



## CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) COM TRATAMENTO TÉRMICO A 650°C, E SUAS APLICAÇÕES

SILVA, J.S.<sup>1</sup>, CHOQUE FERNANDEZ, O.J.<sup>2</sup>, COSTA, J.H.B.<sup>3</sup>, FIGUEIRA, B.A.<sup>4</sup>, LUZ, P. T. S.<sup>5</sup>,  
NOGUEIRA, M.H.P.<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), PPGEMAT. e-mail:  
soaresdilson@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), PPGEMAT.

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), PPGEMAT.

<sup>4</sup>Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Instituto de Engenharia e Geociências.

<sup>5</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), PPGEMAT.

<sup>6</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), PPGEMAT.

### RESUMO

A operação de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) gera um resíduo sólido chamado lodo, que tem sua composição formada por água, sólidos em suspensão, hidróxidos de alumínio e ferro (reagentes) e impurezas. O lodo pode ser utilizado como matéria prima na construção civil, porém é necessário estudar suas propriedades físico-químicas para encontrar uma destinação apropriada. O material lodo foi caracterizado in natura e calcinado a 650°C. As partículas finas do lodo estão intimamente agregadas e quando secas e calcinadas são muito coesas. O material está constituído por quartzo e caulinita associadas a muscovita e hematita e possui elevados teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presentes, típicos de solos lateríticos amazônicos. Os resultados das análises para o lodo da ETA são animadores, pois revelam um grande potencial desse resíduo na produção de agregados, tijolos, cerâmicas e cimento à medida que grande parte do lodo é constituído de aluminossilicato.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo, ETA, Construção civil, Aluminossilicato.

### ABSTRACT

Operation of a Water Treatment Plant (WTP) generates a solid residue called sludge, which has its composition consisting of water, suspended solids, aluminum and iron hydroxides (reactants) and impurities. Sludge can be used as raw material in construction but it is necessary to study its physicochemical properties to find an appropriate destination. The sludge material was characterized in natura and calcined. The fine particles of the sludge are intimately aggregated and when dried and calcined are very cohesive. The material is constituted by quartz and kaolinite associated with muscovite and hematite and has high SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents present in Amazonian lateritic soils. The results of the analyzes for the sludge from WTP are encouraging because they reveal a great potential of this residue in the production of aggregates, bricks, ceramics and cement as much of the sludge is composed of aluminosilicate.

**KEYWORDS:** Sludge, WTP, Construction, Aluminosilicate.

## 1. INTRODUÇÃO

As restrições regulamentares sobre a eliminação de resíduos tornaram-se cada vez mais severas nos últimos anos. Antes da década de 1960 havia pouca preocupação com a eliminação de resíduos de tratamento de água. Na maioria dos casos, os resíduos eram devolvidos para a água de recepção mais próxima, normalmente fontes de abastecimento de água. A Lei de Controle e Poluição da Água 1972 criada nos Estados Unidos, classificou os resíduos de instalações de tratamento de água como poluentes e os categorizou como resíduos industriais (HOWE, 2016).

Segundo Cordeiro (1999), tal preocupação só veio a se materializar no Brasil com a criação da NBR 10004/89, que classifica o lodo de ETA como um resíduo sólido, sendo classificado como resíduo Classe II A – Não inerte ( não perigoso) e portanto, devem ser tratados e dispostos dentro dos critérios estabelecidos por essa norma. A resolução CONAMA 357/05, alterada pelas Resoluções 410/09 e 430/11, faz a classificação de enquadramento dos corpos d'água, estabelecendo as condições e os padrões de lançamento de efluentes, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos, ou seja, o resíduo das Estações de Tratamento de Água (ETA) não podem ser lançados, sem tratamento prévio, pois todo o lodo produzido, contém grande concentrações de sólidos sedimentáveis.

Os sistemas de tratamento de água de abastecimento têm características similares a de qualquer indústria, onde uma determinada matéria-prima é trabalhada através de diversas operações e processos, resultando em um produto final. Estes sistemas podem, em diversas etapas, gerar resíduos, e estes podem possuir as diferenciadas características, relacionadas à matéria-prima, aos produtos químicos adicionados, ao layout da estação, às etapas definidas no projeto, às condições de operação entre outros (CORDEIRO, 1999).

A água bruta captada de corpos hídricos passa por um tratamento físico-químico a fim de torná-la própria para consumo humano. As estações de tratamento de água realizam este processo e como resultado tem-se água potável, onde o resíduo produzido nesse tratamento é denominado lodo. Este lodo é composto basicamente por água, sólidos em suspensão, hidróxidos de alumínio e ferro (reagentes) e impurezas (GONÇALVES et al., 2018). Os lodos devem ser dispostos de modo adequado, de forma a não causar danos ao meio ambiente e aos seres humanos.

Há varios estudos voltados para o reaproveitamento do lodo de ETA no Brasil, a maioria para construção civil, podendo ser citados: a influência do Metacaulim, como adição de alta eficiência em concretos de cimento Portland (RABELO, 2003); produção de cerâmica geopolimérica utilizando como matéria-prima lodo de estação de tratamento de água (ETA) (SANTOS et al., 2018); geopolímeros com a incorporação de lodo de ETA (ROSSETTO, 2017); viabilidade técnica do uso do lodo de ETA em argamassas cimentícias e geopoliméricas (FREITAS, 2018); entre outros. Neste trabalho pretende-se ampliar o conhecimento sobre a caracterização física e química do lodo de ETA, e propor algumas aplicações ambientalmente corretas para este resíduo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O lodo estudado neste trabalho tem como origem uma Estação de Tratamento de Água, localizada na cidade de Belém do Pará. Esse material foi depositado em um leito de secagem, por 30 dias, permanecendo ainda com pouca umidade.

Para a realização do ensaio da granulometria do material, a amostra foi dispersada com água suficiente e depois peneirada na malha 200 (0,075mm) para permitir que as

partículas sejam separadas, e logo após foram realizadas os ensaios de sedimentação, de acordo com a NBR 7181/84, na sequência foi realizado a secagem do lodo em estufa a 110°C por 24 h.

As amostras desse material foram coletadas para as análises de caracterização, onde o intuito é observar o comportamento do lodo em altas temperaturas, onde para isso foram calcinadas em 650°C em tempos de 1, 2 e 3 horas, sendo assim será possível observar a estabilidade ou desestruturação de fases.

Foram realizadas análises mineralógicas das amostras secas e calcinadas através da difração de raios-X (DRX), usando o difratômetro de Raios-X (DRX) D2 Phaser da Bruker, tubo de raios-X de Cu ( $K\alpha_1 = 1,5406 \text{ \AA}$ ) de 5 a  $75^\circ 2\theta$ . A identificação de fases foi realizada usando o software HighScore Plus e base de dados PDF-2 (Powder Diffraction File).

As análises químicas foram realizadas por fluorescência de raios-X (FRX) usando o equipamento da S2 Ranger da Bruker com tubo de Paládio, para essas análises foram confeccionadas pastilhas prensadas. A perda ao fogo foi determinada calcinando o material a 1100°C em mufla por 1 h.

A morfologia e microquímica do lodo foi realizada utilizando MEV – VEGA3 LMU da Tescan acoplada com Sistema de Energia Dispersiva SED.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios granulométricos mostraram que as frações retidas do lodo acima da peneira de 0,075mm apresentam frações retidas de resíduos orgânicos, porém um percentual de 99,00%, corresponde à fração passante. Durante a secagem do lodo, já podem ser observados uma forte coesão das partículas, por vezes mostrando características vidradas.

O resíduo de ETA está constituído principalmente por caulinita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), com quantidades minoritárias de muscovita ( $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Fig. 1).

Com relação à composição química do material, verificou-se teores elevados de  $\text{SiO}_2$  (27,06%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (21,38%) e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (13,20%) e teores relativamente baixos de  $\text{K}_2\text{O}$  (1,14%) e  $\text{MgO}$  (1,28) (Tab. 1). Já os teores de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{MnO}$  são muito inferiores a 1,0%, detectou-se, também, teores inferiores de  $\text{SO}_3$  (0,77%), e  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  (0,10%). O material volátil detectado pelo ensaio de perda ao fogo, corresponde a 33%. De fato,  $\text{SiO}_2$  está concentrado no quartzo e caulinita e,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na caulinita. Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são dos oxi-hidróxidos de ferro, como hematita e/ou goethita. A presença de  $\text{TiO}_2$  sugere fase de anatásio ou rutilo, não identificado por DRX. De acordo com Konhauser et al. (1995), as concentrações elevadas de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são típicos de materiais argilosos ou siltosos e são normais em solos amazônicos.

Os teores químicos do lodo estudado neste trabalho foram comparados com outros estudos (Tab. 1), e mostraram variações químicas, o que sugere que as amostras são dependentes da sazonalidade de coleta, pois na região da cidade de Belém do Pará, o primeiro semestre apresenta um maior nível de precipitações do que o segundo semestre de acordo com o site do Instituto Nacional de Meteorologia INMET (2019), significando que a ETA utiliza uma maior quantidade de produtos químicos para tratar água, pelo fato das chuvas aumentarem a quantidade de matéria orgânica e sólidos em suspensão na água.

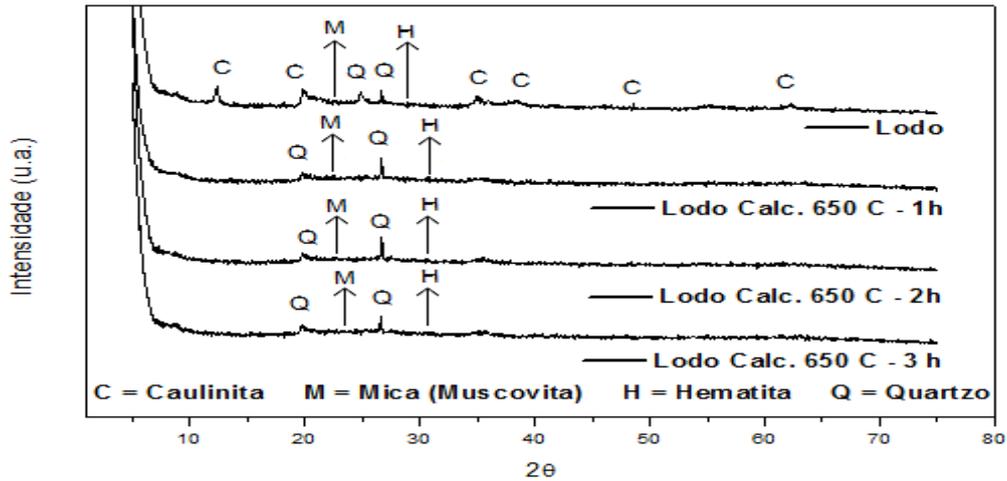


Figura 1. Difratoograma de raios X do lodo da ETA, mostrando as fases encontradas.

Tabela 1 . Composição química do lodo

Resultados (%)	Lodo In natura	Lodo 650°C	Santos (2018)*	Freitas (2018)**	Rosseto (2017) *
MgO	1,28	1,22	0,66	0,70	0,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,38	22,75	37,62	25,44	25,50
SiO <sub>2</sub>	27,06	27,67	39,94,	25,64,	28,40,
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,68	0,62	0,92	0,31	0,59
SO <sub>3</sub>	0,77	0,23	1,01	-	-
K <sub>2</sub> O	1,14	1,11	2,45	0,62	0,95
CaO	0,29	0,27	0,71	0,50	0,65
TiO <sub>2</sub>	0,68	0,65	1,57	0,52	0,65
MnO	0,10	0,09	-	0,11	0,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,20	12,06	14,08,	7,15,	8,85
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	0,09	-	-	-
P.F	32,98	32,98	-	37,85	32,10

P.F = perda ao fogo; \* Amostra de lodo in natura \*\* Amostra de lodo in natura, seco em estufa à 100 °C, sem ocorrência de calcinação

O material quando calcinado a uma temperatura de 650 °C durante 1, 2 e 3 horas mostrou-se sem variabilidade de fases nesses tempos, mostrando estabilidade das fases, excetuando a caulinita (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) onde nessa temperatura a mesma foi desestruturada formando metacaulinita, pois não são mais observados os picos 12,34 °, 19,88°, 34,98°, 38,39°, 55,61° e 62,26° referentes a 2θ típicos da caulinita. As fases quartzo, hematita e muscovita não sofreram modificação químicas.

A mineralogia confirma que o lodo tem composição predominante em aluminossilicatos semelhante aos obtidos por Santos et. al (2018), entretanto não foram identificados ou estão mascarados as fases como rutilo e cristobalita citados por esses autores. Como visto anteriormente, essas fases compostas por aluminossilicatos são típicas de solos lateríticos amazônicos

As micrografias do lodo da ETA (Fig. 2) obtidas por MEV, apresentam agregados de grãos irregulares e em tamanhos variados. Pode ser observado que sobre as partículas maiores existem partículas menores agregadas a superfície. As partículas agregadas são

consequência dos produtos químicos utilizados na etapa de aglutinação e coagulação como o Policloreto de Alumínio (PAC) e Polímero de Poliácridamida (catiônico). Os dados apresentados pela microanálise por Energia Dispersiva do lodo (Fig. 3), mostra a composição química do material e confirma os dados encontrados na análise química por FRX.

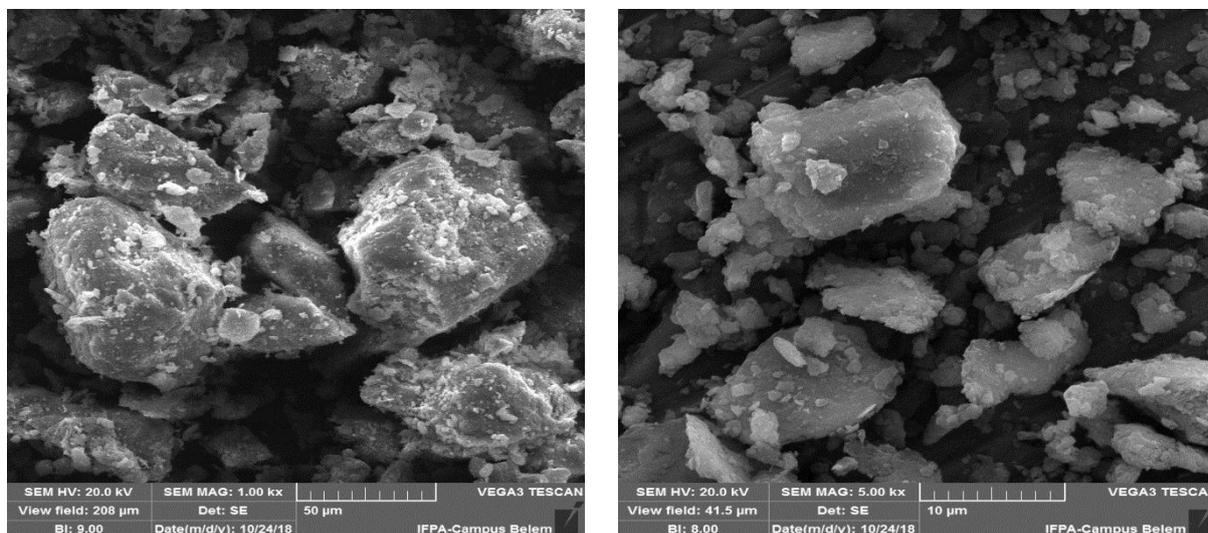


Figura 2. Micrografias do lodo da ETA, dos agregados de lodo in natura

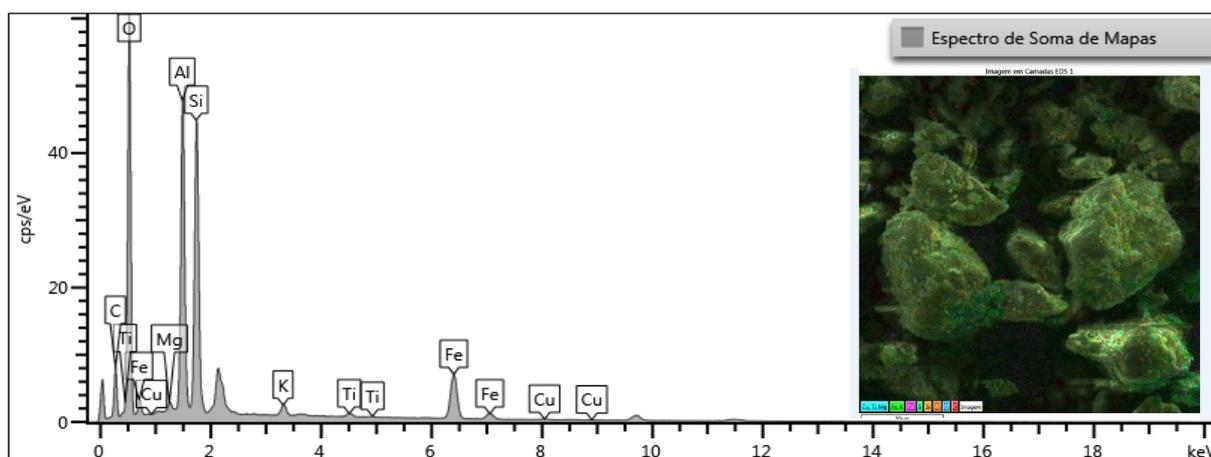


Figura 3. Microanálise por Energia Dispersiva (EDS) do lodo, mostrando a composição química pontual do lodo.

A utilização do lodo em construção civil como cerâmicas, geopolímeros e concretos dependem de estudos da sua granulometria, mineralogia, composição química e microestrutura.

Os lodos in natura podem ser usados para a confecção de adobes, pois não requerem de tratamento térmico, porém deve-se ter cuidados com a retração do material devido a elevada desidratação na secagem, bem como na perda ao fogo observadas neste trabalho.

O estudo preliminar de calcinação a 650°C mostrou formação de fases amorfas com a metacaulinita composto por sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Com esse tratamento térmico pode ser permitido uma destinação final do lodo, pois fases amorfas proporcionam elevada reatividade. A sílica e alumina dessas fases produzem alta reatividade com o hidróxido de cálcio presente no concreto (RABELLO, 2003), assim essas características físicas e químicas melhoram as propriedades mecânicas dos concretos. Também é recomendado sua utilização

nas mais diversas indústrias de refratários, cerâmicas, siderúrgicas, dentre outras, por ser um material rico em silicato de alumínio.

A presença de fases amorfas e micas no lodo tratado termicamente pode ser usado em cerâmicas e geopolímeros, devido à plasticidade, causada por essas fases. A plasticidade tem um papel importante na fabricação das cerâmicas, pois é um fator relacionado com a argila e o seu teor de umidade, como sua concentração na preparação da massa cerâmica, onde irá permitir sua manipulação para poder ser moldada ou deformadas quando submetidas a um esforço.

#### 4. CONCLUSÕES

O lodo estudado encontra-se fortemente agregado com predominância de quartzo e caulinita associadas a muscovita e hematita. Possui elevados teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . As fases argilosas e não argilosas do lodo são semelhantes aos dos solos lateríticos da região Amazônica, bem como dos compostos do tratamento a que é submetida a água.

O lodo calcinado em  $650^\circ\text{C}$  mostrou a desestruturação da fase caulinita em fase amorfa, essa nova fase é associada a mica e quartzo, podendo ser bem aproveitada para a fabricação de geopolímeros, cerâmicas e concretos, deste modo contribuindo para minimizar os impactos ambientais gerados com seu descarte ou disposição irregular.

#### 5. REFERENCIAS

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Acessado em junho de 2019, disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=agrometeorologia/balancoHidricoClimatico>.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA nº 357. Resolução CONAMA nº 357, de 13 de março de 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

CORDEIRO, J. S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETA, Rio de Janeiro – RJ: PROSAB. ABES, 1999.

FREITAS, Yasmin Ribeiro. Estudo do comportamento de argamassas cimentícias e geopoliméricas com a incorporação de resíduo de ETA, 2018.

GONÇALVES, F. S.; CHIARAMONTE, R.C.; MARILISE, G.; BREHM, F.A. Caracterização de lodos oriundos de estações de tratamento de água visando alternativas de reciclagem. In: 9º fórum internacional de resíduos sólidos. Porto Alegre- RS- Brasil, 2018.

HOWE, Kerry J., HAND, David W., CRITTENDEN, John C., TRUSSELL, R. Rhodes, TCHOBANOGLIOUS, George. Princípios de tratamento de água, São Paulo – SP: Cengage Learning, 2016.

KONHAUSER, K. O., FYFE, W. S., ZANG, W., BIRD, M. I. & KRONBERG, B. I. Advances in Amazonian biogeochemistry. SEIDL, P. R., GOTTLEIB, O. R. & KAPLAN, M. A.C. (eds.) Chemistry of the Amazon. Am. Chem. Soc. Symposium Series, 1995.

RABELLO, M. Estudo da Influência do MetacaulimHP como adição de alta eficiência em concretos de cimento Portland. São Paulo – SP, 2003. Disponível em: <http://www.metacaulim.com.br/pdf/metacaulim-hp-usp.pdf>

ROSSETTO, Matheus et al. Desenvolvimento de geopolímeros com a incorporação do lodo de estações de tratamento de água. 2017.

SANTOS, G. Z.; FILHO J. A. M. B.; MANZOTO, L. Proposta de uma cerâmica obtida por meio de geopolimerização de lodo de ETA calcinado. Revista Cerâmica, v.64, p. 276-283, 2018. Disponível em :< <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132018643702353>> Acesso em: 03 junho 2019.