo-El-Einen et al. (2017) obtiveram resultados excelentes empregando o lodo de ETA como precursor de material adsorvente. A ativação física dos materiais promoveu o aumento da área superficial e porosidade, possibilitando a adsorção dos íons metálicos, ampliando uma série de investigações.

Com o exposto, este trabalho se alinha aos estudos recentes no propósito de produzir um material adsorvente a partir do lodo de ETA. No presente estudo, serão empregados métodos físico e químico de ativação, e serão analisadas as mudanças provocadas no material em relação a sua superfície, direcionando seu emprego na separação de poluentes catiônicos e aniônicos de soluções aquosas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo de estação de tratamento de água (LETA) foi cedido pela empresa responsável pela captação, tratamento e distribuição da água de um município do oeste paulista. A estação opera por ciclo convencional e aplica policloreto de alumínio (PAC) como coagulante. As coletas de amostras de LETA foram realizadas por funcionários da companhia no momento da limpeza dos decantadores, e a coleta amostral foi composta. O material foi acondicionado em bombonas de polietileno e encaminhado ao laboratório para as análises e preparos iniciais.

2.1 Preparo e ativação

O LETA coletado foi submetido a adensamento gravitacional para a remoção da umidade e diminuição do volume. A remoção da umidade residual foi realizada em estufa de circulação, a 100°C, por aproximadamente 24h. Depois disso, o material foi destorroado manualmente e seguiu para um moinho de facas. Para uniformização, o

material foi peneirado em uma peneira com malha de 0,35mm (*mesh*). O produto resultante foi nomeado LETA *in natura* (Fig. 1).

No preparo do material adsorvente (MA), o LETA, seco e peneirado, passou por ativação física (térmica) e química (ácido fosfórico). O tratamento térmico foi realizado em forno mufla, em temperatura definida pela Análise Térmica, por um total de 1 hora. Em seguida, o material foi lavado abundantemente com água destilada para remoção de impurezas e desobstrução dos poros.

A ativação química foi realizada com solução de Ácido Fosfórico (H_3SO_4), uma vez que esse composto é considerado eficiente na modificação da área superficial dos adsorventes no processo de ativação (Z. AL-QODAH E SHAWABKAH, 2009). A dosagem do ativador foi adaptada de Moraes (2014), mantendo a proporção em 1g de ativador, 1g de material adsorvente, para cada 100mL de água deionizada. A mistura foi mantida sob agitação constante (240 rpm), por 30 minutos, em temperatura ambiente ($25^{\circ}C \pm 3^{\circ}C$). Depois disso, o material foi filtrado em filtro qualitativo e encaminhado novamente a estufa (100°C) até extinguir toda a umidade.

O excesso do ativador foi removido com água deionizada de forma abundante, seguido por secagem em estufa (100 °C) e enxague com solução de Ácido Clorídrico ($HCl - 0,5 \text{ mol. L}^{-1}$) para remoção de vestígios de impurezas, conforme recomendações de Nunes e Carvalho (2011). O produto seco resultante dos processos empregados foi nomeado material adsorvente com ácido fosfórico (MA_p). Posteriormente às etapas de preparo, o MA_p foi encaminhado para caracterização.

2.2 Caracterização Físico - Química do LETA e do MA_p

Primeiramente o lodo sem desague foi submetido à análise de composição e teor de sólidos,

resíduos fixos e resíduo volátil seguindo as recomendações da NBR 10664/1989 – Método J, Método L e Método M.

Após esse ensaio foi realizada a análise térmica (Termogravimétrica; Análise Térmica Diferencial e Calorimetria Exploratória Diferencial) no LETA *in natura*, com o objetivo de determinar a temperatura do tratamento térmico. Para a caracterização física e química no LETA *in natura* e no MAP foram realizadas as seguintes análises: microscopia eletrônica de varredura (MEV); espectroscopia de energia dispersiva (EDS); espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX); espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR); difração de raios X (DRX). Além destes, o MAP foi caracterizado quanto à carga neutra da superfície, de acordo com o estudo de Ponto de Carga Zero (PCZ).

A análise térmica foi realizada em um sistema de calorimetria exploratória DSC-TGA (TA INSTRUMENTS, SDT Q600). O aparelho operou com as seguintes condições: a amostra foi inserida em um cadinho de alumina e submetida a uma taxa de aquecimento de 10°C/min com rampa de aquecimento de 30°C até 900°C sob atmosfera de ar sintético com fluxo de 100mL/min.

A MEV foi realizada para verificar a morfologia da superfície do material adsorvente produzido e do lodo *in natura*. O equipamento utilizado foi um microscópio eletrônico de varredura acoplado a um detector de elétrons secundários (SE) em alto vácuo e temperatura (CARLS ZEISS, EVO LS15). O preparo das amostras ocorreu da seguinte forma: as amostras foram fixadas em fita condutora dupla face de carbono no *stub* (porta amostra); na sequência foi metalizada com uma fina camada de ouro utilizando o *Sputtering* (QUORUM, modelo Q 150R ES). Neste equipamento foi levantado EDS em que se obteve a caracterização multielementar identificando e

quantificando os elementos químicos presentes no LETA *in natura* e MA_p.

A FRX foi realizada em um espectrômetro (SHIMADZU, EDX-7000) com sensibilidade de leitura de Sódio ao Urânio; a amostra foi feita em temperatura ambiente (25°C ± 2°C) e atmosfera controlada. A análise de DRX foi realizada em um difratômetro com radiação em Cu K α ($\alpha = 1,5406 \text{ \AA}$), operando a uma voltagem em 40 kV e corrente em 30 mA. O *range* do ângulo de difração 2 θ (2 Theta) variou entre 5°-80°, o tempo de varredura de 2,00°/min, passos de 0,02° e o tempo por passo igual a 1,20s. As fendas de divergência e espalhamento utilizadas foram de 1,00° e a fenda de recebimento de 0,30 mm; por essa técnica foi possível identificar as fases cristalinas nas amostras, medindo espaçamento interplanar (MORAIS, 2014).

Para extrair informações sobre as principais ligações e os grupos funcionais, realizou-se a análise de FTIR. O procedimento foi realizado no espectrômetro de absorção no infravermelho com transformada de Fourier (BRUCKER, Vector22), com número de onda que percorre o intervalo de 600 – 400 cm⁻¹ com 4 cm⁻¹ de resolução espectral.

Por fim, no MA_p realizou-se a medida de ponto de carga zero, que é definido como o pH em que a superfície do sólido possui carga neutra (MIMURA et al., 2010). A metodologia empregada chama-se “experimento dos 11 pontos”, em que 0,04g dos materiais adsorventes foram postos em contato com 40 mL de solução aquosa, ajustadas a cada pH variando de 2 a 12. A leitura foi feita após 24h de contato e plotada em gráfico pH final versus pH inicial. Portanto, foi possível analisar a faixa em que o pH se estabiliza e se torna constante independentemente do pH adotado inicialmente, ou seja, a superfície se comportará como um tampão (FREITAS et al., 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de teor de sólidos

A partir dos dados da Tabela 1 é possível observar que o Lodo possui maior presença de frações de silte e argila, o que pode ser atribuído ao mês de coleta Janeiro/2019, que é um mês chuvoso. Com relação ao teor de sólidos foi possível avaliar quanto a composição percentual mássica geral, fração mineral e orgânica. O teor de sólidos totais indica indiretamente o teor de umidade, e com os dados tem-se pouca presença de sólidos (25,55%) e o teor de umidade em aproximadamente 74,45 %

Tabela 1 - Série Sólidos do Lodo de ETA

LODO DE ETA	Frações Granulométricas (%)			Sólidos (%)		
	Areia	Silte	Argila	Totais	Fixos	Voláteis
	17,19	36,51	46,30	25,55	80,71	19,29

3.2 Análise Térmica

A análise térmica do material *in natura* (Fig. 2) mostrou quatro fenômenos endotérmicos: entre 44° e 142° C, 142° e 211° C, 224° e 417° C, 417° e 654° C. Segundo Fungaro e Silva (2014), esses fenômenos estão relacionados inicialmente a perdas por evaporação de água (3,5%); o segun-

do pico é devido às perdas de água de hidratação (1,5%); o terceiro pico é referente à desidratação de hidróxidos e volatilização de matéria orgânica (9,5%); e o quarto pico está relacionado a mudanças na estrutura molecular e formação de algumas fases cristalinas (6,2%). A partir de 654° C, há estabilização e não há picos na curva DTG.

Na literatura, no processo de preparação do material adsorvente, Abo-El-Einen et al. (2017) carbonizaram o LETA nas temperaturas de 100°C, 400°C, 500°C, 600°C e 700 °C. Como resposta a esse procedimento, notaram que em 500°C o material apresentou características de composição mineral favorável para ocorrer adsorção como: Albita e Ilita que são comprovadamente eficazes como adsorvente (Dehmani et al. 2021; Es-sahbany et al. 2021). Deste modo, a temperatura para ativação térmica do LETA foi definida no presente estudo em 550° C (Fig. 1).

Durante o tratamento térmico houve perda de massa de aproximadamente 20% e a temperatura escolhida (550°) promoveu mudança na estrutura do LETA, mostrada pelo gráfico da análise espectrometria de difração de raios – X (DRX) (Fig. 4) sendo possível verificar a fase quartzo — que auxilia positivamente na adsorção, conforme explicado por Pereira et al. (2013).



Figura 1- LETA após tratamento térmico pronto para ser ativado quimicamente.

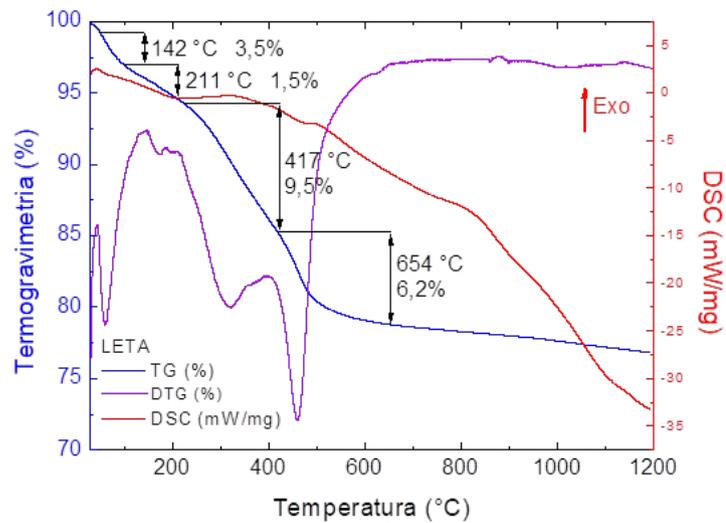


Figura 2 - Gráfico da Análise Térmica do LETA

3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

Pela Fig. 3(A) é possível observar o LETA *in natura*. A superfície é visualmente classificada com uma morfologia laminar, lisa e sem a presença de poro, porém é perceptível uma leve rugosidade. Após processo térmico, Fig. 3 (B), notou-se irregularidade das partículas, apresentando-se com superfície rugosa, o que pode facilitar a

adsorção das substâncias. Porém as mudanças causadas pelo processo térmico não foram tão significativas quanto à combinação tratamento térmico e ativação química, como observado na Fig. 3 (C). Por essa figura perceberam-se mudanças no formato e na dimensão dos grãos, formando porções aglomeradas e sobrepostas, com elevada rugosidade e área superficial.

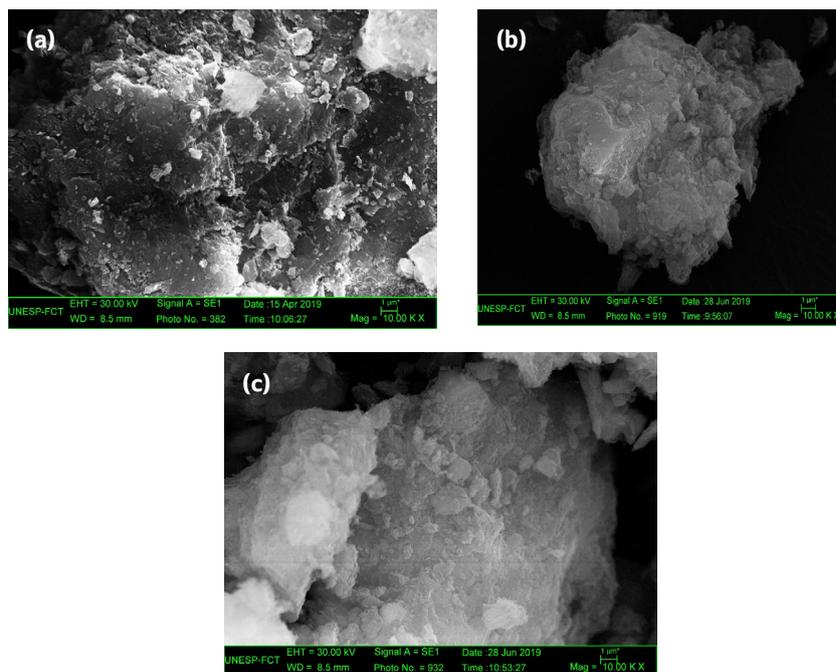


Figura 3 - A) LETA *in natura* (magnitude a 1 μm); B) LETA após tratamento térmico (magnitude a 1 μm); C) Adsorvente MA_p (magnitude a 1 μm)

3.4 Espectrometria de Difração de Raios – X (DRX)

No difratograma de Raios-X (Fig. 4), observou-se a presença das fases caulinita (JCPDS – 14-0164) na amostra do LETA. Porém no MAP (após o tratamento térmico e químico) aparece apenas o quartzo (JCPDS – 46-1045), indicando uma mudança na estrutura do material e comprovando

eficácia dos tratamentos realizados. A mudança ocorrida após o tratamento térmico indica que houve desidroxilação da caulinita dando origem à metacaulinita (COSTA; SOUZA, 2019). A presença de metacaulinita e quartzo enquadra-o como um argilomineral, conferindo ao material o seu potencial uso como adsorvente (COSTA, SOUZA, 2019; BRAGA, 2008; GUERRA et al., 2008).

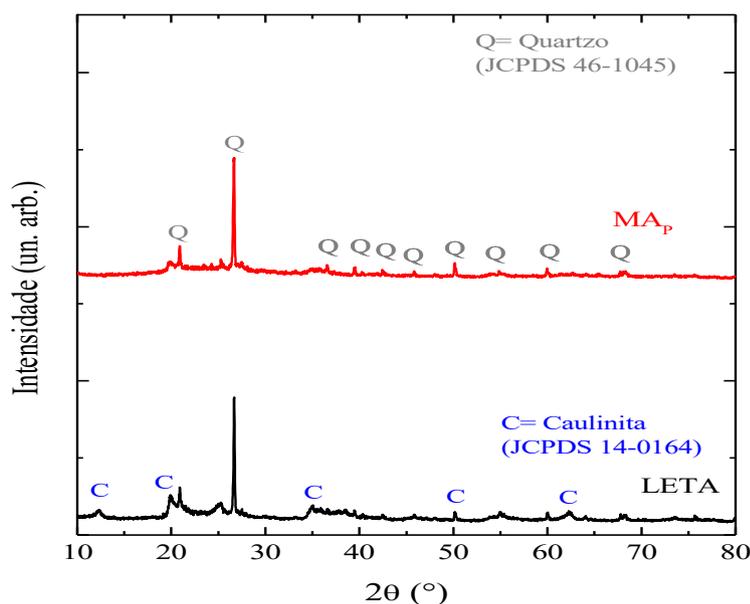


Figura 4 - Difratograma de Raio-X do LETA e MAP
Fonte: a Autora

3.5 Espectroscopia de Absorção na região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).

A Fig. 5 mostra os espectros de FTIR do LETA e do MAP. Nota-se pouca diferença dos picos e deslocamento de banda entre um material e outro. Porém é notável que a intensidade das bandas do LETA é menor em relação ao MAP. Esse comportamento é relacionado aos processos térmico e químico empregados, responsáveis por eliminar a matéria orgânica e promover mudanças estru-

turais no material. As bandas localizadas entre 1.170 cm^{-1} e 1.000 cm^{-1} são atribuídas ao modo vibracional do grupamento OH do composto mineral. Contudo, hidrocarbonetos e silicatos também absorvem nesta região. Entre 1.001 cm^{-1} e 1.024 cm^{-1} há um estiramento assimétrico Si-O-Si e Si-O-Al. A banda em 914 cm^{-1} pode ser atribuída ao alongamento das ligações Al-OH e das estruturas Si-O-C ou Si-O-Si. Entre 600 cm^{-1} e 800 cm^{-1} , há vibração das ligações Al-O-Si (FEL-FEL; LISDAT, 2011).

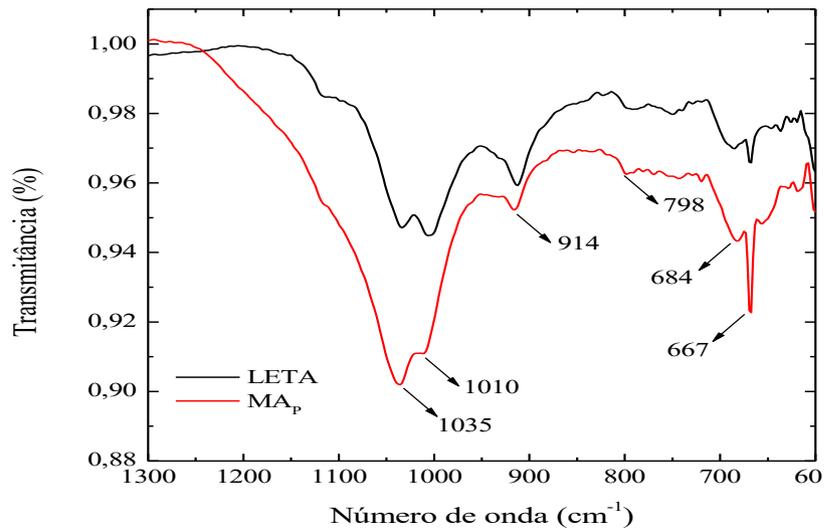


Figura 5 - Gráfico da análise de FTIR; LETA e MA_p

3.6 Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) e Espectrometria de Fluorescência de Raios – X (FRX)

Na análise de EDS (Tabela 2) são mostradas composições elementares do LETA e do MAP, com predominância dos seguintes elementos: oxigênio (O); carbono (C) (matéria orgânica); silício (SiO₂) (prove-

niente do leito dos rios); alumínio (Al) (proveniente da adição de policloreto de alumínio no tratamento na ETA); ferro (Fe) e 2% de outros elementos (Mg, P, K, Ca). Por FRX (Tabela 3), verificou-se a ausência de elementos químicos nocivos (Pb e Hg), indicando que o material não apresenta risco à saúde, podendo ser empregado com total segurança.

Tabela 2 - Resultados do EDS.

Elemento	MA _p		LETA	
	Massa %	Atom. %	Massa %	Atom. %
CK	13,75	19,59	15,07	21,18
OK	62,01	66,32	62,31	65,75
MgK	00,56	00,39	0,58	0,40
AlK	07,51	04,76	8,65	5,41
SiK	12,79	07,79	10,42	6,26
PK	00,07	00,04	-	-
KK	00,40	00,18	0,43	0,18
CaK	00,13	00,06	0,15	0,06
TiK	00,43	00,15	0,37	0,13
FeK	02,25	00,69	2,02	0,61
CuK	00,08	00,02	-	-

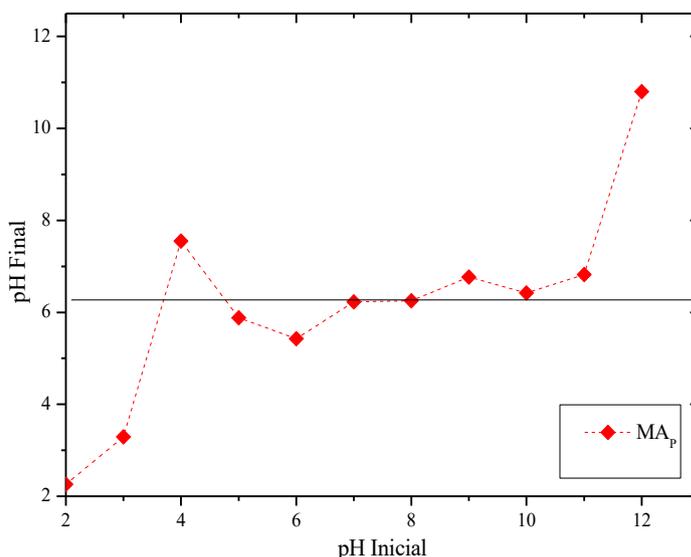
Tabela 3 - Resultados do FRX.

Elemento	MA _p
Si%	48,425
Al%	24,616
Fe%	17,192
K%	03,801
Ti%	03,077
Ca%	00,763
Mn%	00,472
S%	00,243
V%	-
Zr%	00,100
Cr%	00,067
Cu%	00,046
Zn%	00,032
Sr%	00,032
Y%	00,018
Nb%	00,021
Ni%	00,023
Ga%	00,012

3.7 Ponto de Carga Zero: pH_{PCZ}

O ensaio de pH_{PCZ} permitiu conhecer o comportamento da superfície do MAP, determinando o

pH em que a superfície permanece neutra. Segundo Freitas et al. (2015), conhecendo o pH_{PCZ} do adsorvente é possível prever a ionização dos grupos funcionais da superfície e determinar sua interação com a substância presente na solução. Outro ponto a ser destacado sobre este ensaio é que, se o pH da solução for superior ao pH_{PCZ} do material, a superfície do adsorvente será carregada negativamente e interagirá com espécies positivas adsorvendo cátion. Por outro lado, quando o pH da solução for inferior ao pH_{PCZ}, a superfície será carregada positivamente e interagirá com as espécies negativas, adsorvendo ânions (FREITAS et al., 2015). Conforme os dados obtidos no gráfico, foi possível definir o pH_{PCZ} do MAP em 6,15 sendo possível ajustá-lo para utilizar o MAP como adsorvente de Cátions e Ânions.

**Figura 6** - Resultado do ensaio de pH_{PCZ}

4 CONCLUSÃO

A análise conjunta das caracterizações realizadas no material permitiu observar as mudanças promovidas pela ativação física e química do LETA

produzindo o MAP. Essas mudanças foram importantes, visto que houve alteração na superfície e morfologia do LETA, as quais evidenciaram que a composição mineral do material possibilita

seu emprego como adsorvente. Outro ponto a se destacar foi a constatação de ausência de elementos químicos tóxicos. Por fim, com a medida do pHPCZC foi possível verificar em que faixa de pH pode-se trabalhar a solução para que o material tenha um bom desempenho como adsorvente. Portanto, o material produzido tem seu potencial de uso comprovado e o LETA provou ser eficiente como precursor de material adsorvente.

5 AGRADECIMENTO

À Capes pela bolsa de estudos e ao CNPq (426753/2018-6) pelo auxílio financeiro.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização, Metodologia, Investigação: Martins, D. S.; **Redação, Primeira versão:** Martins, D. S.; **Revisão & Edição:** Martins, D. S.; Vilela, R. T. L.; Estevam, B. R.; **Aquisição de Financiamento, Recursos, Supervisão:** Boina, R. F e Isique, W. D.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10664:** águas: determinação de resíduos (sólidos): método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1989

ABO-EL-ENEINA, S. A.; SHEBL, A.; EL-DAHAB, S. A. A.. Drinking water treatment sludge as an efficient adsorbent for heavy metals removal. **Applied Clay Science**, Cairo, Egito, n. 146, p.343-349, 2017.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Destinação e disposição final de lodo gerado em eta - Lei 12.305/2010. In: Assembleia Nacional da Assemae, 45., 2015, Poços de Caldas - Mg. **Anais...** . Poços de Caldas: Assemae, 2015. p. 1 - 8. Disponível em: <http://www.trabalhosassemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/103/151/t151t1e1_a2015.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2019.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Characterization of water treatment plant's sludge and is safe disposal options. **Procedia: Environmental Sciences**, India, v. 35, p.950-955, 2016.

AL-QODAH, Z. AND SHAWABKAH, R. Production and characterization of granular activated carbon from activated sludge. **Brazilian Journal of Chemical Engineering [online]**.

2009, v. 26, n. 1, pp. 127-136. Available from:<https://doi.org/10.1590/S0104-66322009000100012>>. Epub 10 Mar 2009. ISSN 1678-4383.

BRAGA, R.M. **Uso de argilominerais e diatomita como adsorvente de fenóis em águas produzidas na indústria de petróleo**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia do Petróleo). UFRN. 95p. 2008

COSTA, G.; SOUZA, C. 2019. Investigação do potencial catalítico do lodo de estação de tratamento de água. **Brazilian Journal of Development**. 5. 20020-20029. 10.34117/bjdv5n10-202.

DEHMANI, Y.; EL KHALKI, O. ; MEZOUAGANE, H., ABOURNADASSE, S.; Comparative study on adsorption of cationic dyes and phenol by natural clays. **Chemical Data Collections**, 2021, 100674, ISSN 2405-8300, <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2021.100674>.

DHARUPANEEDI, S. P.; NATARAJ, S. K; NADAGOUDA, M.; REDDY, K. R.; SHUKLA, S. S.; AMINABHAVI, T. M.; Membrane-based separation of potential emerging pollutants, **Separation and Purification Technology**, Volume 210, 2019, Pages 850-866, ISSN 1383-5866.

ES-SAHBANY, H. ; HSISSOU, R.; EL HACHIMI, M. L., ALLAOUI, M.; NKHILLI, S.; ELYOUBI, M. S. Investigation of the adsorption of heavy metals (Cu, Co, Ni and Pb) in treatment synthetic wastewater using natural clay as a potential adsorbent (Sale-Morocco), **Materials Today: Proceedings**, 2021, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1100>

FANGMEIER, M.; HOEHNE, L.. Avaliação de carvão ativado e de sílica como adsorventes para amostras com corantes e com sódio. **Revista Destaques Acadêmicos**, [s. L.], v. 4, n. 4, p.41-49, 2012.

FEIFEL, S. C.; LISDAT, F. Silica nanoparticles for the layer-by-layer assembly of fully electro-active cytochrome c multilayers. **Journal Of Nanobiotechnology**, [s. L.], v. 59, n. 9, p.1-12, 2011.

FEODOROV, Valentin. Modern technologies of treatment and stabilization for sewage sludge from water treatment plant. **Procedia: Agriculture and Agricultural Science**, Bucharest, Romania, n. 10, p.417-430, 2016.

FILHO, S. S. F. Tratamento de água : concepção, projeto e operação de estações de tratamento. - 1. ed. - Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2017. il. ; 27 cm. ISBN: 978-85-352-8740-0

FREITAS, F. B. A.; CÂMARA, M. Y. F; MARTINS, D. F. F. Determinação do PCZ de adsorventes naturais utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas. In: 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química. **Blucher Chemistry Proceedings**, V. 3, n. 1, 2015.

FUNGARO, D. A., SILVA, M. V.. Utilization of Water Treatment Plant Sludge and Coal Fly Ash in Brick manufacturing. **American Journal of Environmental Protection**, v. 2, No. 5, p.83-88, 2014.

GUERRA, D. L.; SOUSA, J. A.; AIROLDI, C.; VIANA, R. R. Avaliação da eficiência de caulinita intercalada com dimetilsulfóxido em adsorção com o Zn(II) em meio aquoso: cinética do processo de

adsorção. **Cerâmica [online]**. 2008, v. 54, n. 331 [Acessado 14 Junho 2021] , pp. 273-279. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0366-69132008000300002>>. Epub 06 Nov 2008. ISSN 1678-4553. <https://doi.org/10.1590/S0366-6913200800030000>

GUILARDUCI, V. V. D. S.; MESQUITA, J. P.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. D. F. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Química Nova [online]**. 2006, v. 29, n. 6 [Acessado 14 Junho 2021] , pp. 1226-1232. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000600015>>. E.pub 06 Set 2011. ISSN 1678-7064. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000600015>.

IFELEBUEGU, A.; Removal of Steroid Hormones by Activated Carbon Adsorption—Kinetic and Thermodynamic Studies. **Journal of Environmental Protection**. 3. 469-475. 10.4236/jep.2012.36057 (2012).

LEITE, J. G. **Aplicação de técnicas de espectroscopia FTIR e de Micro Espectroscopia Confocal Raman à Preservação do Patrimônio**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2008. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/58443>.

MIRMOHAMADSADEGHI, S. ; KAGHAZCHI, T. ; SOLEIMANI, M.; ASASIAN, N. An efficient method for clay modification and its application for phenol removal from wastewater, **Applied Clay Science**, Volumes 59–60, 2012, Pages 8-12, ISSN 0169-1317, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2012.02.016>.

MIMURA, A. M. S.; VIEIRA, T. V. D. A. ; MARTELLI P. B. , GORGULHO, H. F. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu²⁺, Al³⁺, Ni²⁺ e Zn²⁺. **Química Nova**. 2010;33(6):1279–1284. doi:10.1590/s0100-40422010000600012

MORAIS, E. D. **Produção do carvão ativado a partir do mesocarpo do coco-da-baía utilizando ácido fosfórico, acetato de sódio e hidróxido de potássio como ativantes**. 2014. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

NUNES, L.; CARVALHO, T.; **Efeito da lavagem ácida no carvão ativado utilizado na adsorção do ouro**. 2011. XXIV ENTMME – 2011. Salvador- BA. <http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/graduacao/ENG>

PERGHER, S.B.C; OLIVEIRA, L.C.A.; SMANIOTTO, A.; PETKOWICZ, D.I. Materiais magnéticos baseados em diferentes zeólitas para remoção de metais em água. **Química Nova**, v.28, p.751-755, 2005

Organização Mundial da Saúde (2017). Água potável - fatos importantes. Documento de recurso. **QUEM**. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/en/> . Acessado em 23 de outubro de 2017.

SACCHI, F. G.; SANTOS, L. C.; SANTOS, E. R.; PARIS, E. C. Obtenção de adsorvente magnético e avaliação frente à remoção de íons Pb²⁺ em meio aquoso. In: Jornada Científica - Embrapa São Carlos, 9., 2017, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste: Embrapa Instrumentação, 2017. p. 25. Editores técnicos: Alexandre Berndt, Ana Rita de Araujo Nogueira, Bianca Baccili Zanutto Vigna, Juliana Gonçalves Costa, Lea Chapaval, Manuel Antonio Chagas Jacinto, Patrícia Menezes Santos. (Embrapa Pecuária Sudeste, Documentos, 126).

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Abes, 2001. p. 1 - 9.

WASSERMAN, J. C, ALMEIDA, A. M, PEREZ, D.V. Avaliação da disseminação de contaminantes de pilhas de lodo, aplicando modelo de fracionamento geoquímico e atenuação de concentrações em um reservatório tropical. **Environ Monit Assess** 191, 426 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7507-z>

ZARGUI, M. H.; ROUDBARI, A.; JORFI, S.; JAARFARZADEH, S. Removal of Estrogen Hormones (17β-Estradiol and Estrone) from Aqueous Solutions Using Rice Husk Silica. **Chemical And Biochemical Engineering Quarterly**, s. L., v. 33, n. 2, p.281-293, 2019. 64-78, ISSN 0001-8686.