CARACTERIZAÇÃO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA BOLONHA VISANDO SEU REAPROVEITAMENTO EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Isabella Parrião de Freitas Milhomem Fernandes [(1)]; João Victor Rodrigues Soares [(2)]; Waléria Carvalho Wanzeler [(3)]; Wallyson Santos Martins [(4)]; Bruna Baia da Cunha [(5)]

(1) Universidade Federal do Pará (UFPA) - bellaparriao@gmail.com; (2) Universidade Federal do Pará (UFPA) - jovirsoares@gmail.com; (3) Universidade Federal do Pará (UFPA) - waleriacwanzeler@gmail.com; (4) Universidade Federal do Pará (UFPA) - wallysonsmartins@gmail.com; (5) Universidade Federal do Pará (UFPA) - brunabcunha@ufpa.br

RESUMO

As Estações de Tratamento de Água geram um resíduo denominado de lodo de ETA ou resíduo de ETA (RETA). A maioria das ETA's lançam irregularmente estes resíduos diretamente nos corpos hídricos causando sérios prejuízos ao meio ambiente. Atualmente os órgãos ambientais estão exigindo que a fonte geradora defina alternativas de disposição sustentável para esses resíduos. O presente trabalho tem objetivo de caracterizar o lodo da ETA Bolonha, localizada em Belém-PA, com a finalidade de buscar alternativas sustentáveis para o seu reaproveitamento na cadeia produtiva de materiais de construção. Para isso foram realizados ensaios de análise mineralógica por difração de raio X (DRX), análise química por fluorescência de raio X (FRX) e análise termogravimétrica com perda ao fogo. Os resultados encontrados nas análises do resíduo do Lodo da ETA Bolonha demonstram a potencialidade de seu reaproveitamento como material de construção.

Palavras-chave: reaproveitamento de resíduo, resíduo caulinítico, resíduo de ETA.

CHARACTERIZATION OF WATER TREATMENT STATION BOLOGNA AIMING AT YOUR REHABILITATION IN CONSTRUCTION MATERIALS

ABSTRACT

Water Treatment Plants generate a residue called ETA sludge or ETA residue (RETA). Most ETAs irregularly release this waste directly into the water bodies causing serious damage to the environment. Currently, environmental agencies are demanding that the generating source define sustainable disposal alternatives for these wastes. The present work has the objective of characterizing sludge from ETA Bologna, located in Belém-PA, in order to find sustainable alternatives for its reuse in the production chain of construction materials. In order to do so, it was carried out tests of mineralogical analysis by X-ray diffraction (XRD), chemical analysis by X-ray fluorescence (FRX) and thermogravimetric analysis with fire loss. The results found in the analyzes of the residue of ETA Sludge Bologna demonstrate the potential of its reuse as a building material.

Key-words: reuse of waste, caulinotic residue, ETA residue.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento das populações nas cidades, cada vez mais tem se exigido o abastecimento de água com qualidade. As estações de tratamento de água (ETA's) têm o papel fundamental para conseguir essa qualidade, com características físico-químico e biológicas em concordância com os padrões de potabilidades exigido pela Portaria 518 do Ministério da Saúde (CORDEIRO, 1993)(1).

No sistema de tratamento da água de ciclo completo ocorrem os processos de coagulação, floculação, decantação, filtração, cloração e fluoretação. Para a retirada das impurezas contida na água bruta, são utilizados produtos químicos, ficando grande parte acumulado nos decantadores, e o restante nos filtros (SOUZA *et al.*, 2004)(2). Após um período de funcionamento, essas unidades devem ser lavadas para a retirada do acúmulo das impurezas.

Neste sistema, obtém-se água potável como produto final, e um subproduto é gerado na lavagem das unidades: o lodo de ETA, com grande porcentagem de umidade, que deve ser destinado adequadamente, conforme legislações vigentes (BARBOSA, 2000)(3). Entretanto, no país, quase todas as ETA's não possuem qualquer forma de tratamento para esses resíduos, pois desconhecem ou ignoram a quantidade gerada em uma ETA (SOUZA *et al.*, 2004)(4). Na maioria eles são lançados em corpos d'agua, causando efeitos ao meio e não cumprindo as legislações ambientais.

No Brasil, segundo Agostini *et al.* (2014)(5), a maior parte de lodo de ETA é disposta em cursos d'água. Moreira *et al*. (2009)(6), citado por Araújo (2017), relata que em termos de mensuração da produção do RETA e de seu descarte, estimam que, no Brasil, sejam despejadas 2.000 m³/dia de RETA diretamente nos cursos d'água sem qualquer tratamento.

De, aproximadamente, 7.500 ETA's no país, 70% destas lançam lodo nos rios, portanto os estudos sobre avaliação de tratamento e reaproveitamento do lodo e suas potencialidades são de fundamental importância para que a prática de disposição inadequada do lodo seja evitada, garantindo o gerenciamento dos resíduos de maneira apropriada, sem danos ambientais.

De acordo com Achon (2008)(7), Andrade (2014)(8), Katayama (2012)(9) e Ribeiro (2003)(10), a grande maioria das ETA's brasileiras lançam o lodo nos corpos d'água sem tratamento. Por consequência, gera-se um ciclo vicioso e contraditório no qual os rios são os provedores de água para as estações de tratamento e também, são receptores dos resíduos gerados pela própria ETA.

As características quali-quantitativas do lodo gerado podem variar conforme o gerenciamento do processo de tratamento, métodos de operação do sistema, periodicidade de limpeza dos

decantadores e filtros e da dosagem de produtos químicos que é função da variação temporal das características físico-químicas da água de captação, a qual está associada à formação geológica onde o manancial está inserido, ao uso e a ocupação do solo da área da bacia hidrográfica e ao ciclo hidrológico característico regional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A ETA destacada neste estudo é a Estação de Tratamento de Água do Bolonha (ETA Bolonha), situada na Avenida João Paulo II, em Belém do Pará. As captações do sistema produtor integrado Bolonha - Utinga estão localizadas no Lago Bolonha (interligado ao Lago Água Preta, alimentado pelo rio Guamá). A Figura 1 apresenta uma vista panorâmica da Estação de Tratamento de Água do Bolonha. Essa ETA é administrada pela Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA), apresenta tratamento de ciclo convencional com capacidade de vazão média de 6,4 m³/s e abastece cerca de 70% da Região Metropolitana de Belém (RMB). Cinco municípios compõem a região metropolitana: a capital Belém, Ananindeua, Benevides, Marituba e Santa Bárbara, concentrando cerca de 1/3 da população estadual (COSANPA, 2013)[11].

Figura 1 - Estação de Tratamento de Água Bolonha.



Aproximadamente 200 litros de lodo foram coletados do tanque de decantação da ETA Bolonha nos meses de novembro e dezembro de 2018. As coletas foram realizadas nos dias programados para ocorrerem a limpeza dos decantadores e filtros, vale ressaltar que os tanques eram previamente esvaziados, restando apenas o resíduo em seu interior. Posteriormente os resíduos foram

encaminhados ao Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA), onde foram armazenados em recipientes plásticos, para serem utilizados neste estudo.

A amostra do resíduo natural (bruto) apresenta-se na forma de lodo. O resíduo foi então homogeneizado e submetido a um processo de secagem em estufa à temperatura de 105 ± 5 °C por 72 horas para obtenção de constância da massa, e, posteriormente, submetido a um moinho de bolas horizontal durante 8 horas, no LEMAC do Laboratório de Engenharia Civil, do qual foi retirado com aspecto de pó. Foi empregado a proporção de 5 kg de bolas para 1 kg de lodo, sendo 2/3 de bolas pequenas e 1/3 de bolas grandes, segundo a metodologia empregada por Pouey (2006)[12]. Em seguida o resíduo seco foi destorroado e peneirado na peneira de fração 0,075mm, constituindo-se a amostra de trabalho.

Foi realizada a caracterização físico-química, mineralógica e térmica do resíduo do lodo proveniente da ETA Bolonha, tendo como proposta avaliar seu potencial de utilização em materiais de construção civil, neste sentido, a utilização do lodo para este fim pode ser uma das alternativas para a correta destinação e reaproveitamento do resíduo, sendo este o objeto principal deste estudo.

2.1. Composição Granulométrica à Laser

A caracterização da composição granulométrica, que tem por objetivo determinar a curva granulométrica e definir o diâmetro médio das partículas do lodo estudado, foi executada através do ensaio de Granulometria à Laser, realizado no Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações (LAMIGA) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

A granulometria da amostra foi realizada por difração à laser com auxílio do Granulômetro Fritsch, modelo Analysette 22 (MicroTec plus), que possui duas unidades de dispersão, uma trabalha a seco (Dry Dispersion Unit) e a outra trabalha com dispersão em água (Wet Dispersion Unit), a qual será utilizada.

Inicialmente foi colocado 5 gramas da amostra em um pote de polietileno, em seguida adicionou-se água destilada para auxiliar na desfloculação e então foi levada à análise, optou-se em não usar 0,9 g/L do dispersante (pirofosfato de sódio), uma vez que o mesmo é recomendado para argila e não se sabe exatamente o que ele pode causar na amostra em questão.

A aquisição e análise dos dados da distribuição granulométrica da amostra do resíduo do lodo foi feita com o software MaScontrol, Fritsch GmbH, versão 0.6.0.77.

2.2. Fluorescência de Raio X (FRX)

Quimicamente, foi verificado a concentração de óxidos pela análise da espectrometria de fluorescência de raio X, regida pela NBR 16137 (ABNT, 2016)[13]. O ensaio foi realizado no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR), na Universidade Federal do Paraná (UFPR), através do envio de uma amostra do lodo da ETA Bolonha previamente seca em estufa a (105 ± 5) °C, moída e passada na peneira de abertura 0,075 mm.

Segundo procedimentos do LAMIR, a composição química do lodo foi determinada em espectrômetro de fluorescência de raio X, modelo Axios Max, da marca PANalytical. O software utilizado para a interpretação dos dados foi a versão de modelo SuperQ5I. O método utilizado para determinação semi-quantitativa foi de parâmetros fundamentais (FP). O procedimento de preparação da amostra foi o de pastilha prensada, amostra e cera orgânica, ensaio de perda ao fogo a 1000 ºC e varredura química.

Caso os índices de SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 atendam às exigências químicas presentes na norma NBR 12653, e com os resultados positivos referente ao ensaio para verificação da pozolanicidade, o material poderá ser considerado potencialmente pozolânico.

2.3. Difração de Raios X (DRX)

A caracterização mineralógica foi ensaiada pela análise de difração de raios X, realizada no Laboratório de Física da Universidade Federal do Pará, por meio de difração de raios X (DRX), com o objetivo de identificar a composição do lodo, principalmente quanto à forma com que se apresenta, seja ela amorfa ou cristalina. Para a análise de DRX, o material foi quarteado e parte do pó analisado, os argilominerais foram identificados por comparação das distâncias interplanares.

As análises foram realizadas em difratômetro modelo D8 Advance da Bruker com geometria BraggBrentano e detector LynxEye, com tubo de raios-x de Cu com radiação Cu (Kα1=1,540598 Å), voltagem e corrente do tubo de, respectivamente, 40 kV e 40 mA. A coleta dos difratogramas foi realizada com faixa angular (°2θ) = 5 a 75°. Voltagem do tubo = 40 kV. Fenda do tipo divergente com 0,6mm, Soller com 2,5° e filtro Kβ de Ni. A coleta dos difratogramas foi realizada com passo angular de 0,02° e o tempo por passo 0,2s, com tempo total da coleta de 714,4s. A aquisição dos dados foi feita com o software DIFRRAC.COMMANDER, versão 2.2b, e o tratamento dos dados com o software X´PertHighScore Plus versão 2.2b, também da PANalytical.

Esta análise auxilia na identificação da estrutura cristalina do material, indicando sua fase mineralógica a partir de comparações entre os difratogramas obtidos do material com difratogramas de banco de dados internacionais. A análise possibilita indicar a reatividade química do material, caso apresente-se cristalino, possui baixa atividade, e quando amorfo, maior potencialidade do material a ser aplicado como pozolana.

2.4. Análise Termogravimétrica

A análise termogravimétrica (ATG) e a termogravimétrica derivada (DTG) foram realizadas no Laboratório de Óleos da Amazônia (LOA) do Parque de Ciência e Tecnologia Guamá da UFPA.

O ensaio foi operado sob taxa de aquecimento 10ºC/min, no intervalo entre a temperatura ambiente a 1000°C, sob atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 ml/min, no equipamento de análise térmica simultânea (STA) marca Shimadzu, modelo TDG – 60H, em cadinho aberto de alumina.

O software utilizado para o tratamento dos dados foi o TA Acquisition, Status – TA – 60Ch.2.DTG – 60H. Para o ensaio utilizou-se a massa inicial de aproximadamente 5 mg de lodo previamente seco e pulverizado.

Na análise termogravimétrica (TGA), as curvas permitem determinar a temperatura de decomposição e taxa de decomposição em função da temperatura do RETA. As curvas de TGA podem e devem ser derivadas registrando-se a termogravimetria derivada (DTG) que fornece informações da derivada primeira da variação da massa em relação ao tempo (dm/dt) ou em função da temperatura (dm/dT).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização Física

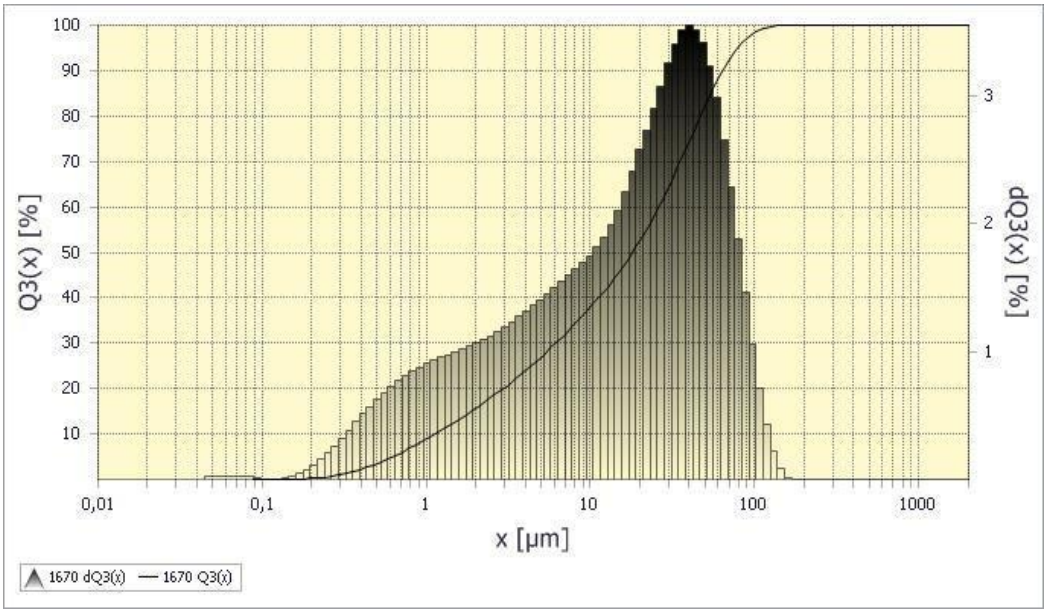
3.1.1. Granulometria à Laser

Na Figura 2, é possível verificar a curva de distribuição granulométrica da amostra do resíduo de lodo de ETA Bolonha.

A curva granulométrica do lodo contendo os diâmetros das suas partículas em função da porcentagem acumulada passante indica que D10 corresponde a 1,1µm, D50 a 14,8µm e D90 a 61,3µm. Os resultados indicam que o diâmetro do lodo se aproxima ao do cimento, que varia entre

10 e 15µm (NEVILLE, 1997)[14], indicando que ele não poderia ser utilizado como fíler, pois o material precisa ter granulometria inferior ao cimento.

Figura 2 - Análise de granulometria à laser da amostra do RETA Bolonha.



3.2. Caracterização Química

3.2.1. Fluorescência de Raio X (FRX)

A constituição química elementar do RETA é apresentada na Tabela 1. Os resultados obtidos nas análises realizadas no lodo da ETA Bolonha são discutidos na sequência.

Verificou-se perda ao fogo do lodo da ordem de 29,90% para a amostra. Esta perda ao fogo, deve-se potencialmente, à presença de águas intersticiais, hidroxilas dos argilominerais e dos hidróxidos existentes. Também, podem ter sido originados da volatização de componentes da matéria orgânica.

A somatória dos óxidos SiO_2 (27,9%), Al_2O_3 (24,7%) e Fe_2O_3 (13,5%) na matriz correspondeu a cerca de 66,1% dos componentes químicos totais, os valores estão próximos ao encontrado por Ramirez (2015)[15], que em sua primeira coleta obteve para os mesmos óxidos 65%. O autor afirma que estas concentrações, principalmente de SiO_2 e Al_2O_3 são esperadas devido à própria composição do material sedimentado no tratamento de água e do coagulante utilizado no processo de tratamento, que reflete diretamente na composição majoritária de Al.

Através da caracterização química infere-se que o lodo não pode ser classificado como adição mineral pozolânica, uma vez que a somatória de SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 e a perda ao fogo não atendem as exigências químicas da NBR 12653 (ABNT, 2014)[16]. A amostra não atendeu a somatória para classes N e C que solicita o mínimo de 70%, atendeu a somatória dos óxidos para a classe E de 50%, porém a perda ao fogo foi superior a exigida na norma que é de 10% para classe N e 6% para classes C e E.

Tabela 1 - Análise química por Fluorescência de Raio X (FRX).

Resíduo do lodo	
Composição Química	**% massa**
SiO_2	27,9
Al_2O_3	24,7
Fe_2O_3	13,5
K_2O	0,9
MgO	0,6
P_2O_5	0,6
TiO_2	0,6
SO_3	0,5
CaO	0,3
Perda ao fogo (P.F.)	29,90

3.3. Caracterização Mineralógica

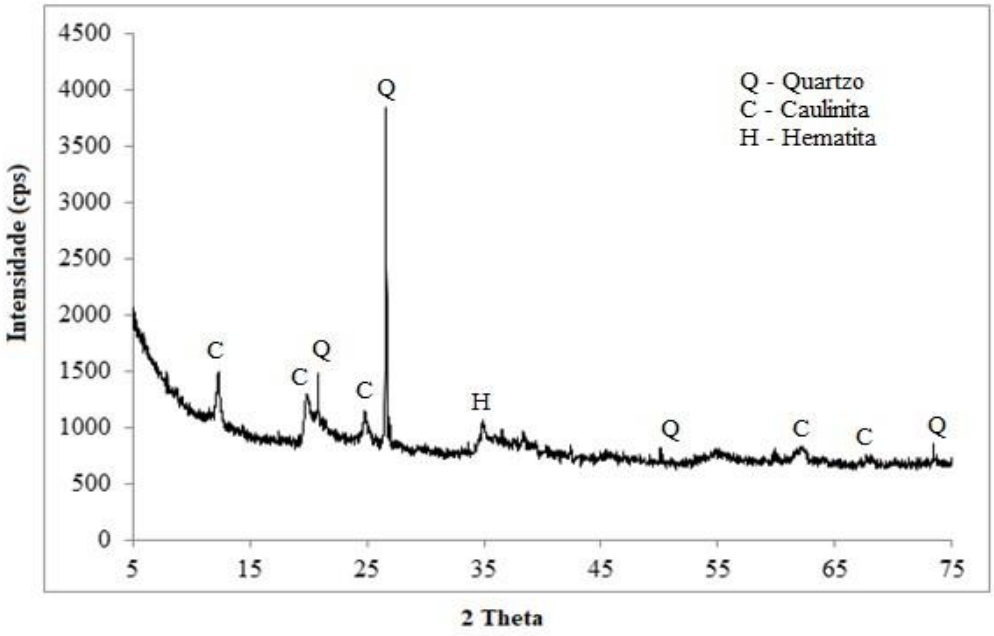
3.3.1. Difração de Raios X (DRX)

Na Figura 3 observa-se o difratograma do RETA, um gráfico do ângulo de espalhamento (2Ɵ) em função da intensidade dos picos de incidência, que indicam a presença predominante de alguns minerais na amostra, são eles: quartzo (SiO_2), caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), e hematita (Fe_2O_3), sendo esses resultados similares aos encontrados por Tartari *et al.* (2011)[17].

Pela análise mineralógica pode-se dizer que o lodo da ETA Bolonha é um material cristalino, uma vez que sua estrutura apresenta picos característicos de fase cristalina. Em seu estudo, Pinheiro, Estevão e Souza (2014)[18] também encontraram predominância de fase cristalina em sua amostra, sendo observados os seguintes picos de difração: caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) como um dos principais constituintes mineralógicos encontrados no lodo de ETA e hematita (Fe_2O_3).

Os elementos encontrados na amostra em maior quantidade, são o silício (Si), alumínio (Al) e ferro (Fe), também determinados pela análise de fluorescência de raio X. A presença desses elementos pode ser justificada pelo uso do coagulante de sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) no tratamento de água e pela própria composição da água, a qual contém materiais em suspensão, como por exemplo a areia e materiais argilosos. (PORTELLA et al, 2003)[19].

Figura 3 - Difratograma do resíduo de lodo da ETA Bolonha (DRX).



3.4. Caracterização Térmica

3.4.1. Análise Termogravimétrica

Para a análise da amostra de RETA, foi possível evidenciar quatro eventos térmicos, conforme apresentado na Figura 4. A Tabela 2 apresenta o comportamento térmico (ATD/TG) do resíduo de ETA Bolonha, bem como seus eventos térmicos e seus respectivos parâmetros.

Inicialmente observa-se um pico endotérmico, neste primeiro evento a temperatura variou de 43,58°C a 105,24°C, com perda de massa 6,836% correspondente a 0,598 mg. Esta perda está associada à saída de água adsorvida.

A segunda etapa ocorreu com temperatura entre 298,48°C e 363,17°C relativo a picos exotérmicos. Tem-se então a maior perda de massa na ordem de 16,907% o que corresponde a 1,479 mg. Esta perda está relacionada a desidroxilação de hidróxido e/ou a decomposição de matéria orgânica.

No terceiro evento, caracterizado por picos endotérmicos, a temperatura variou de 466,46°C a 512,44°C, onde foi observado uma perda de massa de 7,487% equivalente a 0,655 mg. Esta perda está relacionada à perda de hidroxilas, característico da desidroxilação da caulinita.

O quarto e último pico observado foi exotérmico, com uma temperatura entre 909°C e 925°C. A perda de massa foi constante e próxima a zero. Este pico pode ser devido à quebra da estrutura da metacaulinita para a formação de novas fases cristalinas tais como γ-Al_2O_3 e/ou mulita primária (SANTOS, 1989)[20].

Conforme observado nesta figura, a perda de massa total da amostra referente ao lodo da ETA Bolonha foi de 31,23%. Ao fazer um comparativo com a literatura, Silva e Fungaro (2011)[21] obtiveram perda em torno de 32% à temperatura de 906°C para o lodo de ETA de Terra Presta em São Paulo. Esta perda foi relacionada devido à eliminação de água adsorvida, hidroxilas, decomposição de alguns materiais constituintes e matéria orgânica (SANTOS, 1997)[22].

Figura 4 - Análise Térmica do lodo da ETA.

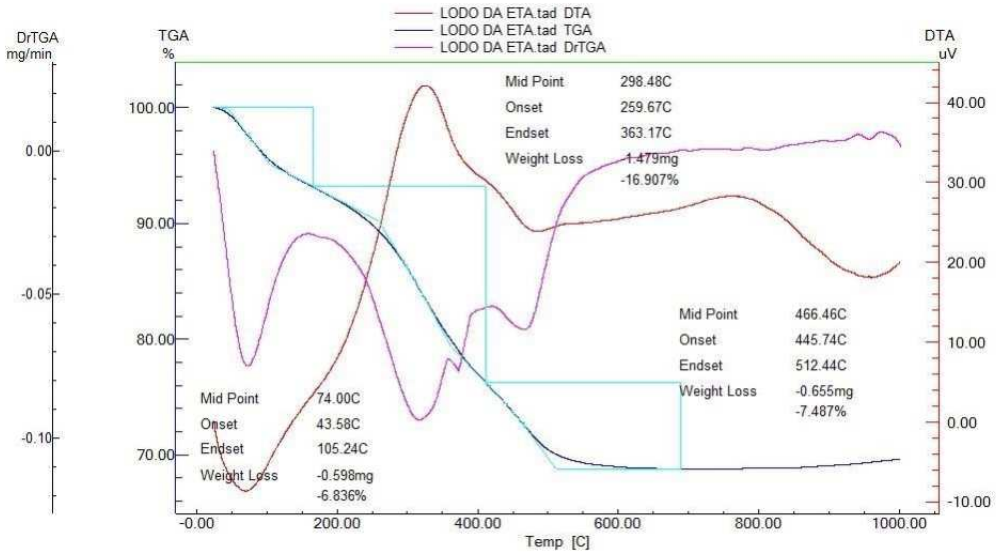


Tabela 2 - Análise térmica do lodo.

Parâmetros	Evento			
	Saída de Água Adsorvida	Desidroxilação de hidróxido e decomposição de matéria orgânica	Desidroxilação da caulinita	Formação de espinélios mulita
T (°C)	105,24	363,17	512,44	910
Perda de massa (%)	6,836	16,907	7,487	-

4. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que o lodo da ETA Bolonha se mostrou um material essencialmente fino, com diâmetro médio de 14,8µm e composto, em sua maioria, por matéria orgânica. Porém, é inviável a substituição parcial ao cimento, uma vez que o material deveria apresentar diâmetro inferior.

A composição química majoritária das matérias-primas do RETA é formada por SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3, entretanto em percentuais diferenciados, com 27,9%, 24,7% e 13,5%, respectivamente. Pode-se inferir que os resultados da análise de fluorescência de raio X indicam que sua reatividade não foi suficiente para atender aos requisitos mínimos estabelecidos pela norma referente a materiais pozolânicos.

Através da realização da análise mineralógica pelo difratograma do RETA (DRX), observou-se picos de difração, que indicam a presença predominante de quartzo (SiO_2), caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), e hematita (Fe_2O_3). O que permite concluir que o lodo da ETA Bolonha é um material cristalino, uma vez que sua estrutura apresenta picos característicos de fase cristalina.

A análise térmica sugere inclusão de uma etapa de calcinação prévia do lodo da ETA à uma temperatura de 500, 600, 700 e 800 ºC, o que deverá eliminar a matéria orgânica presente na amostra e tornando-o um material mais reativo, transformando a caulinita em metacaulinita, material essencialmente pozolânico, essa medida economizaria cimento na argamassa que atualmente é produzido de 1350 a 1400 ºC;

Considerando a enorme quantidade de resíduos provenientes do tratamento de águas residuais na região metropolitana de Belém e o excedente despejado no meio ambiente, é importante a continuação e disseminação do conhecimento sobre a utilização do lodo gerado por esse processo produtivo, cujo objetivo é buscar alternativas de aplicabilidade e interação deste resíduo na indústria da construção civil.

5. REFERÊNCIAS

1. CORDEIRO, **J.S. O problema dos lodos gerados nos decantadores em estações de tratamento de águas**. Tese (Doutorado em Escola de Engenharia de São Carlos) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.
2. SOUZA, F. G. C.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. **Estudo comparativo da geração de sólidos em estação de tratamento de água convencional de ciclo completo e ETA ciclo completo com decantador de alta taxa**. In: XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2004, San Ruan. Anais do XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2004.
3. BARBOSA, R. M. **Avaliação do impacto de efluentes (lodos) de ETA's à biótica aquática através de testes de toxidade**. Tese (Doutorado em Escola de Engenharia de São Carlos) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
4. SOUZA, F. G. C.; CORDEIRO, J. S. **Resíduos gerados em estação de tratamento de água com descargas diárias**. In: XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2004, San Juan. Anais do XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2004.
5. AGOSTINI, M.; KULAKOWSKI, M. P.; BREHM, F. A. **A influência da pluviometria na adição de lodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha**. In: Anais do Fórum Nacional de Resíduos Sólidos, 5., São Leopoldo, RS, 2014.
6. MOREIRA, R. C. A.; GUIMARÃES, E. M.; BOAVENTURA, G. R.; MOMESSO, A. L.; LIMA, G. L. **Estudos Geoquímico da Disposição de Logo de Estação de Tratamento de Água em Área Degradada**. Quim. Nova, Vol. 32, No. 8, 2085-2093, 2009.
7. ACHON, C. L. **Eco eficiência de sistemas de tratamento de água à luz dos conceitos da ISO 14.001**. 2008. 248 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
8. ANDRADE, C. F.; SILVA, C. M.; OLIVEIRA, F. C. **Gestão ambiental de saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas**. In: V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Anais. Belo Horizonte: IBEAS, p. 1-11, 2014.

9. KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: Uma análise crítica**. 144 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2014.
10. RIBEIRO, H. K. S. S. **Avaliação de desempenho ambiental em estações de tratamento de água**. 2003. 158 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF, 2003.
11. COSANPA – Companhia de Saneamento do Estado do Pará. **Relatório de Informações Gerenciais 2013**. Belém, 2013.
12. POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, 2006.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16137**: Ensaios não destrutivos - Identificação de materiais por teste por pontos, espectrometria por fluorescência de raios X e espectrometria por emissão óptica. 2016.
14. NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2ª ed., São Paulo, PINI, 1997.
15. RAMIREZ, Kleber Gomes et al. **Viabilidade do aproveitamento de resíduo de estação de tratamento de água (ETA) na confecção de concretos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
17. TARTARI, R.; DIAZ-MORA, N.; MODENES, A. N.; PIANARO, S. A. **Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha: Parte I: caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense**. Cerâmica, São Paulo, v. 57, n. 343, Sept. 2011.
18. PINHEIRO, B. C. A.; ESTEVÃO, G. M.; SOUZA, D. P. **Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: caracterização do lodo**. Revista Matéria, v. 19, n. 03, p. 204-211, 2014.
19. PORTELLA, K.F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A. BARON, O. **Caraterização físicoquímica do lodo centifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba.** Pr. 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL. Joinvile, 2003.

20. SANTOS, P.S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**, v. 1, 2 ed., São Paulo, EdigardBlucher Ltda, 1989.

21. SILVA, M. V.; FUNGARO, D. A. **Caracterização de lodo de estação de tratamento de água e cinzas de carvão visando sua utilização na manufatura de tijolo**. In: 3rd International Workshop Advances In Cleaner Production. São Paulo. 2011.

22. SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologias de Argilas**. 2a ed., PINI Ltda.: São Paulo, 1997, vol. 1.