

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO PARTE AGREGADA NA PRODUÇÃO DO CONCRETO

STUDY OF THE APPLICATION OF WASTE FROM WATER TREATMENT STATION AS AN AGGREGATE PART IN THE PRODUCTION OF CONCRETE

Leonardo Rocha Simão 1
Aymara Gracielly N. Colen 2
Fabrício Machado Silva 3

Resumo: A sustentabilidade ambiental é de extrema importância para o atual cenário mundial quanto para as gerações futuras. A construção civil, como setor bastante poluidor quanto explorador de recursos naturais, ao longo do tempo busca por novas maneiras de enfrentamento desse problema. O presente trabalho tem como objetivo, análise da adição do resíduo sólido Lodo produzido na Estação de Tratamento de Água (ETA) no município de Palmas-TO, na produção do concreto simples e armado. Visando assim, a substituição parcial do agregado miúdo (areia). Dessa forma, os impactos ambientais causados pela extração desse minério seriam reduzida. Assim como o descarte do Lodo em locais inapropriados como corpos hídricos e aterros sanitários. Para que o material pudesse ser utilizado nesse meio de produção, foi necessário à análise do comportamento mecânico deste material, para um posicionamento de como utilizá-lo para este fim. Após ser utilizado in natura no concreto, percebeu-se que o produto não apresentou características exigidas por norma que o concreto deve atender. Já quando o Lodo foi tratado (beneficiado) passando por processos como secagem em estufa, moagem e peneiramento, pode-se observar que a adição de 3% a 5% desse material beneficiado no concreto, manteve esse produto adequado para ser utilizado na construção civil, visto que sua resistência mecânica fica dentro dos padrões de Fck exigidos por norma.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Resíduos de ETA. Construção Civil.

Abstract: Environmental sustainability is extremely important for the current world scenario and for future generations. Civil construction, as a very polluting sector as well as an explorer of natural resources, over time seeks new ways to face this problem. The present work has as objective, analysis of the addition of the solid residue Sludge produced in the Water Treatment Station (ETA) in the municipality of Palmas-TO, in the production of simple and reinforced concrete. Thus aiming at the substitut partial of the fine aggregate (sand). In this way, the environmental impacts caused by the extraction of this ore would be reduced. As well as the disposal of sludge in inappropriate places such as water bodies and sanitary landfills. In order for the material to be used in this means of production, it was necessary to analyze the mechanical behavior of this material, for a position on how to use it for this purpose. After being used in natura in the concrete, it was noticed that the product did not present the characteristics required by the standard that the concrete must meet. When the sludge was treated (processed) through processes such as drying in an oven, grinding and sieving, it can be observed that the addition of 3% to 5% of this material benefited in the concrete, kept this product suitable for use in civil. Since its mechanical resistance is within the Fck standards required by the norm.

Keywords: Sustainability. WWTP Sludge. Concrete.

1- Discente do Curso de Engenharia Civil pela Faculdade ITOP. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7457932936322792>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1770-8542>. E-mail: leoacad.engcivil@gmail.com

2- Mestre em Recursos Energéticos Renováveis. Eng. Ambiental. Especialista Inovação Tecnológica. Professora e Pesquisadora do Curso de Engenharia Civil, Faculdade ITOP. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1142902896675039>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7173-4680>. E-mail: eng.colen@gmail.com

3- Doutor em Tecnologia Ambiental, Eng. Ambiental. Professor, Pesquisador e Coordenador do Curso de Engenharia Civil, Faculdade ITOP. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0308861058772993>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8963-6659>. E-mail: fabricao_amb@yahoo.com.br

Introdução

O esgotamento dos recursos naturais devido à grande produção em massa em todas as cadeias produtivas, têm levado os governos assim como entidades privadas de todo o mundo, a tomarem uma postura de prevenção que traga a minimização desse preocupante fator. Uma delas, é a sustentabilidade. Haja vista o crescimento da população de uma forma muito rápida e cada vez aumentando a demanda por matéria-prima e outros materiais.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2020) a população mundial era de 2,6 bilhões de pessoas, em 1950 chegou a 5 bilhões, em 1987 e, em 1999, 6 bilhões. Em outubro de 2011, a população mundial era de 7 bilhões. Isso mostra que apenas durante esse período a população quase triplicou em número. A ONU ainda afirma que a população mundial deverá aumentar em 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, passando dos atuais 7,7 bilhões para 9,7 bilhões em 2050, e, pode chegar a cerca de 11 bilhões em 2100. Isso leva também ao aumento de recursos naturais utilizados na construção civil para atender a demanda populacional. De acordo com (JOHN e AGOPYAN, 2013), citado por Fernandes. Amorim (2014, p. 80) “o setor da construção civil é responsável por 15 a 50% do consumo dos recursos naturais, e com certeza é o maior gerador de resíduos de toda a sociedade”.

Assim, este setor já vem trabalhando e buscando novas formas de sustentabilidade como a reutilização de seus resíduos sólidos como uma parte componente na produção de concreto e argamassas para serem utilizados nos próprios canteiros de obras. Outra forma que esse setor tem a contribuir para o desenvolvimento sustentável do planeta, é incorporar ao seu principal componente na construção, o concreto, outros tipos de materiais. Como exemplo os resíduos gerados nas Estações de tratamento de água (ETA), como o lodo. Pois de acordo com Cordeiro (1999 p. 12) “o crescimento populacional tem solicitado uma demanda sempre crescente de água com boa qualidade, obedecendo os padrões de potabilidade. Enquanto a geração de águas residuais sanitárias e industriais é cada dia maior”. Em algumas estações de tratamento de água os lodos gerados são dispostos em cursos de água e aterros sanitários. Isso ocasiona uma série de danos ao meio ambiente, dentre eles a redução do pH da água, assoreamento dos corpos de água, ocupação dos solos e aumento dos lixões.

Segundo a Política Brasileira de Resíduos Sólidos, o Lodo de ETA é classificado como um resíduo sólido, por isso necessita de destinação final ambientalmente adequada. (PNRS, 2010). A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, no art. 3º par. VII afirma que a destinação final ambientalmente adequada de resíduos inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

O atual Decreto Nº 10.936 de 12 de Janeiro de 2022, regulamenta a Lei acima sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Dentre alguns fatores aplicáveis à gestão e ao gerenciamento de resíduos sólidos estão: Não geração de resíduos, redução de resíduos sólidos, reutilização de resíduos sólidos, reciclagem de resíduos sólidos, tratamento de resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

O Lodo da ETA da concessionária BRK no município de Palmas-TO, assim como outros lodos que são gerados com esse mesmo modelo para tratamento de água, pode ser caracterizado como um fluido não-newtoniano, volumoso e tixotrópico, apresentando-se em estado gel quando em repouso e relativamente líquido quando agitado. PORTELLA, K.F et. Al (2003, p. 02)

Embora já existam algumas formas de reaproveitamento desse resíduo como componente de insumos na agricultura e utilização até mesmo na fabricação de blocos cerâmicos, dentre outros, é possível expandir ainda mais essa visão de sustentabilidade aproveitando esse resíduo em outras áreas. Portanto, o Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA), incorporado como agregado ao concreto, pode contribuir de forma significativa com o meio ambiente, bem como a redução de recursos financeiros, como na diminuição da exploração das jazidas naturais de minérios utilizados na construção, que demanda retirada de seu principal agregado miúdo hoje utilizado, a areia. Por isso, a utilização desse material

inerte passa a ganhar uma importante função como agregado para o concreto, ao invés de ser descartado e gerar impactos ao meio ambiente, passa a ganhar uma importante função como agregado para o concreto.

O objetivo da pesquisa é estudar a aplicação de Lodo de ETA, como parte componente do concreto a fim de ser utilizado na engenharia civil na construção de edifícios, casas, pisos, calçadas e peças de concreto utilizadas na pavimentação e drenagem urbana como meios fios entre outras edificações que utilizam concreto.

Metodologia

Dentre os métodos utilizados foi feito a revisão literária de trabalhos científicos como teses, artigos, livros, periódicos e publicações de sites, que tem relação com essa mesma linha de pesquisa, e também vídeos nas plataformas digitais.

A fim de aprofundar o conhecimento relacionado ao tema para atingir um quantitativo de informações que agreguem na pesquisa desenvolvida, para assim chegar a uma conclusão da possibilidade de empregabilidade desse resíduo na construção civil.

Desenvolvimento

O concreto é um dos produtos mais consumidos no mundo, perdendo apenas para a água (MEHTA & MONTEIRO, 2008), citado por RODRIGUES P.A. et al (2013, p. 02). O concreto é o segundo material mais consumido no mundo, perdendo apenas para a água, citada por Walger (2018). Isso só reforça a ideia de quão necessária e importante é o estudo de novas técnicas construtivas com uso desse material a partir da implementação de aditivos que podem ser recicláveis e reaproveitados, evitando assim o descarte indevido. Assim como energia sustentável busca novas fontes de se produzir fontes inesgotáveis de energia como a solar e a energia eólica, o concreto sustentável remete a medidas adotadas de se produzir um material que busque minimizar a exploração de recursos naturais, assim como utilizar em seu meio de produção um material descartável que passa entram a ter utilidade.

O concreto é um material de construção resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água, afirma ALMEIDA Luis Carlos de (2002, p. 03). Segundo Neville (1997) Citado por HOPPEN Cinthya (2004, p. 41). Material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita). O concreto pode também conter adições e aditivos químicos, com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas. BASTOS Paulo Sérgio (2019, p. 01).

O princípio básico das peças de concreto armado é combinar o concreto e o aço de maneira tal, que em uma mesma peça os esforços de tração sejam absorvidos pelo aço e os esforços de compressão de preferência pelo concreto. GUTFREIND Henrique et al (2014, p. 02).

O concreto armado nasceu da necessidade de criar-se um tipo de construção que, utilizando uma pedra artificial, apresentasse a durabilidade da pedra natural, tivesse a propriedade de ser fundida nas dimensões e formas desejadas e associando-se o aço a esta pedra artificial aproveitasse a alta resistência deste material, ao mesmo tempo que protegendo-o, aumentasse sua durabilidade GUTFREIND Henrique et al (2014, p. 02).

Uma das propriedades considerada mais importante na qualidade do concreto é a resistência, no entanto, em alguns casos práticos, a dureza e a permeabilidade podem ser mais interessantes. A resistência à compressão é sua principal característica. Um parâmetro muito importante a ser considerado no concreto é o fato de ser um material flexível e altamente moldável, o que facilita a possibilidade das mais variadas formas em uma edificação. Por isso

pode ser considerado o material mais utilizado no mundo. Pois segundo .BASTOS Paulo Sérgio (2019, p. 01):

Comparada a estruturas com outros materiais, a disponibilidade dos materiais constituintes (concreto e aço) e a facilidade de aplicação, explicam a larga utilização das estruturas de concreto, nos mais variados tipos de construção, como edifícios de pavimentos, pontes e viadutos, reservatórios, barragens, pisos industriais, pavimentos rodoviários e de aeroportos, paredes de contenção, obras portuárias, canais, etc.

Além disso, esse material quando junto com o aço, torna-se altamente resistente aos esforços de flexão. Pela praticidade de ser moldado em loco, permite ao construtor moldar de forma a adquirir a forma desejada. Por isso que é um material tão utilizado. Além disso, é super resistente ao fogo em caso de incêndio, já que com o passar dos tempos a tendência é só se tornar ainda mais resistente.

Exige um certo tempo de cura, que é o período em que depois de ser moldado in loco, deve repousar até que se adquira a consistência precisa para que assim o profissional possa dar continuidade na obra que dependem da estrutura formada. A norma brasileira recomenda que a cura do concreto seja feita pelo menos por sete dias, estendendo-se a até 14 dias, se for o caso. A temperatura para isso deve estar acima de 10°C (TECNOSIL, 2022). Já a NBR 14.931/2004, norma que trata da Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento, emitida pela ABNT, determina que, para elementos estruturais de superfície, como as lajes, a cura deve ocorrer até que o concreto usinado alcance a resistência à compressão (FCK) igual ou superior a 15 MPa. (TECNOSIL, 2022).

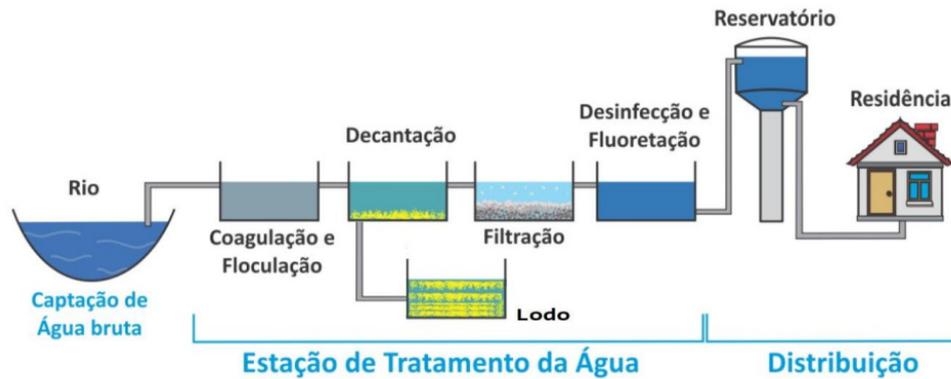
Isso pode ser considerado como um ponto negativo do concreto, pois o fato de ter que esperar esse período de cura para dar continuidade em uma obra, pode estender o cronograma da obra, assim como atrasá-la. O que confere aumento de custos a edificação, pois quanto maior o tempo de execução, maior serão as despesas demandadas. Por sua vez, o Lodo de ETA é um resíduo composto de sedimentos do solo local, certas substâncias dissolvidas e produtos químicos, tais como sais de ferro e/ou alumínio, adicionados à água bruta durante os processos realizados na ETA. SANTOS Gêssica Zila Batista dos et al. (2018, p. 02).

Para transformar a água bruta em água potável para consumo humano, as ETAs utilizam processos como coagulação, floculação, decantação e filtração, que formam resíduos que serão removidos, principalmente, nos decantadores, denominados lodo de ETA (TSUTIYA; HIRATA, 2001), apud HOPPEN Cinthya (2004, p. 04). Importante ressaltar que nem toda estação de tratamento de água utiliza todos esses processos para tornar a água potável. Sendo que em alguns casos podem ser utilizados sistemas de tratamento mais simplificados assim como sistemas mais completos. Sendo o fator determinante para escolha desse sistema, o estado de turbidez da água que encontra dentre outros parâmetros.

Segundo a concessionária de abastecimento do município de Palmas-TO, a água antes de ser destinada para consumo passa por diversas etapas nas Estações de Tratamento (ETA).

O tratamento de água começa no gradeamento onde são retiradas folhas, galhos e outros materiais. Após essa etapa é realizada a floculação, onde as partículas de impurezas se juntam e são removidas. Na decantação as partículas que sobraram afundam, depois é feita a filtração, onde a água passa por filtros para a retirada de partículas menores. Também são adicionados cloro e flúor para garantir a desinfecção total da água e a prevenção da cárie dentária, respectivamente. Após essas etapas, a água é distribuída para os reservatórios (BRK, 2022).

Figura 01. Representação esquemática de uma estação de tratamento de água



Fonte: (SANEP, 2021) citado por GOMES Carlos Eduardo Prates (2021, p. 11).

Estudos e análises sobre o Lodo de ETA reforçam ainda mais sua composição. Pois segundo Grandin, Além Sobrinho e Garcia Jr (1993) citado por HOPPEN Cinthya. (2004, p. 04) o lodo de ETA é constituído, basicamente, de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, tais como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areias, argila, siltes, cálcio, magnésio, ferro, manganês, etc. Diferente do lodo de esgoto o qual os estudos apontam que em sua totalidade concentra um grande percentual de material orgânico, o lodo de ETA possui cerca de apenas 6%. Sendo o restante composto por material inorgânico. Como o Lodo é gerado a partir da purificação da água, a concentração dos diferentes tipos de componentes químicos e naturais presentes pode variar, assim como varia a forma de tratamento de água nas ETA.

Figura 02. Lodo de ETA no tanque de decantação de uma Estação de Tratamento de Água



Fonte: (ACEMAX, 2021).

Silva, Bidone e Marques (2000) complementam a composição dos lodos com hidróxidos de alumínio em grande quantidade, provenientes da adição de produtos químicos e, em alguns casos, polímeros condicionantes também utilizados no processo.) Citado por HOPPEN Cinthya. De acordo com Richter (2001), citado por HOPPEN Cinthya (2004, p. 07).

O volume da produção do lodo varia entre 0,2% e 5% do volume total de água tratada pela ETA. Luciano (1998), afirma que este valor representa, em volume entre 0,3 a 1% da água tratada. Segundo Silva e Isaac (2002) a quantidade de lodo originária dos decantadores representa cerca de 60 a 95% da quantidade total de resíduos produzidos na ETA, sendo o restante oriundo do processo de filtração

A Tabela 01 mostra os percentuais dos componentes presentes nos lodos de ETA. HOPPEN Cinthya (2004, p. 10).

Tabela 01. Composição Típica do Lodo de ETA

Parâmetros	Lodo de ETA
% sólidos	6,6
Perda de MO por ignição	33
TOC (%)	3
NKT (%)	0,6
Relação C/N	7:1
NH ₃ – N (%)	0,05
P Total	0,2
Al (%)	7,1
Fe (%)	6,9
pH	6,8
CaCO ₃ (%)	10 – 25
Coliformes (#/gm)	<20
Cd Total (ppm)	1,5
Cu Total (ppm)	134
Ni Total (ppm)	55
Pb Total (ppm)	88
Zn Total (ppm)	308

Fonte: AWWA (1990) Citado por por HOPPEN Cinthya (2004)

Estudos sobre a caracterização do Lodo de ETA da Estação de Tratamento de Imperatriz Leopoldina em São Leopoldo/RS MARGEM Jean Igor (2008, p. 10) fez a observação que o Lodo dessa ETA tem aparência gelatinosa e contém altas concentrações de alumínio ou sais de ferro com misturas de materiais orgânicos, inorgânicos e precipitados de hidróxidos dos coagulantes. Na Tabela 01 mostra as características desse resíduo. A Tabela 02 mostra as características desse resíduo.

Tabela 02. Características do lodo da ETA Imperatriz Leopoldina de São Leopoldo, RS

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	LODO DA ETA (%)
SiO ₂	34.80
Al ₂ O ₃	22.30
TiO ₂	0.94
Fe ₂ O ₃	6.60
CaO	0.40
K ₂ O	0.57
Na ₂ O	0.23
MgO	0.69
MnO	0.17
S (ppm)	2990
FeO	2.90

Fonte: (SANTOS et al. 2001). Citado por MARGEM Jean Igor (2008, p. 10)

Em pesquisas no que tange caracterizar o lodo da ETA Tamanduá região Oeste do Paraná para sua utilização na produção de cerâmica vermelha estrutural e de artesanato TARTARI R. et al (2011, p. 289) obtiveram as seguintes características, conforme Quadro a seguir.

Quadro 1. Composição química do lodo de estação de tratamento de água e das argilas da região oeste do Paraná (% peso)

Matérias - primas	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	SO ₃	ZrO ₂	K ₂ O
Lodos - ETA Tamanduá	31,6	18,6	24,1	2,2	-	2,8	-	0,3

Fonte: TARTARI R. et al (2011, p. 290).

Os principais constituintes verificados em lodos de ETA são os óxidos de silício (Si), alumínio (Al) e ferro (Fe), e no que concerne à composição mineralógica, a caulinita, a illita, a hematita e o quartzo são as fases cristalinas comumente encontradas. Afirma SANTOS Gessica Zila Batista dos et al. (2018, p. 03). Com isso é correto afirmar que mesmo esses componentes químicos sendo os mais comuns utilizados, a incorporação de outros componentes pode variar de acordo do local de onde a água é captada, visto que em algumas circunstâncias pode depender de outros componentes para torná-la própria para o consumo.

Por se tratar de um material que é produzido durante o ano inteiro, foi realizado estudos sobre as condições físico-químicas existentes nesse material durante períodos distintos. Barbosa et. al. (2000), citado por HOPPEN Cinthya (2004, p. 09):

Realizaram estudos com lodo de ETAs situadas nas cidades de Araraquara e São Carlos, analisando pH, condutividade, OD, dureza, turbidez, DQO, série de sólidos, metais (Al, Cr, Fe, Ni, Pb, Cd, Zn, Mn, Cu) e nutrientes (N e P) nos períodos chuvoso e seco. Neste estudo, pôde ser observado que as variáveis que expressaram a influência do período com chuva foram: pH, turbidez, sólidos totais, sólidos suspensos, DQO, nitrogênio e fósforo. Os metais que apresentaram concentrações elevadas foram o alumínio, ferro e manganês, justificado pelo aumento da dosagem de coagulantes utilizado no tratamento, pela maior concentração de contaminantes e materiais provenientes da erosão.

Segundo ASTOLPHI Luiza Pinatti et al (2021, p. 61), ao observar a literatura nota-se a falta de padronização dos parâmetros analisados, dos quais apenas o teor de umidade se faz constante na maioria dos trabalhos, variando de 61,8% a 88,5%. Ou seja, esse material é caracterizado por ter uma taxa de umidade muito alta assim como o da matéria orgânica que o compõe. Como observado, esse material é composto por vários tipos de componentes químicos juntamente com as impurezas da água, formando então esse resíduo sólido. Geralmente seu destino final deverá ser o descarte em recursos hídricos ou aterros sanitários. Mas uma vez utilizado na reciclagem, como uso na construção civil, o descarte se faz desnecessário.

Andreoli (2001) citado por SANTANA Ismael Vânio Agostinho (2019, p. 02) indica que “a produção de lodo no Brasil está estimada entre 150 mil e 220 mil toneladas de matéria seca por ano. Esse estudo traz ainda um outro dado muito importante e até assustador correlação a esta pesquisa, é o que afirma Andreoli (2001) citado por SANTANA Ismael Vânio Agostinho (2019, p. 02):

Nos Estados Unidos, a produção de lodos no ano 2000 foi estimada em 7,1 milhões de toneladas, devendo chegar a 8,2 milhões em 2010 (EPA, 1999). Na Europa, a produção atual de 8,9 milhões de toneladas deverá alcançar 10,1 milhões já em 2005, decorrente dos grandes investimentos na expansão desses serviços (ANDREOLI, et al, 2001).

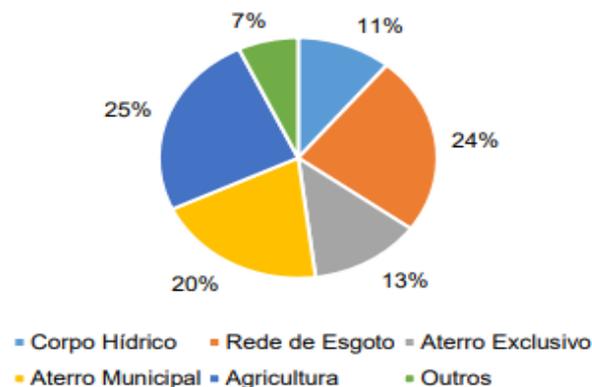
De acordo com Barroso e Cordeiro (2001), citado por HOPPEN Cinthya (2004, p. 06):

Os limites federais norte-americanos para lançamento de efluentes são definidos pela EPA (Environmental Protection Agency), cabendo aos escritórios estaduais a limitação específica para o lançamento de resíduos de ETAs, contemplando diretrizes de pré - tratamento e descargas de efluentes associados as unidades de tratamento de resíduos. Segundo Cordeiro (1993), estudos realizados nos EUA no ano de 1953 verificaram que 92,5% das ETAs dispunham seu lodo em cursos d'água, 3,5% em esgotos sanitários e 3% removiam a água em leitos de secagem. Ainda, em 1969, observou-se que 60% destas ETAs continuavam lançando seu lodo diretamente no rio. A partir dos anos 80 houve uma maior preocupação com o impacto ambiental causado pelo lançamento deste material no rio, fazendo com que os países desenvolvidos tentem encontrar soluções definitivas para os lodos.

Na Europa somente nos anos de 1970 a 1980 que começaram as definições dos requisitos mínimos para descarte do lodo de ETA. Já no Brasil somente a partir dos anos de 1970. Segundo (ANDREOLI, 2001) citado por SANTANA Ismael Vânio Agostinho (2019, p. 02), o aproveitamento de lodo como insumo na construção civil surgiu da dificuldade que principalmente os países desenvolvidos tinham de encontrar um destino final para o descarte desse material.

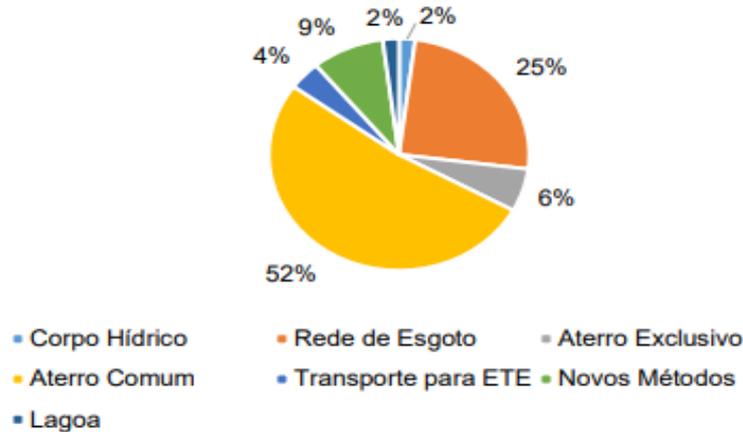
Existem diversas possibilidades de disposição do resíduo de ETA. Dentre elas, as mais usadas nos países desenvolvidos são disposição em aterro sanitário, aplicação controlada no solo e reciclagem (ANDREOLI, 2001) citado por SMIDERLE Juliana Jerônimo (2016, p. 22). Assim a Figura 2 apresenta os principais destinos dado ao lodo de ETAs nos Estados Unidos e a Figura 3 no Reino Unido.

Figura 2. Disposição final de lodo de ETAs nos Estados Unidos



Fonte: AWWARF (1999) apud Tsutiya e Hirata (2001) citado por SMIDERLE Juliana Jerônimo (2016)

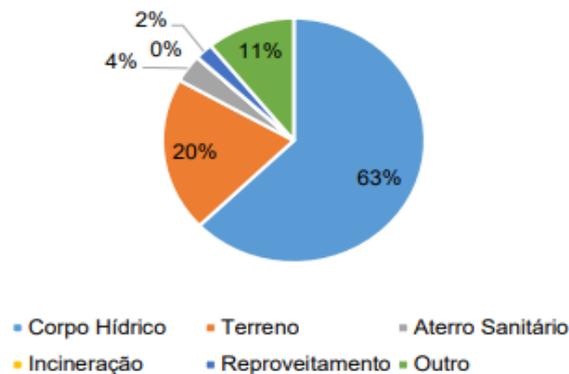
Figura 3. Disposição de lodo de ETAs no Reino Unido



Fonte: Simpson et al (2002) apud Morita (2016) citada por SMIDERLE Juliana Jerônimo (2016).

No Brasil a destinação final do lodo de ETA ainda é muito distante dos países desenvolvidos conforme mostra o gráfico 03 abaixo. Segundo Andreolli (2001) citado por SMIDERLE Juliana Jerônimo (2016, p. 23) o motivo pelo qual as alternativas de disposição final usadas em outros países não são utilizadas no Brasil é o alto custo de implementação e operação.

Figura 4. Destino dos resíduos de ETA no Brasil



Fonte: Adaptado de IBGE (2010) citada por SMIDERLE Juliana Jerônimo (2016).

Pesquisas apontam que existem materiais na construção civil que já incorporam a seu meio lodo em seu produto. Como é o caso de telhas e blocos cerâmicos, porém esses produtos e processo de trabalho não exigem um método de produção tão tecnológico. Neste caso, quando se trata de usar o Leta (Lodo de ETA) como insumo na produção de concreto, existem parâmetros como normas e ensaios realizados que caracterizam a resistência mecânica do concreto com uso desse material. Pois o concreto deve obedecer essas normas para que seja caracterizado como apropriado para ser utilizado na construção civil. A norma regulamentadora que trata desse ensaio é a ABNT NBR 12041 (1992).

Conforme AGOPYAN (2000) citado por GEYER André Luiz Bartolacci (2001), dentro da indústria da construção, a produção de cimento e concreto, devido aos elevados volumes, tem sido um grande consumidor de resíduos, cumprindo o papel de neutralizar materiais que, se ficassem na natureza, seriam nocivos. A reciclagem na construção civil vem se consolidando como uma prática sustentável, pois além de atenuar os riscos de impactos ambientais, reduz os custos necessários para produção no setor (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001). citado por HOPPEN Cinthya (2004, p. 53).

Brosche (1975) afirma que o agregado produzido a partir do lodo atende as normas técnicas. Se comparado com outros agregados leves, como a argila expandida, apresenta

resultados bastante satisfatórios. (GEYER, 2021) citado por SANTANA Ismael Vânio Agostinho (2019, p. 04). Segundo Kato e Takesue (1984) citado por (GEYER, 2021), apud SANTANA Ismael Vânio Agostinho (2019, p. 04):

É possível comprovar que o agregado miúdo leve produzido a partir de cinza de lodo tem densidade menor quando comparado com areia e as argamassas produzidas com lodo incinerado tem sua resistência a compressão aos 7 dias inferior, porém aos 28 dias todas as argamassas apresentam resistência muito semelhantes. Com estes resultados os autores afirmam que o agregado feito de resíduo pode ser uma alternativa tecnicamente viável.

Isso nos mostra, que os trabalhos desenvolvidos com esse material na construção civil já vêm sendo desenvolvido no mundo afora. O que abre um leque de oportunidades para encontrar a melhor viabilidade a ser trabalhado no ramo da construção civil. Pois como foi mencionado, é um dos setores que mais polui e que mais utiliza recursos naturais. Com isso, todos só têm a ganhar. Desde a concessionária de abastecimento como a população de modo geral. Uma vez que é uma alternativa viável para que esse material não seja descartado no meio ambiente, assim como ocupar espaço nos grandes aterros sanitários. Com isso, impactará na minimização da extração de recursos naturais como a areia. Pois como sabemos os recursos naturais são limitados, e um dia eles podem acabar.

(GEYER, 2021) citado por SANTANA Ismael Vânio Agostinho (2019, p. 05), experimentou utilizar o lodo de esgoto de diferentes fontes em argamassas e concretos com adições nas frações que variam entre 5% a 50% em relação à massa de agregado miúdo comparando valores obtidos com concreto constituído por agregados naturais sem adição de lodo:

Os resultados obtidos para a resistência á compressão de concretos com lodo de diferentes ETAs evidenciaram a não influência da variação do tipo de lodo na resistência mecânica dos traços estudados. Além disso, ratificou-se a proporção de 3% de adição de lodo em relação ao agregado miúdo como valor otimizado para a obtenção de melhores características mecânicas. (GEYER, 2021) citado por SANTANA Ismael Vânio Agostinho (2019, p. 05).

Em uma pesquisa realizada com Lodo de ETA, HOPPEN Cinthya (2004, p. 82) identificou que os concretos com 7 e 10% de lodo mostraram grande dificuldade de adensamento, mesmo com a utilização de vibradores com imersão, em virtude de sua elevada consistência (abatimento de 6 e 0 mm, respectivamente). Essa ainda afirma que nestes casos, houve a necessidade de adensamento em mesa vibratória por vários minutos. Comparando-se as tensões de ruptura Ela identificou o seguinte:

Os traços contendo lodo com a do concreto referência observa-se que, mesmo aos 7 dias de idade, a resistência à compressão já atingiu valores acima de 20 MPa, exceto para a dosagem com 10% de lodo, a qual pode ser utilizada apenas para fins menos nobres com baixas resistências. Considerando apenas os valores de resistência mecânica obtidos, pode-se direcionar o uso das misturas incorporando até 5% de lodo, cujas resistências resultaram acima de 30 MPa, aos 28 dias, em aplicações de concreto convencional. No entanto, deve-se proceder a realização de outros ensaios mecânicos e de durabilidade.

Já em relação à tração por flexão, observa-se redução média de 27,38%, ocorrendo a maior redução para o traço com 8% de lodo (28,57%). Na comparação entre os dois CPs com o

lodo, esta redução foi de 3,50% com o aumento do incremento de lodo. HOPPEN C. et al (2005, p. 92). No que tange a teor de absorção de água em função do teor de lodo:

Tanto a absorção quanto o índice de vazios apresentaram uma elevação drástica dos valores para teores de lodo acima de 5%, no que diz respeito às medidas realizadas após a saturação. Para as determinações após saturação e fervura dos CPs, este aumento ocorreu para teores acima de 3%. A explicação mais provável para este aumento abrupto de ambos os parâmetros vem do fato de que o lodo, ou passa a se comportar como uma “esponja” no interior do concreto, fazendo com que a água penetre o material com maior facilidade, ou sofre dissolução pela imersão em água HOPPEN Cinthya (2004, p. 84).

Alguns pesquisadores, estudando a reciclagem secundária de lodo seco em matriz de concreto, pela avaliação da resistência mecânica à compressão e do teor de absorção de água, concluíram sobre a sua viabilidade em aplicações não-estruturais na construção civil. HOPPEN C. et al (2005, p. 87). Alguns pesquisadores, estudando a reciclagem secundária de lodo seco em matriz de concreto, pela avaliação da resistência mecânica à compressão e do teor de absorção de água, concluíram sobre a sua viabilidade em aplicações não-estruturais na construção civil. HOPPEN C. et al (2005, p. 87).

Por se tratar de um material já estabelecido mundialmente na construção civil, o concreto da forma como é conhecido composto por areia, seixo ou brita, água e cimento, é o produto padrão utilizado na construção com resistência mecânica já conhecida e padronizada. Quando se fala em subtrair parte de um dos componentes por outro material, substituir ou adicionar outro componente à fórmula do concreto, outros estudos de viabilidade devem ser considerados. Para que assim se possa chegar a concentrações similares ao concreto padrão. Mantida a resistência desse material, sua aplicação nos variados ramos da construção podem ser considerados.

Segundo a Superintendência do Espaço Físico da Universidade de São Paulo, O valor característico mínimo da resistência do concreto admissível é $f_{ck} = 20$ MPa, cf. ABNT NBR 6118:2003. Para se chegar a essa medida os níveis percentuais desse Lodo devem ser bem dosados. Na consideração do concreto não-estrutural os percentuais desse componente podem ser maiores. Isso nos remete a afirmar que quanto maior a concentração de lodo, menor a resistência do concreto.

RODRÍGUEZ et al, citado por SANTOS Gessica Zila Batista dos et al, ao adicionarem lodo de ETA sem nenhum tratamento térmico em substituição parcial ao cimento Portland em argamassa, observaram uma diminuição significativa de resistência mecânica das amostras nas quais incorporou-se teores de lodo, o que estaria relacionado, talvez, à matéria orgânica presente nesse resíduo. Além desse estudo, outros trabalhos utilizando o Lodo de ETA in natura, adicionadas como uma das matérias primas na produção de outros materiais, resultaram em produtos que não apresentaram a mesma capacidade mecânica.

PAIXÃO et al. (2008) Citado por SANTOS Gessica Zila Batista dos et al:

Estudaram os efeitos da adição de lodo de ETA nas características físicas de uma massa de cerâmica vermelha. Verificaram que a incorporação de até 10 % em peso de lodo acarretou ao material investigado a diminuição de resistência à flexão e o aumento simultâneo de absorção de água e de porosidade aparente. Visando obter melhores resultados, beneficiou-se o lodo por meio de calcinação e moagem, antes de adicioná-lo à composição da massa cerâmica. Foi constatado que a cerâmica com adição de lodo calcinado apresentou maior resistência à flexão que àquela produzida com o lodo bruto.

A utilização do lodo bruto na aplicação dos mais variados segmentos da construção civil, tem sido apontada pela literatura como não muito favorável. Uma das justificativas pode ser explicada pela própria forma que esse material se encontra, nesse estado sólido úmido além do material orgânico que apresenta, assim como os produtos químicos que nele se encontram. Sendo assim, estudos apontam a necessidade de se beneficiar esse material antes de utilizá-lo na produção do concreto.

SANTOS Gessica Zila Batista dos et al (2018), realizaram uma pesquisa no que tange o beneficiamento do Lodo de ETA com o objetivo de torná-lo útil a ser utilizado na construção civil nos mais variados departamentos, tanto na produção de blocos cerâmicos, argamassas como no concreto. Os processos que utilizaram foram a secagem em estufa, moagem, peneiramento e por fim a calcinação. O resultado desse trabalho foi que esse material após ser beneficiado ficou similar ao metacaulim, aditivo muito utilizado no concreto. Porém apenas em semelhança, sendo que a utilidade se dá para métodos bem distintos.

No que diz respeito à viabilidade econômica, admite-se que os métodos de secagem, moagem, calcinação e peneiramento conferem custos ao lodo de ETA. Contudo, esses processos são os mesmos utilizados na produção de metacaulim, produto amplamente comercializado. SANTOS Gessica Zila Batista dos et al. (2018, p. 11).

O resultado dessa pesquisa aponta o lodo beneficiado a ser um material apto a ser utilizado na construção civil. O que já era de se esperar, visto que de acordo com a com estudos realizados com o Lodo de ETA, esse é um material com uma concentração muito alta de resíduos químicos e orgânicos. Sendo assim, o lodo in natura seria inviável para a produção do concreto, uma vez que se trata de um produto como dito anteriormente, consolidado a nível mundial e regido por normas já estabelecidas e seguidas há muito tempo por todos os profissionais do ramo, pois são muitos os acontecimentos que são presenciados no dia a dia nos diversos ramos de mídia ou até mesmo que podem ser vistos presencialmente onde, uma vez que não se obedecem aos padrões pré-estabelecidos pelas normas, a edificação poderá resultar em uma série de patologias, podendo levá-la à ruína. Assim como uma determinada obra necessita por exemplo de um determinada quantidade de aço, como estabelece a norma para esse tipo de cálculo, caso o calculista não siga a norma, essa obra futuramente apresentará patologias que poderão até mesmo colocar a vida dos moradores em risco. Assim também é com o concreto. Seu fck deve obedecer às normas.

A ABNT NBR 6118: 2003 estabelece fck de 20 Mpa. Ressalvando que o Fck é a resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias de idade. Isso quer dizer que o concreto possui Fck de 20 MPa é o mesmo que possui resistência à compressão próxima de 250 kfg/cm². Claro que uma obra exige do engenheiro ou responsável técnico a economia, mas as normas devem ser seguidas. Pois foram desde o passar dos tempos sendo aprimoradas. Para que nos dias atuais uma edificação fosse desenvolvida com máximo de segurança possível, entregando assim conforto e segurança a todos que dela fazem uso.

De acordo com o os ensaios citados, os percentuais considerados eficazes para que o concreto com Lodo de ETA atendam a necessidade da norma vigente para serem utilizados nas obras civis são de 3% a 5%. Supondo que para um traço de concreto 1:2:3 significa que para uma parte de concreto teremos duas partes de areia e uma de brita. Sendo assim, para um traço com um saco de cimento de 50kg, será necessário 100 kg de areia e 150 kg de brita. Já para o solvente que é a água utilizada a quantidade varia de acordo com a trabalhabilidade do concreto para o meio empregado na obra, seja para piso, fundação, concretagem de vigas e pilares entre outros outros. Então se para esse traço, o agregado miúdo que é a areia exige 100 kg, considerando um percentual de 3% de lodo empregado, a quantidade de areia cairia para 97 kg e adição de 3 kg de Lodo. Já para um percentual de 5% de Lodo, esse traço teria 95 kg de areia e 5kg de concreto. Vale ressaltar que existem diferentes tipos de traços utilizados, como é o caso da padiola e lata. O qual o responsável pela construção pode escolher qual desses utilizar.

Considerações Finais

Ainda há um caminho a percorrer para que o lodo de ETA possa ser enquadrado oficialmente no concreto para construção civil, como umas das alternativas mais viáveis para a minimização dos impactos ambientais causados na construção civil. Pois as edificações exigem muita responsabilidade no pré e pós-construção. Assim como os materiais que a compõem critérios específicos a serem seguidos.

Para que possam estar dentro dos padrões de qualidade previstos por norma. No que tange aos custos elencados para o beneficiamento desse material ao ponto de deixá-lo apto para utilização na construção civil, de acordo com os estudos realizados, apesar de não se ter um valor de custo exato para esse tratamento do material, é correto afirmar que é uma alternativa muito viável, se for levar em consideração os gastos que os órgãos competentes assim como as concessionárias de água arcam com o tratamento do lodo, uma vez que são descartados de forma inadequada no meio ambiente.

Cabe ao ramo empresarial e governos, incentivar a permanência do desenvolvimento das pesquisas, assim como iniciar os trabalhos com obras de pequeno porte a princípio para futuramente expandir às obras maiores a importância da empregabilidade do material, pois todos estarão trabalhando em prol de um bem comum que é a preservação ambiental.

Referências

ACEMAX. **Lodo de Estação de Tratamento de Água**. São Paulo-SP, 28, Setembro 2021. Disponível em: <https://acemax.com.br/lodo-de-eta/>. Acesso em: 11 ago. 2022.

AMADEI, José Roberto Plácido ; FERRAZ, Valéria Cristina Trindade, **Guia para elaboração de referências ABNT NBR 6023:2018**, Bauru , 2019. Disponível em: <https://usp.br/sddarquivos/arquivos/abnt6023.pdf>. Acesso em: 08, set. 2021.

BASTOS Paulo Sérgio. **Fundamentos do Concreto Armado**. 2019. Disponível em: <https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf> . Acesso em: 11 ago. 2022.

BRASIL. **Lei Nº 12.305**, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.hemocentro.fmrp.usp.br/wp-content/uploads/legislacao/12305_B3764-120810-SES-MT_D.pdf. Acesso em: 05, set. 2021.

BRK. **Relatório Anual de Qualidade da Água**. Palmas-TO, 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/Meu%20Note/Downloads/palmas.pdf>. Acesso em: 11. ago. 2022.

C.FE. Dep. Acadêmico de Construção Civil; Eng. de Produção Cível (**Apostila de Tecnologia do Concreto**). Paraná,, Disponível em: <http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2013/04/Concreto-02.pdf> . Acesso em: 05 set. 2021.

FERNANDES, A. V. B.; AMORIM, J. R. R., **Concreto Sustentável Aplicado na Construção Civil**, Aracajú, 2014. Disponível em [file:///C:/Users/Meu%20Note/Downloads/1093-Texto%20do%20artigo-4559-1-10-20140325%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Meu%20Note/Downloads/1093-Texto%20do%20artigo-4559-1-10-20140325%20(2).pdf). Acesso em: 05 set. 2021.

GOMES Carlos Eduardo Prates. **Remoção de partículas de suspensões de caulim e de águas brutas por coagulação-floculação com cloreto férrico e amido gelatinizado**. (2021). Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2022/01/>

Artigo_Remocao-de-particulas-de-suspensoes-de-caulim-e-de-aguas-brutas-por-coagulacao-floculacao-com-cloreto-ferrico-e-amido-gelatinizado.pdf. Acesso em: 11 ago. 2022

GUTFREIND Henrique et al. **Propriedades e Característica dos Materiais Concreto e Aço.** 2014. Disponível em: https://www.politecnica.pucrs.br/professores/giugliani/ARQUITETURA_-_Sistemas_Estruturais_II/01_Propriedade_e_Caracteristica_dos_Materais.pdf. Acesso em: 11 ago. 2022.

HOPPEN Cinthya. **Reciclagem de Lodo de ETA Centrifugado na Construção Civil, Método Alternativo para Preservação Ambiental.** (2004). Disponível em: <https://livros01.livrosgratis.com.br/cp134634.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.

HOPPEN, C. et al. **Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental.** 2005. Disponível em <https://www.scielo.br/j/ce/a/3QSSw7mKWLjgvjQgqsW4smH/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 dez. 2021.

MARGEM Jean Igor. **Caracterização e Incorporação de Lodo de Decantação de Estação de Tratamento de Água (E.T.A.) em Cerâmica Vermelha.** (2008). Disponível em: https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Microsoft-Word-IGOR_doc.pdf. Acesso em: 13 ago. 2022.

METTZER. Site do Mettzer; 2017. **A plataforma para desenvolver seus trabalhos e pesquisas acadêmicas.** Disponível em: <https://blog.mettzer.com/referencia-de-sites-e-artigos-online/>. Acesso em: 08 set. 2021.

SANTOS, Gessica Zila Batista dos Santos. et al. **Perspectivas de aplicações tecnológicas de lodo gerado no processo de tratamento de água dos rios Negro e Solimões.** 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/G537YjR7w7chV3zHdvJQDQc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 dez. 2021.

SEPÚLVEDA, Alejandro. (A população mundial está aumentando: dobrou em meio século!). **TEMPO.COM METEORED.** 2021. Disponível em: <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/a-populacao-mundial-esta-disparando-dobrou-em-meio-seculo.html>. Acesso em: 04 set. 2021.

SMIDERLE Juliana Jerônimo. **ESTUDO DE VIABILIDADE PARA DESTINAÇÃO FINAL DO LODO DA ETA LARANJAL/RJ.** (2016). Disponível em: <https://drhima.poli.ufrj.br/images/documentos/tcc/2016/juliana-jeronimo-2016.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2022.

Superintendência do Espaço Físico da Universidade de São Paulo. **ANEXO II - ESPECIFICAÇÕES PARA ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO.** 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/G537YjR7w7chV3zHdvJQDQc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 Jan. 2022.

TARTARI R. et al. **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. (2011). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/jpgxwwys56nm75nkfs78shb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 ago. 2022.

TECNOSIL. **O que é cura de concreto e como fazer uma cura eficiente?** Tecnosil, 2022. Disponível em: <http://www.tecnosilbr.com.br/conteudo/?p=174#:~:text=A%20cura%20do%20concreto%20%C3%A9%20a%20t%C3%A9cnica%20que,d%C3%A1%20origem%20%C3%A0s%20caracter%C3%ADsticas%20de%20pega%20e%20endurecimento>. Acesso em: 11 ago. 2022.

TETRIS O concreto é o segundo material mais consumido no mundo. Curitiba-PR. 19, Julho, 2018. Disponível em: <https://www.tetrisej.com.br/single-post/concreto>. Acesso em: 11. ago. 2022.

Recebido em 30 de julho de 2022.
Aceito em 30 de agosto de 2022.