

## **LODO DE ESGOTO EM CONCRETO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO**

**Liliane Frosini Armelin** <sup>(1)</sup>

Professora e pesquisadora do curso de engenharia civil da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. E-mail: liliane.armelin@mackenzie.br

**Lucas Ryuichi Hayashibara** <sup>(2)</sup>

Aluno de graduação do curso de engenharia civil da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

**Leonardo Torres de Souza** <sup>(3)</sup>

Aluno de graduação do curso de engenharia civil da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

**Luana Aires de Almeida Cunha** <sup>(4)</sup>

Aluna de graduação do curso de engenharia civil da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Endereço: Rua da Consolação 930, Consolação, São Paulo, SP, CEP: 01302-000, Brasil, Tel: +55 11 2114-8000. E-mail: liliane.armelin@mackenzie.br

### **RESUMO**

O lodo de esgoto é um subproduto gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), sendo a-disposição final para este resíduo, uma preocupação que tem aumentado com o crescimento populacional e as metas estipuladas na Lei nº 14.026/2020 (Novo Marco Legal do Saneamento Básico). A atual pesquisa tem o objetivo de analisar o desempenho do concreto com a adição de lodo de esgoto como substituto parcial de agregado miúdo, sendo este estabilizado através de um sistema de wetland experimental e para tal, foi realizado experimento laboratorial. O estudo consistiu em substituição parcial de agregado miúdo por lodo seco no concreto que posteriormente foi submetido à ensaios no estado, fresco e endurecido. Os resultados obtidos nos ensaios apontaram que a incorporação do lodo aumentou a absorção de água e reduziu a trabalhabilidade do concreto fresco. Para resistência a compressão ocorreu que a resistência alcançada foi menor que a do concreto de referência. Apesar da redução na resistência ainda é possível viabilizar a utilização do lodo no concreto como calçamentos, obras de drenagens e outras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de esgoto, Lodo como agregado miudo, Concreto com lodo

### **INTRODUÇÃO**

A urbanização trouxe um aumento de problemas ambientais provenientes da geração de resíduos provocados pelas atividades humanas. Criou-se a necessidade de soluções ambientais que promovam o equilíbrio entre o consumo e reutilização, eliminando a produção de resíduos, buscando um fluxo circular dos recursos.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020) 114,6 milhões de brasileiros eram atendidos por rede coletora de esgoto e desta coleta, apenas 50,8% era tratado, significando que 58,2 milhões de pessoas contribuíam para a geração de lodo em estações de tratamento de esgoto (ETEs). Neste contexto, Gonçalves e Mol (2021) estimam que se todo o volume de esgoto coletado no país fosse tratado, a geração de lodo desaguado (seco) no Brasil seria de 10 a 15,5 mil toneladas por dia, levando em consideração que 61,4% da população era atendida com a coleta de esgoto. Com a aprovação do novo Marco Legal do Saneamento em 2020, que estabelece metas para os serviços de coleta e tratamento de esgoto a serem cumpridas até o ano de 2033, as perspectivas são de significativo aumento na geração, nos próximos anos.

O lodo de esgoto é um subproduto formado a partir do tratamento de efluentes das indústrias, empresas, comércios e domicílios, e conforme a Norma Brasileira (NBR) 10.004 de 2004, o lodo de ETE, é constituído por sólidos orgânicos e inorgânicos e pode ser caracterizado como resíduo sólido. Dessa forma, deve ser

tratado conforme exigido por órgãos reguladores sob direcionamento da Política Nacional de Resíduos sólidos - PNRS (ABNT, 2004).

Segundo o portal Tratamento de água (2018) a resolução 358 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2005, utilizada como parâmetro federal para a temática, os resíduos químicos (componentes do lodo estudado) “são entendidos como toda a substância ou material que não foi submetido a um processo de reciclagem ou de reutilização e que contenha características explícitas de periculosidade de acordo com sua composição”. Podendo mudar as características e propriedades do solo e da água na qual foi descartado gerando doenças, redução de oxigênio, mortes de animais e um conseqüente desequilíbrio ambiental.

O portal Tratamento de água (2018) aponta que embora esse resíduo represente em média 1% a 2% do volume total do esgoto tratado, seu gerenciamento é complexo e demanda custos elevados, o processamento e a disposição final do lodo podem representar até 60% do custo operacional de uma ETE. O autor ainda destaca que a preocupação com o descarte correto do lodo de esgoto é algo relativamente recente no Brasil.

Queiroz (2019) indica os tipos de disposição final conhecidos para o lodo de esgoto sendo a descarga oceânica, incineração, aterro sanitário, agricultura, silvicultura e a recuperação de áreas degradadas, compostagem, geração de energia elétrica e térmica, produção de artefatos cerâmicos e construção civil. O aterro sanitário é o mais utilizado no Brasil.

No ramo da construção civil, uma das possíveis alternativas para minimizar o impacto ambiental causado pelas construções é a reutilização de resíduos, como aponta Ismail e Alhashmi (2018, *apud* Chagas, 2019). A utilização do lodo de esgoto como material alternativo na fabricação de tijolos e cerâmicas, na produção de agregado leve e a produção de cimento são opções que vem sendo estudadas segundo Barbosa (2018). A reutilização do material deve seguir as diretrizes da Lei 12.305, publicada em 02 de agosto de 2010, responsável pelo gerenciamento de resíduos sólidos e a qual instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) com o principal objetivo de reaproveitamento desses resíduos (BRASIL, 2010).

A construção civil utiliza recursos naturais para a obtenção de seus materiais. Com o passar do tempo e o crescimento da civilização, a demanda aumentou e como resposta, a engenharia busca por alternativas sustentáveis que possam substituir tais recursos, visando a preservação do meio ambiente e uma diminuição dos custos. Agregados miúdos são amplamente utilizados na Construção Civil para a fabricação de argamassas para reboco, contrapiso e concreto, sendo que este último deve possuir características adequadas ao tipo de uso. Dessa forma, surge o questionamento: É possível que o uso do material como o lodo de esgoto doméstico, possam atribuir ao concreto características viáveis para um bom desempenho do material?

Por outro lado, um dos resíduos gerados pelas estações de tratamento de esgoto é o lodo, o qual representa uma questão complexa a ser resolvida além de custosa. No Brasil, grande parte das ETEs encaminham seus resíduos para os aterros sanitários, no entanto, o lodo contém elementos que podem ser utilizados em outras atividades, como por exemplo a parte sólida que corresponde a cerca de 3% de sua composição e tem sido consideravelmente utilizada na agricultura. Dessa forma busca-se um melhor aproveitamento dos resíduos, melhorando assim a sustentabilidade não apenas ambiental, mas também econômica.

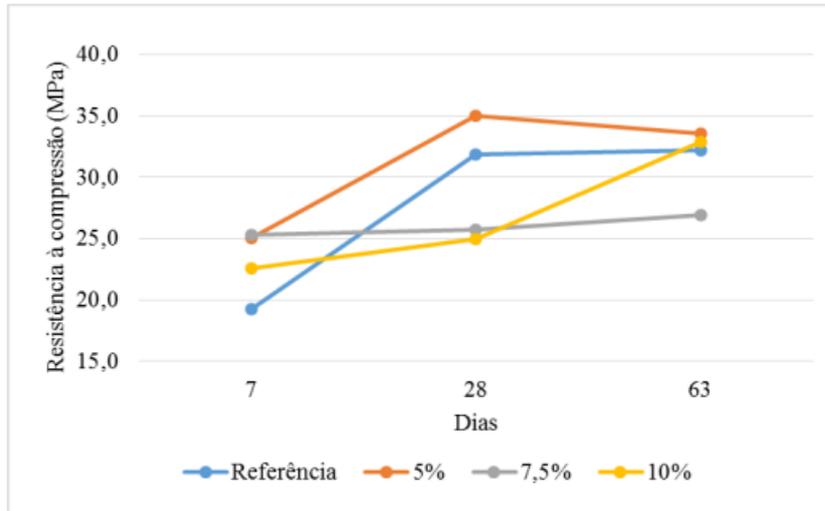
Por tanto, esse trabalho foi elaborado para evidenciar e reforçar, através do uso de devidas experiências científicas com o lodo proveniente de ETE, a importância da reutilização de resíduos sólidos na Construção Civil e a alteração de seu destino a fim de buscar maneiras mais viáveis e possíveis no âmbito ambiental e econômico.

## **ESTUDOS EXISTENTES**

Muitos estudos têm sido desenvolvidos ao longo dos anos, sobre a moldagem de materiais de construção em concreto, utilizando lodo de esgoto proveniente de Sistemas de Tratamento de Esgoto e todos resultam na perda de resistência apresentada depois de completada a cura e realizado o rompimento do elemento. A indicação do local da obtenção do lodo é importante para identificar as características do lodo, como confirma Donatello e Cheeseman (2013, *apud* Veronese, 2021) pois, estas se alteram para cada região estudada, dependendo do que está incluso.

Estudos mais recentes sugerem a substituição parcial do cimento e não do agregado, opção vantajosa devido ao custo mais elevado deste elemento em relação aos demais. No estudo realizado por Veronese *et al.* (2021), foi utilizado a cinza de lodo de origem doméstica, proveniente de incineração a 400 °C como substituto parcial no cimento Portland, para avaliar a influência da cinza nas propriedades mecânicas do concreto. O material resultante foi moído gerando assim a cinza de lodo de esgoto. Os percentuais de substituição de cimento por cinza de lodo escolhidos pelos autores foram de 0%, 5%, 7,5% e 10%. O rompimento do concreto executados aos 7, 28 e 63 dias tiveram os seguintes resultados apresentados na figura 1.

**Figura 1 – Valores de resistência média à compressão (MPa)**



Fonte: Veronese *et al.* (2021).

Segundo análises, observa-se que realmente houve uma redução na resistência final à compressão para as amostras com 7,5% de cinza de lodo, o mesmo não ocorrendo para os traços com 5% e 10%, considerando 63 dias de observação. A melhor resistência obtida foi o da amostra com 5% de adição de cinza de lodo aos 28 dias, no entanto a partir desse ponto a resistência diminuiu. Dessa forma os autores concluíram que a substituição do cimento por cinza de lodo de esgoto em concreto, com teores de 5% e 10% é viável, pois gera um aumento na resistência à compressão.

Chagas (2019) apresenta em sua tese a durabilidade e o desempenho de argamassas em revestimento com a substituição parcial do cimento Portland CP II-F 40 por lodo de esgoto calcinado. A metodologia utilizada, consistiu preliminarmente na realização de ensaios para a caracterização dos materiais a serem utilizados, inclusive a atividade pozzolânica, seguidos de ensaios para a observação do concreto fabricado no estado fresco, endurecido e sua durabilidade. As amostras de lodo foram coletadas na forma líquida nas descargas dos reatores UASB da estação de tratamento de esgoto – ETE Centro, companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA do município de Petrolina-PE. Para a secagem do lodo *in natura* foram postos na estufa aos 110°C por 24 horas, para evaporação da água de constituição e para a calcinação do lodo seco foram calcinados nas temperaturas de 600 °C, 700 °C, 800 °C e 900 °C. Após a calcinação do lodo gerando a cinza de lodo, o material foi moído até obter-se o passante na malha #200 mesh (0,075 mm). Na caracterização dos materiais foram analisadas as cinzas de lodo nas temperaturas já apresentadas e os materiais convencionais, a areia e o cimento. Com a análise dos dados obtidos a autora optou por utilizar o lodo calcinado a 800 °C, pois foi o que apresentou reatividade pozzolânica nos ensaios realizados. Para produção da argamassa foram utilizadas as proporções 1:3, 1:4,5 e 1:6 (cimento e areia). A quantidade de água foi determinada conforme permitisse uma consistência de espalhamento de (260 ± 5) mm. Os teores de substituição de cimento Portland por lodo calcinado foram de 0%, 10%, 20% e 30%.

Diante de conclusões importantes, os ensaios de compressão mostraram que o traço 1(cimento): 3 (areia) com substituição de 10% de lodo calcinado a 800°C no cimento foi o que mostrou resultados mais satisfatórios, em relação à resistência a compressão axial na idade 28 dias: 27,03 MPa (referência) e 29,60 MPa (10%)

O estudo realizado por Marangoni, Zaleski e Vanzetto (2018) buscou introduzir o lodo industrial seco no concreto como substituto parcial do agregado miúdo, para avaliar a resistência a compressão uniaxial, dentre outros. O diferencial deste estudo é que o lodo utilizado foi resultado do tratamento secundário do processo de lodos ativados convencional, sendo um resíduo final de uma indústria de Erechim-RS. O lodo seco foi produzido através da sua secagem ao sol durante 2 dias até que não houvesse alteração no peso do material. Após a secagem foi realizada a trituração e peneiração. Para a dosagem do concreto os autores optaram pela utilização do método IPT/EPUSP, e foram definidos os teores de substituição de agregado miúdo por lodo seco de 0%, 5%, 10% e 15%.

A caracterização dos materiais do lodo seco e agregado miúdo foram obtidos através da realização do ensaio de composição granulométrica segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Na tabela 1, apresenta-se a caracterização do agregado miúdo em comparação ao lodo.

**Tabela 1 – Caracterização do agregado miúdo natural e do lodo**

Propriedades do material	Agregado miúdo	Lodo
Dimensão máxima característica (mm)	1,18	1,18
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,62	1,63
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,59	0,70
Absorção de água (%)	0,80	53,80
Módulo de finura	1,90	2,01

Fonte: Marangoni, Zaleski e Vanzetto (2018).

Com a caracterização dos materiais os autores indicaram que há uma maior quantidade de finos no lodo, de modo a preencher melhor os vazios. Mehta e Monteiro (2008, *apud* Marangoni, Zaleski e Vanzetto, 2018) afirmam que com a redução do índice de vazios, obtém-se um concreto com maior compacidade e, conseqüentemente, um melhoramento na resistência em todos os esforços que o concreto está sujeito. Os resultados dos ensaios referentes a resistência à compressão uniaxial, estão indicados na tabela 2.

**Tabela 2 – Ensaio de compressão axial a 28 dias**

Teor/ensaio	0%	5%	10%	15%
COMPRESSÃO (Mpa)	35,3±0,47	39,16±2,45	40,45±0,84	29,68±0,16

Fonte: Marangoni, Zaleski e Vanzetto (2018).

Referente a resistência à compressão uniaxial foi possível observar que os teores de 5% e 10% apresentaram valores superior ao concreto de referência, e o teor de 15% apresentou um valor inferior ao concreto de referência, no entanto os autores apontam que o teor de 15% ainda cumpre com as exigências da NBR 6118 (ABNT, 2014), viabilizando a utilização para estruturas com resistência superior a 20 MPa.

Estes estudos mostraram ser possível a utilização do lodo em substituição ao agregado ou ao cimento, não se observando perdas na resistência à compressão, constituindo esta abordagem, uma alternativa a ser considerada sendo o foco principal a reciclagem do lodo de esgoto.

## OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é analisar o desempenho do concreto com incorporação de lodo proveniente de sistema de tratamento por wetlands como substituto parcial de agregado miúdo, e para alcançar o objetivo foi planejado a análise de ensaios com concreto moldado utilizando o lodo como substituto parcial de agregado miúdo em comparação com o mesmo concreto sem o acréscimo do resíduo.

## METODOLOGIA UTILIZADA E RESULTADOS OBTIDOS

O trabalho foi desenvolvido por meio do experimento laboratorial, com o objetivo de analisar o desempenho do concreto com a substituição parcial do agregado miúdo, por lodo de esgoto seco. A fim de se ter um comparativo, foram confeccionados também corpos de prova sem a adição de lodo seco e neste caso foi utilizada a areia. O lodo coletado para a pesquisa foi recolhido do sistema de wetlands verticais, sistema em análise para outra pesquisa (Figura 2), simulado em laboratório para tratamento do lodo de esgoto doméstico da ETE Parque Novo Mundo em São Paulo. Esta experiência constituiu no lançamento de lodo contendo por volta de 97% de água e 3% de sólidos em tanques contendo plantas, denominados wetlands. Após algum tempo, a água infiltra pelo leito constituído de terra, areia e brita, enquanto que a parte sólida fica retida na superfície. Esta parte sólida foi retirada após 2 meses sem alimentação de lodo, apresentando-se de forma endurecida, sem odor e sem umidade.

**Figura 2 – Sistema wetland vertical**



Fonte: Os autores (2022).

Para a preparação do lodo de forma similar à areia, foi preliminarmente acrescentado álcool ao material coletado, misturado e submetido a secagem por evaporação por uma semana para a sua desinfecção e o material resultante foi moído em pilão, dessa forma obtendo-se 148,7g de lodo seco.

O cimento utilizado foi o tipo CP-V, por não apresentar adições, apresentando menores interferências. A brita utilizada foi a do tipo zero e a areia foi a do tipo média. A previsão inicial era a moldagem de 3 corpos de prova (CP's) para cada idade considerando a situação com lodo e sem lodo, perfazendo um total de 18CP's, no entanto devido a quantidade limitada de lodo, optou-se pela moldagem de apenas 2 CP's, resultando um total de 12 CP's.

O lodo foi utilizado como substituto parcial de agregado miúdo, a areia, com o teor de substituição de 4,3%, teor escolhido com base no material disponível que era limitado. As pesquisas realizadas, apontam que quanto menor a quantidade de lodo seco acrescentada ao concreto, maior será a sua resistência e está ainda é menor que os casos em que é utilizado o concreto sem acréscimo de lodo.

A fim de possibilitar uma comparação foi utilizado o traço fornecido no estudo de Marangoni *et al.* (2018), conforme a Tabela 3, apenas alterando o fck que ao invés de 25 Mpa, alterou-se para 40 Mpa.

**Tabela 3 – Traço adotado**

Fck (MPa)	Traço	Relação a/c	m	Consumo de cimento (Kg/m <sup>3</sup> )	$\alpha$	Traço unitário		
						c	a	p
40	1:4	0,45	4	425,457	0,52	1:	1,6:	2,4

Fonte: Marangoni *et al.* Modificado (2018).

Durante o preparo do concreto com a adição do lodo seco foi necessário um acréscimo de 150ml de água alterando a relação água/cimento para 0,55, tal alteração era previsto visto que Veronese *et al.* (2021) indica que a adição do lodo no concreto reduz sua trabalhabilidade aumentando assim a demanda de água. Havia a intenção de realizar o *Slump test*, com o objetivo de determinar a trabalhabilidade, porém, o volume preparado de concreto foi insuficiente para a realização deste ensaio. Com o concreto fresco foi realizado então, o ensaio de índice de consistência regido pela norma NBR 13276 (ABNT, 2016). Após esta etapa, foram moldados os corpos de prova, em formas cilíndricas com dimensões de 5x10cm, conforme a norma NBR 5738 (ABNT,2016), com 6 corpos de prova com 4,3% de areia substituída por lodo e 6 corpos de prova com 0% de substituição constituindo o concreto de referência, totalizando 12 corpos de prova (Figura 3). As idades escolhidas para o ensaio a resistência a compressão foram 14, 28, 63 dias após a moldagem. As datas escolhidas levaram em consideração a afirmação de Chagas (2019) sobre a presença de matéria orgânica, a qual pode alterar o processo de hidratação do cimento Portland, ocasionando aumento do tempo de início do tempo de pega e retardando a formação dos compostos hidratados.

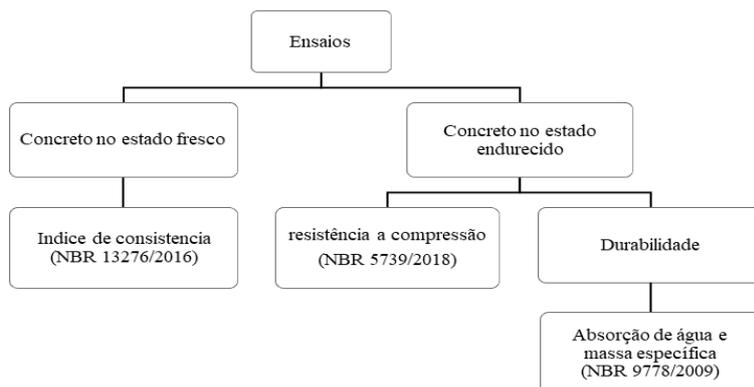
**Figura 3 – Moldagem dos corpos de prova**



Fonte: Os autores (2022).

Para todos os CP's foram realizados 3 tipos de ensaios (Figura 4): Determinação do índice de consistência do concreto para a observação da sua trabalhabilidade que se relaciona com a sua maior ou menor capacidade de deformação, Resistencia a compressão do concreto endurecido para entender a perda da resistência em comparação com a alternativa sem acréscimo de lodo e Durabilidade através do registro da massa específica.

**Figura 4 – Ensaio realizados**



Fonte: Os autores (2022).

O ensaio para medição da resistência a compressão foi realizado através do equipamento prensa universal de ensaios nas idades previstas anteriormente nesta metodologia, para todos os CP's. Outras informações foram coletadas durante o trabalho sendo uma delas a determinação da massa específica do concreto fresco, e do concreto endurecido, apresentados na tabela 4:

**Tabela 4: Massa específica do concreto**

Concreto fresco		Concreto endurecido	
Com lodo	Sem lodo	Com lodo	Sem lodo
2147 kg/m <sup>3</sup>	2396 kg/m <sup>3</sup>	2087 kg/m <sup>3</sup> (14 dias)	2179 kg/m <sup>3</sup> (14 dias)
		2205 kg/m <sup>3</sup> (28 dias)	2311 kg/m <sup>3</sup> (28 dias)
		2173 kg/m <sup>3</sup> (63 dias)	2046 kg/m <sup>3</sup> (63 dias)

Fonte: Os autores (2022).

A absorção de água das peças moldadas foi determinada através da diferença dos pesos dos corpos de prova no momento de sua retirada da câmara úmida, nas idades programadas e o peso dos mesmos após 72 horas de permanência na estufa para a secagem (Tabela 5). Essas medidas foram realizadas tanto para os CP's com lodo e sem lodo.

**Tabela 5: Peso dos corpos de prova para diferentes idades**

CP 14 dias		CP 28 dias		CP 63 dias	
c/ lodo	s/ lodo	c/ lodo	s/ lodo	c/ lodo	s/ lodo
<b>(câmara úmida) 428,0 g (CP1)</b>	(câmara úmida) 449,1 (CP1)	(câmara úmida) 427,2 g (CP1)	(câmara úmida) 448,6 g (CP1)	(câmara úmida) 426,0 g (CP1)	(câmara úmida) 440,9 g (CP1)
<b>426,0 g (CP2)</b>	406,0 (CP2)	432,0 g (CP2)	451,8 g (CP2)	426,0 g (CP2)	
<b>(estufa) 407,5 g (CP1)</b>	(estufa) 435,1 (CP1)	(estufa) 421,0 (CP1)	-	(estufa) 400,8 g (CP1)	(estufa) 427,0 g (CP1)
<b>405,5 g (CP2)</b>	384,3 (CP2)	403,5 (CP2)		399,0 g (CP2)	

Fonte: Os autores (2022)

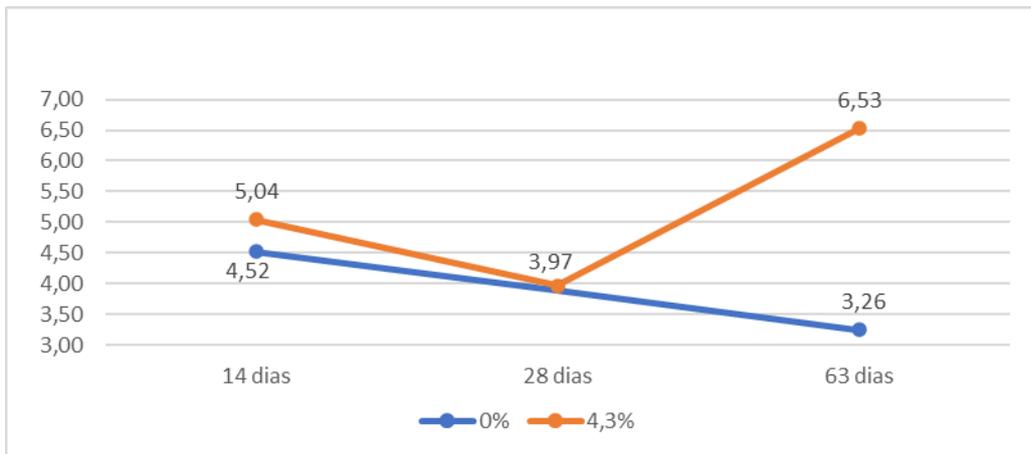
## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A determinação do índice de consistência, constatou o ocorrido em outras pesquisas abordadas na fase de levantamento bibliográfico em relação a trabalhabilidade onde o concreto fresco sem a presença de lodo apresentou índice de consistência de 195mm ( $\pm 5$ mm), e o concreto com a presença de lodo apresentou índice de consistência de 140mm ( $\pm 5$  mm) mostrando este último a sua menor trabalhabilidade, mesmo com o acréscimo de água.

Um concreto que apresenta baixa trabalhabilidade é mais suscetível a uma segregação de seus materiais e isso ocorre pela fraca ligação que existe entre estes. Este processo pode levar à exsudação que consiste na perda de água pelo sistema, o que compromete a durabilidade.

Com os dados dos pesos dos corpos de prova na câmara úmida e após 72 horas na estufa foi realizado o cálculo para absorção de água. Foi realizada uma média aritmética para as lacunas com os pesos de 2 CPs. O resultado está ilustrado na Figura 5.

**Figura 5 – Absorção média de água**



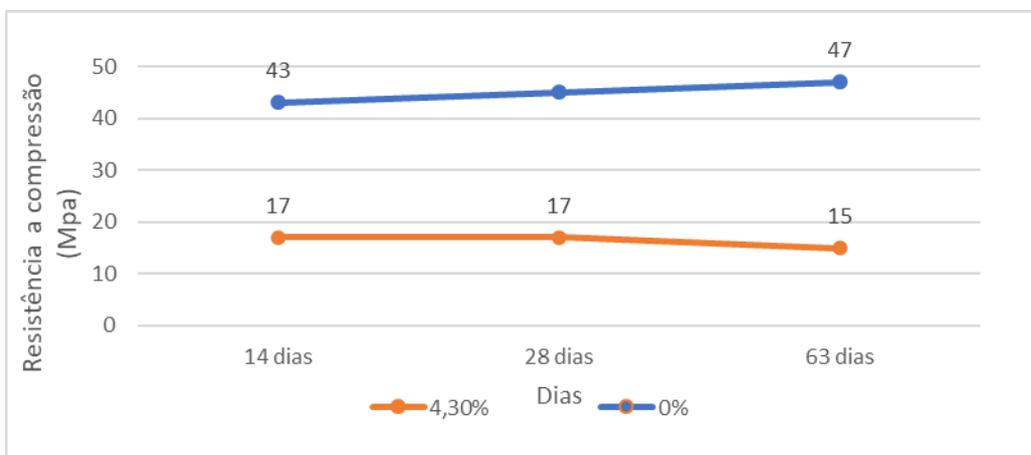
Fonte: Os autores (2022).

Analisando o gráfico é possível observar que os corpos de prova com a substituição de 4,3% apresentaram valores maiores de absorção de água em relação ao concreto de referência. A absorção de água possui uma relação inversa com a resistência a tração.

Os dados referentes à massa específica do concreto auxiliam no cálculo da quantidade de materiais e também são importantes no entendimento da aplicabilidade e para qual tipo de obra é mais indicado. A incorporação do lodo altera a massa específica do concreto, mesmo assim, os dados apontados indicam valores para uso com fins estruturais, pois estes, devem apresentar massa específica entre 2000 e 2800 kg/m<sup>3</sup>.

Os CPs, com composição distinta e diferentes idades foram rompidos sendo determinada uma média aritmética das tensões máximas aplicadas, apresentados na figura 6.

**Figura 6 – Valores exemplar da resistência a compressão**



Fonte: Os autores (2022).

Através da análise, é possível observar que a resistência do concreto em relação a compressão, com a substituição de 4,3% de lodo apresentou valores mais reduzidos em comparação ao concreto de referência, o que era esperado.

Muitos fatores podem ter contribuído para os resultados desfavoráveis além daqueles já conhecidos. Em primeiro lugar, pode-se apontar a origem do lodo que foi retirado na forma seca da superfície de uma *wetland* vertical presente no laboratório ao mesmo tempo em que ocorria o presente estudo. Esta camada apresentava-

se na ocasião, com reduzida espessura sendo que abaixo desta havia a terra que sustentava as plantas e não há como garantir que a camada retirada continha apenas o lodo seco. Pode ser que uma pequena parcela da terra possa ter sido retirada juntamente e se misturado ao material.

A desinfecção, importante para a segurança das pessoas que manusearam o lodo, foi realizada através de álcool líquido 90% e pode ter havido reações químicas não previstas gerando compostos que prejudicaram o processo. A Resolução nº 498 de 19 de agosto de 2020, define critérios e procedimentos para produção e aplicação de lodo em solos e aponta 2 formas de desinfecção para o lodo a ser utilizado na agricultura: Aumento da temperatura por determinado tempo ou aumento do pH através da adição de produtos químicos, procedimentos descartados por estar o lodo seco, sem umidade dificultando estas abordagens.

A ausência das análises químicas do lodo utilizado impediu uma averiguação importante sobre o teor de enxofre que é limitado pelas normas técnicas que abordam a elaboração de estruturas de concreto por ser elemento que favorece a formação de fissuras.

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

A atual pesquisa teve o objetivo de analisar o desempenho do concreto com a incorporação do lodo produzido em wetland como substituto parcial de agregado miúdo, com a finalidade de verificar a viabilidade do uso do lodo de ETE como material alternativo na construção civil. Com a análise dos dados, pode-se concluir que com a substituição de 4,3% do agregado miúdo por lodo de esgoto não foi possível obter a resistência esperada, compatível com a referência. Dessa forma não foi possível viabilizar a utilização do lodo como substituto parcial em agregado miúdo para concreto estrutural, no entanto ainda é possível viabilizar o seu uso de outras formas tais como calçamentos, obras de drenagem e outras.

Para futuras pesquisas é indicado um maior espaço amostral para obter resultados mais concisos, que não foi possível realizar na atual pesquisa por causa da quantidade limitada de lodo disponível e também com relação ao elemento a ser substituído, seria de grande interesse trabalhar com duas opções, sendo a primeira substituir o agregado miúdo com o lodo seco e a segunda, substituir o cimento pelo lodo calcinado.

Outra questão importante é investigar a quantidade de sulfato no lodo pois uma grande quantidade deste elemento pode favorecer a corrosão da armadura.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a Universidade Presbiteriana Mackenzie pela disponibilização do laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia e dos materiais necessários para a elaboração desta pesquisa.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BRASIL. Lei nº 12.305, 02 de agosto de 2010. *Gerenciamento de Resíduos Sólidos*. Diário Oficial da União, Brasília, DF.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR - 10.004: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004(a). 33p.
3. \_\_\_\_\_. *NBR 15270 -2: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 2: Métodos de ensaios*. Rio de Janeiro, 2017. 29p.
4. \_\_\_\_\_. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014. 238p.
5. \_\_\_\_\_. *NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2016. 9p.
6. \_\_\_\_\_. *NBR 15270 -2: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 2: Métodos de ensaios*. Rio de Janeiro, 2017. 29p.
7. \_\_\_\_\_. *NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade*. Rio de Janeiro, 2012. 3p.

- 8.\_\_\_\_. *NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)*. Rio de Janeiro, 2012. 4p.
- 9.\_\_\_\_. *NBR 15270-1: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1: Requisitos*. Rio de Janeiro, 2017. 26p.
- 10.\_\_\_\_. *NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação de massa específica*. Rio de Janeiro, 2001. 5p.
- 11.\_\_\_\_. *NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
- 12.\_\_\_\_. *NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 2017. 4 p.
13. BRASIL. *RESOLUÇÃO CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005* Publicada no DOU no 84, de 4 de maio de 2005, Seção 1, páginas 63-65.
14. BRASIL. *POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS PNRS Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010* Publicada no DOU de 3 de agosto de 2010, 23p.
15. BRASIL. *MARCO LEGAL DO SANEAMENTO BÁSICO Lei 14.026, de 15 de julho de 2020* Publicada no DOU no135, de 16 de julho de 2020, Seção 1, 26 p.
16. BARBOSA, Jéssica G. *Gestão Ambiental em Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário: alternativas para o lodo de esgoto. Revista Especialize On-line IPOG*. v. 01, n. 15. 2018Disponível em: < <https://ipog.edu.br/wp-content/uploads/2020/11/jessica-goncalves-barbosa-pagyn12-175131614.pdf> > Acesso em: 20/11/2022.
17. CHAGAS, L. S.V.B. *Estudo da incorporação de lodo de esgoto calcinado em argamassas como substituto parcial do Cimento Portland*. 2019. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: < <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/36164> >. Acesso em: 26/03/2022.
18. PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. *Destinação Final de Lodos de ETAs e ETEs*. 2018. Disponível em: < <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-etes/> >. Acesso em: 28/03/2022.
19. GONÇALVES, D. B.; MOL, M. P.G. *Destinação final de lodo de esgoto: proposição para auxílio em tomadas de decisão a partir de uma revisão de literatura. Revista AIDIS*, v. 14, n.1, p. 90-106.2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.69959> >. Acesso em: 19/11/2022.
20. MARANGONI, B.; ZALESKI, A.; VANZETTO, S. C. *Avaliação da incorporação de lodo de ETE como substituição ao agregado miúdo na matriz de concreto. PERSPECTIVA*, Erechim. v. 42, n.158, p. 21-30. 2018. Disponível em: < [https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/158\\_708.pdf](https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/158_708.pdf) >. Acesso em: 26/03/2022.
21. QUEIROZ, G. B. de. *Diagnóstico da gestão do lodo de uma ete em escala real. TCC. Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, Natal, 2019. Disponível em: < [https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2021/01/DIAGNOSTICOGESTAODOLODO\\_GABRIELAQUEIROZ\\_2019.pdf](https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2021/01/DIAGNOSTICOGESTAODOLODO_GABRIELAQUEIROZ_2019.pdf) >. Acesso em: 29/04/2022.
22. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO BÁSICO – SNIS: *Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento 2020*. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>>. Acesso em 18/04/2022.
23. VERONESE, R. B.A.; MOREIRA, K. C.B.M.; SIDEL, S. M.; D’OLIVEIRA, M. C.P.E.. *Avaliação do uso de cinza do lodo de esgoto como substituição parcial ao uso do cimento em misturas de concreto. Revista de Engenharia e Tecnologia*, V. 13, n. 2, p.274-281. 2021. Disponível em: < <https://www.revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/18041> >. Acesso em: 26/03/2022.