

AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE ETE COMO ADIÇÃO MINERAL EM CONCRETOS

Felipe Wally Jorge (Universidade Federal do Rio Grande) E-mail: felipewally@hotmail.com
Alessandra Buss Tessaro (Universidade Federal do Rio Grande) E-mail: alessandrabuss@gmail.com
Luciano Lopes da Silva (Universidade Federal do Rio Grande) E-mail: lucianols@hotmail.com
Eduardo Lucas Acosta Mathies (Universidade Católica de Pelotas) E-mail: eamathies@gmail.com
Flávia Costa de Mattos (Universidade Federal do Rio Grande) E-mail: fcmattos@vetorial.net
Jorge Luiz Oleinik Nunes (Universidade Federal do Rio Grande) E-mail: jorgeoleinik@gmail.com
Jorge Luiz Saes Bandeira (Universidade Federal do Rio Grande) E-mail: jorge-band@hotmail.com

Resumo: O presente trabalho avaliou a substituição de cimento por cinzas de lodo de ETE na obtenção de concretos de cimentos Portland. Foram realizados ensaios de DRX, determinação do índice de atividade pozolânica, granulometria a laser. Foram realizados ensaios nos agregados e nas cinzas do lodo ensaios de granulometria (NM 248/03), determinação de massa específica (NBR 16916/21) e determinação da massa unitária (NM 45/06). Foram elaborados concretos com 0%, 2,5% e 5% de resíduo. Nos concretos foram avaliados trabalhabilidade (NBR 16889/20), resistência à compressão axial (NBR 5739/18), índice de vazios e absorção de água (NBR 9778/09). As análises de DRX demonstram que o resíduo foi constituído essencialmente por SiO_2 , podendo ser classificado como pozolana, comprovado pelo ensaio de IAP onde atingiu um valor superior ao mínimo para considerá-la como material efetivamente pozolânico. Quanto à trabalhabilidade, conforme foi adicionado lodo diminuiu o abatimento. Quanto à compressão axial, para 2,5% de adição de lodo houve um acréscimo de 9% na resistência e já para a adição de 5% houve 10% de decréscimo. Em relação a análise de resistência à compressão axial, obtivemos apenas resultados maiores de 30MPa, o que possibilita seu uso para fins estruturais. Quanto ao índice de vazios e absorção de água, adicionar 5% de lodo ocasiona uma leve redução de índice de vazios e absorção de água.

Palavras-chave: Lodo de ETE; Adição mineral; Concreto.

EVALUATION OF THE INCORPORATION OF ETE SLUDGE AS A MINERAL ADDITION IN CONCRETE

Abstract: The present work evaluated the replacement of cement by ETE sludge ash in obtaining Portland cement concretes. XRD tests, determination of the pozzolanic activity index, laser granulometry were carried out. Tests were carried out on the aggregates and on the ashes of the sludge granulometry tests (NM 248/03), determination of specific mass (NBR 16916/21) and determination of unit mass (NM 45/06). Concrete was prepared with 0%, 2.5% and 5% of waste. In concrete, workability (NBR 16889/20), axial compression strength (NBR 5739/18), void index and water absorption (NBR 9778/09) were evaluated. The XRD analysis demonstrates that the residue was essentially constituted by SiO_2 , which can be classified as pozzolan, proven by the IAP test where it reached a value above the minimum to consider it as an effectively pozzolanic material. As for workability, as sludge was added, the abatement decreased. As for the axial compression, for 2.5% of addition of sludge there was a 9% increase in strength and for the addition of 5% there was a 10% decrease. Regarding the analysis of axial compressive strength, we only obtained results greater than 30MPa, which allows its use for structural purposes. As for the void index and water absorption, adding 5% of sludge causes a slight reduction in the void index and water absorption.

Keywords: ETE sludge; Mineral addition; Concrete.

1. Introdução

A palavra sustentabilidade está em alta nos debates sobre a evolução da Engenharia Civil na nossa sociedade, hoje é praticamente impossível falar sobre os caminhos que seguiremos sem pensar em um mundo com menos impactos negativos na natureza. A

revolução industrial do século passado deixou fortes cicatrizes no planeta, erros que não são mais admitidos na geração presente, que visa deixar um mundo mais limpo, agradável ao bem-estar humano e próspero para as gerações futuras (BURSZTYN; BURSZTYN, 2013).

Cidades se desenvolveram e se adequaram ao crescimento populacional das últimas décadas, trazendo assim alguns desafios para quem as planeja. O aumento dos mais variados resíduos gerados pelas atividades humanas tornou-se um problema a ser resolvido. Manejar corretamente, reutilizar sempre que possível e descartar esses resíduos em local correto está proporcionalmente relacionado com a preservação do meio ambiente, e uma melhor qualidade de vida de toda a sociedade (BURSZTYN; BURSZTYN 2013).

Nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), podemos nos referir ao tratamento de esgoto residencial como adversidade para o desenvolvimento da atividade. Resíduos esses que durante muito tempo foram descartados indevidamente em efluentes próximos às ETEs, e ainda comum descartar em aterros sanitários, algo que em países da Europa, só é feito após incineração, diminuindo o volume e eliminando organismos patogênicos e compostos orgânico tóxicos presentes (BARCELLOS, 2013).

Após ser recolhido nas residências pela rede de coleta, o esgoto chega nas ETE's e passa por importantes processos, primeiramente é agitado em tanques, aumentando o nível de oxigênio, as bactérias existentes degradam a matéria orgânica, se agrupam e formam o lodo de esgoto, que é recolhido para os leitos de secagem. Em seguida o efluente passa pelas lagoas de estabilização, onde novamente as bactérias entram em ação, agora auxiliada por algas também, dessa forma fazem a autodepuração do material. A próxima etapa acontece nos tanques anaeróbicos, onde microrganismos anaeróbicos digerem os compostos orgânicos ainda presentes nos efluentes, dessa etapa saem três correntes de resíduos, sólido que vai para o leito de secagem também, gasoso, que são tratados para redução de danos e soltos na atmosfera e a parte líquida que é destinada ao último processo, as bacias de infiltração, onde o solo funciona como filtro e a água tratada pode voltar ao rio, lençol freático ou corpo d'água (BARCELLOS, 2013).

Essa substância que é recolhida para os leitos de secagem, chamada lodo de esgoto, é um composto semissólido, rico em nutrientes e matéria orgânica e sua reutilização é de suma importância, se efetuada da maneira correta, para a preservação do nosso ecossistema. Evitar que esse material seja depositado em lugares inadequados, como lixões e aterros sanitários, diminuindo a contaminação do solo e de mananciais próximos a essas áreas e reutilizá-lo de diferentes formas tem sido pautas recorrentes nas discussões de pessoas que visam um mundo mais sustentável. Cerca de 40% do volume total do lodo é de matéria orgânica, além de macro e micronutrientes, algo que despertou interesses de muitos estudos que visam usar essa massa para produção agrícola (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

O objetivo geral deste trabalho foi estudar a viabilidade da utilização das cinzas resultantes da queima de lodo gerado no tratamento de esgoto (lodo de esgoto) como adição mineral no concreto.

2. Metodologia

A Estação de Tratamento de Efluentes Parque Marinha, situada na cidade de Rio Grande/RS, foi o ponto de coleta do lodo usado nesse experimento. No dia 24 de março de 2021 foi coletado cerca de 50 kg do material, que estava disposto nos leitos de secagem da ETE. Na coleta foi utilizado luvas de proteção e um balde plástico com

tampa, transportado até o Laboratório de Materiais de Construção Civil da Escola de Engenharia da FURG. Este material é retirado através de draga nos processos de limpeza de manutenção da lagoa, e encaminhado para o leito de secagem para operações de desaguamento e secagem do lodo e, posterior descarte em área da empresa utilizada para este fim. Segundo análises ambientais, estes lodos foram classificados conforme a norma NBR:10004 ABNT (2004) como um resíduo classe II A (não perigoso e não inerte).

As queimas das amostras de lodo bruto em escala laboratorial ocorreram no Laboratório de Materiais da FURG, sendo realizada em um forno mufla elétrico, sob uma taxa de aquecimento de 10° C/min e tempo de permanência de 180 minutos na temperatura de 850oC. Após conclusão do período estipulado de queima, procedeu-se com o desligamento do forno, deixando-se este esfriar até uma temperatura aproximada de 30° C para então fazer a retirada das cinzas.

Objetivando entender o comportamento do lodo quando submetido a altas temperaturas, bem como definir a faixa de temperatura a ser utilizada para queima destes, submeteu-se o material coletado a análise termogravimétrica (TGA). Utilizando-se uma quantidade de 10 mg de lodo bruto em cadinho de platina, para uma faixa de temperatura de 0o C a 1000° C, sob uma taxa de aquecimento de 10°C/min, em atmosfera de ar sintético com vazão do gás a 50 ml/min.

Procedeu-se com a moagem do lodo, pelo método de ensaio de abrasão de Los Angeles, no aparelho da marca Solotest, disponibilizado pelo Laboratório de Materiais da FURG. As cinzas foram caracterizadas através de:

- Análise mineralógica por difração de raios X (DRX);
- Ensaio de determinação do índice de atividade pozolânica com cimento: Conforme a norma NBR 5752 (ABNT, 2014).
- Granulometria a laser.

O ensaio de determinação do índice de atividade pozolânica foi conduzido de acordo com a NBR 5752 (ABNT, 2014). Para se constatar a pozolanicidade do material, a argamassa com 25% de substituição de cimento por adição deve ter resistência à compressão maior ou igual a 90% da resistência à compressão da argamassa de referência (sem substituição), conforme a NBR 12653 (ABNT, 2014). Foi realizado o preparo das argamassas e utilizado moldes com geometria cilíndrica de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, sendo 6 de referência, contendo apenas cimento Portland (Argamassa A), e 6 argamassas com substituição parcial de 25% do cimento Portland (Argamassa B).

A mistura e a moldagem seguiram as prescrições da NBR 7215 (ABNT, 2019). Para a homogeneização dos materiais utilizou-se um misturador mecânico com capacidade de 5L. Após a mistura dos materiais, as argamassas foram colocadas nos moldes cilíndricos, em quatro camadas, aproximadamente iguais, aplicando-se, com o auxílio de soquete metálico, 30 golpes homogeneamente distribuídos para cada camada.

Após moldagem, os corpos de prova foram submetidos a processos de cura por 24 h a temperatura ambiente, e após retirada dos moldes, durante 28 dias submerso em água, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2019).

O ensaio de resistência à compressão simples, foi realizado de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2019), na prensa mecânica do Laboratório de Materiais. A ruptura à compressão dos corpos de prova foi realizada aos 14 e 28 dias e os valores obtidos para as argamassas com substituição (Argamassa B), foram comparados com os valores de resistência à compressão das argamassas de referência (Argamassa A).

Com os resultados de resistência à compressão, determina-se o índice de atividade pozolânica (IAP), de acordo com a NBR 5752 (ABNT, 2014), por meio da Equação 1.

$$i = f_{cB} / f_{cA} \times 100 \quad i = f_{cB} / f_{cA} \times 100$$

Onde:

i: Índice de atividade pozolânica (%);

f_{cB} : Resistência média dos corpos de prova moldados com cimento e adição pozolânica (MPa);

f_{cA} : Resistência média dos corpos de prova moldados apenas com cimento (MPa).

O cimento escolhido para elaboração desse trabalho foi do CPV ARI RS, da marca Votoran, escolhido por ser tratar de um tipo de cimento com desforma rápida.

Após secagem em estufa, o agregado miúdo foi acondicionada em baldes plásticos com tampa, e guardados em locais protegidos de intempéries. Para caracterizar esse material foram realizados os ensaios de:

- Granulometria: segundo a NBR NM 248/03.
- Determinação de massa específica: segundo a NBR 16916/21.
- Determinação da massa unitária: segundo a NBR NM 45/06.

O agregado graúdo depois de seco, foi guardado em baldes plásticos com tampa e depositados em local protegido de intempéries. Afim de caracterizar esse material foram realizados os seguintes ensaios:

- Granulometria: segundo a NBR NM 248/03.
- Determinação de massa específica: segundo a NBR 16916/21.
- Determinação da massa unitária: segundo a NBR NM 45/06.

Para o presente estudo, os traços (cimento:areia:brita) adotados tiveram proporção 1:2:3, para uma relação 0,35 A/AGL. Foi escolhida esta composição por ser uma formulação viável economicamente e que facilita o incremento do resíduo estudado sem que seja necessário o uso de aditivos plastificantes.

A fim de avaliar as consequências técnicas e ambientais da incorporação de cinzas de lodo de ETE, foram elaborados concretos contendo adições de 0%, 2,5% e 5% deste resíduo em relação a massa de cimento utilizada.

De acordo com a NBR 5738/16 foram confeccionados 48 corpos de prova, seguindo indicações de moldagem e cura. Cada material utilizado (cimento, areia, brita, resíduo e água) foi pesado separadamente, em balança de precisão e acondicionados em baldes até o momento do preparo. Para a mistura, foi usada uma betoneira. Após moldagem, os corpos de prova foram deixados em repouso durante 24 horas, dentro do laboratório, protegidos do sol e de intempéries. Realizaram-se então, após o desmolde dos corpos de prova, o processo de cura por imersão, até a data de realização dos ensaios previstos para a amostra.

Para a avaliação da trabalhabilidade dos concretos frescos, determinou-se a consistência destes através do ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test) de acordo com as recomendações da norma NBR 16889 (ABNT, 2020).

Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados nas idades de 7, 14 e 28 dias, seguindo as prescrições da norma NBR 5739 (ABNT, 2018).

Nas datas de rompimento os corpos de prova foram retirados do tanque de cura, submetidos a processo de regularização das superfícies de carregamento em retífica para concreto e em seguida realizados os rompimentos das amostras em uma máquina de ensaios mecânicos.

Os ensaios para determinação do índice de vazios e absorção de água dos concretos foram realizados na idade de 28 dias, seguindo os procedimentos descritos na norma NBR 9778 (ABNT, 2009).

3. Resultados e Discussão

Quanto ao lodo in natura, pôde-se observar que o resíduo in natura foi constituído essencialmente por SiO_2 e Fe_2O_3 , que corresponderam a cerca de 46%, com predominância de sílica e óxido de cálcio. Todos os compostos detectados estavam presentes no lodo associados aos minerais identificados por DRX (Figura 1A). Destaca-se que o lodo de ETE foi constituído principalmente quartzo (SiO_2). A presença de CaCO_3 provavelmente se deu em consequência ao tratamento que o lodo recebeu com cal hidratada na etapa de desinfecção e de inertização. Através do método de granulometria a laser, indica que o lodo de esgoto de ETE utilizado atingiu valores muito próximos ao estabelecido pela NBR 12653 (ABNT, 1992), que define um limite mínimo de finura para as pozolanas artificiais tipo E, em que o percentual máximo retido na peneira $45\mu\text{m}$ deve ser de 34%. O lodo utilizado, de acordo com a granulometria a laser, possui mais de 90% dos seus grãos inferiores a $37\mu\text{m}$ e tamanho médio de $2,98\mu\text{m}$ (Figura 1B).

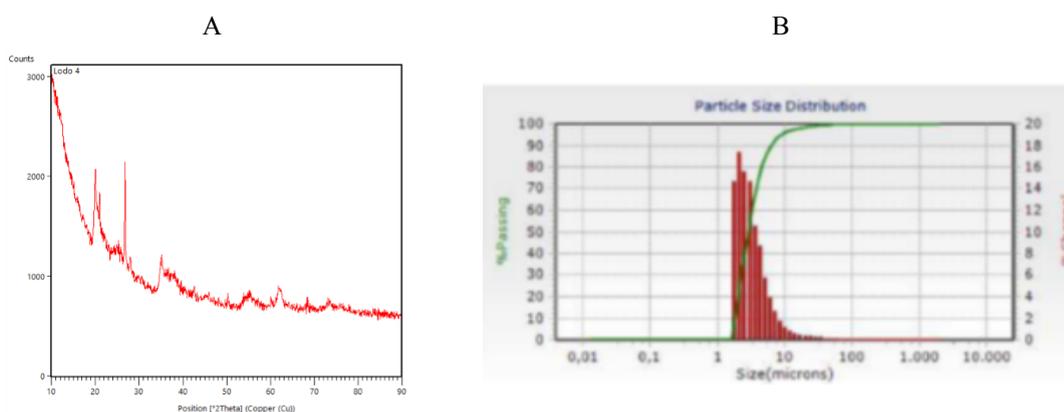


Figura 1 - Difratoograma de raios X e granulometria a laser do resíduo de ETE

Para a determinação da temperatura de eliminação da umidade higroscópica e da matéria orgânica presentes no lodo utilizado, uma amostra do lodo foi submetida à análise termogravimétrica (TGA), com taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$. O lodo tem uma substancial perda de massa (cerca de 80%), até a temperatura de 500°C , decorrente possivelmente da eliminação da umidade higroscópica e da matéria orgânica.

Quanto à composição química da cinza do lodo de ETE. Pôde-se observar que o resíduo foi constituído essencialmente por SiO_2 , que correspondeu a cerca de 67%, com predominância de sílica. Todos os compostos detectados estavam presentes na cinza de lodo relacionados aos minerais identificados por DRX. Destaca-se que a cinza de lodo foi constituída principalmente por quartzo (SiO_2). A presença de CaCO_3 provavelmente se deu devido ao tratamento recebido (Figura 2A). A granulometria a laser indica que a cinza do lodo de ETE utilizado atingiu valores muito próximos ao estabelecido pela NBR 12653 (ABNT, 1992), que define um limite mínimo de finura para as pozolanas artificiais tipo E, em que o percentual máximo retido na peneira $45\mu\text{m}$ deve ser de 34%. O lodo utilizado, de acordo com a granulometria a laser, possui mais de 90% dos seus grãos inferiores a $11\mu\text{m}$ e tamanho médio de $2,94\mu\text{m}$ (Figura 2B).

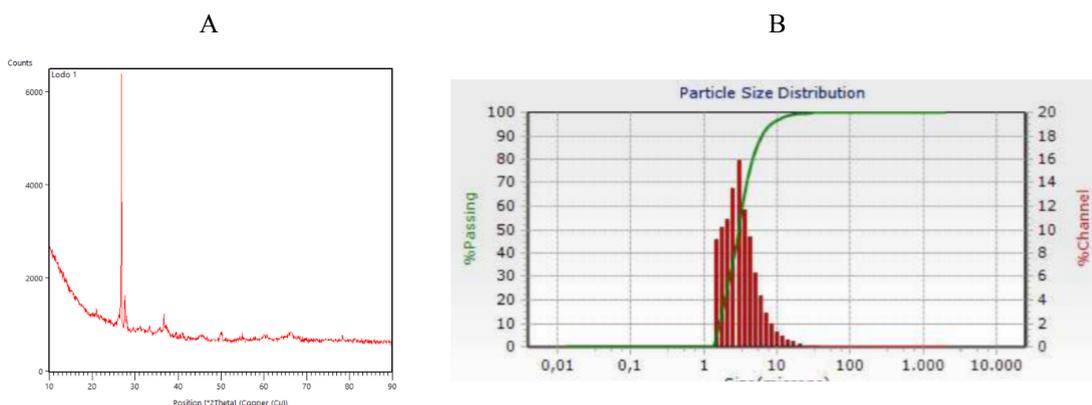


Figura 2 - Difratoograma de raios X e granulometria a laser da cinza do lodo de ETE

O ensaio de determinação do índice de atividade pozolânica foi realizado conforme NBR 5752 (ABNT, 2014). A ruptura à compressão dos corpos de prova foi realizada aos 14 e 28 dias e os valores obtidos para as argamassas com substituição (B), foram comparados com os valores de resistência à compressão das argamassas de referência (A) na Tabela 1.

Tabela 1 – Ruptura à compressão dos corpos de prova

	A	B
	14 dias	
Média	19,81	17,57
Desvio padrão	1,06	3,71
	28 dias	
Média	23,81	21,63
Desvio padrão	1,16	2,42

Com os resultados de resistência à compressão, determinou-se o índice de atividade pozolânica (IAP), de acordo com a NBR 5752. Aos 7 dias o IAP foi de 88,7%. Aos 28 dias o IAP foi de 95,31%.

A areia utilizada foi obtida comercialmente. A curva granulométrica está representada na Figura 3A. A absorção de água dos agregados miúdos foi realizada através da ABNT NBR NM 30:2001, obtendo-se um percentual de 1,43% de absorção. A massa específica dos agregados miúdos foi determinada pela ABNT NBR NM 52:2009, chegando em um valor de 2,63 kg/m³.

O agregado gráudo utilizado foi obtido comercialmente. A curva granulométrica está representada na Figura 3B. A absorção de água dos agregados gráudos foi através ABNT NBR NM 53:2009, obtendo-se o valor de 0,72% de absorção. A massa unitária dos agregados gráudos foi realizada pela ABNT NBR NM 45:2006, chegando-se ao valor de 2,64 kg/m³.

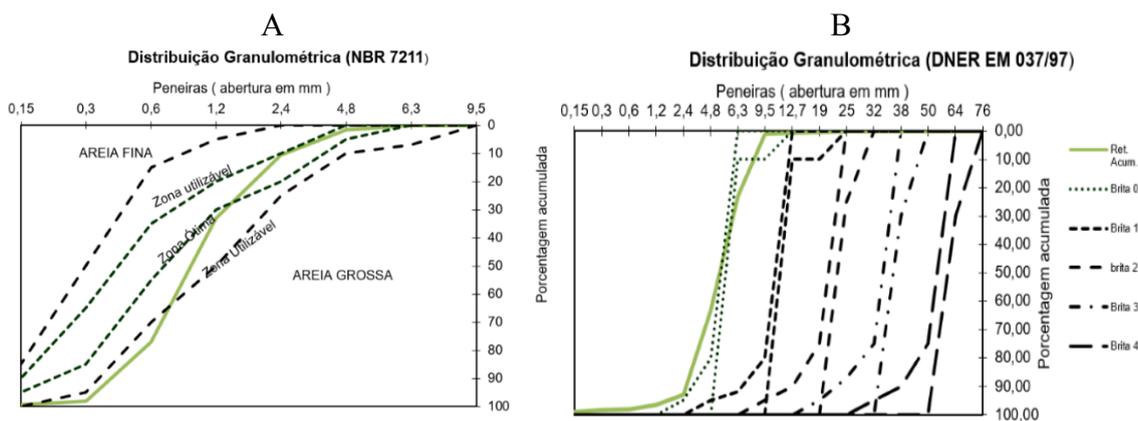


Figura 3 – Curva Granulométrica do agregado miúdo

Imediatamente após a produção dos concretos, determinou-se a trabalhabilidade de cada um destes, obtendo como resultados os abatimentos expressos na Tabela 2. Conforme foi adicionado lodo diminuiu o abatimento.

Tabela 2 – Trabalhabilidade do concreto

Concreto	Abatimento (mm)
Conc ref	90
Conc 2,5	50
Conc 5	28

Nos trabalhos feitos por Monzó et al. (2003), Cry et al. (2007) e Lima (2013), também identificaram decréscimo de trabalhabilidade das argamassas com a adição de cinzas na mistura. Pode ser ocasionado pela higroscopicidade da cinza, onde absorveram água livre reduzindo a trabalhabilidade e também pela forma de incorporação da cinza em substituição do cimento e não dos agregados, diminuindo a relação água/materiais secos tornando os concretos menos fluidos.

Na trabalhabilidade do concreto feito por Hoppen et al. (2006), obteve-se abatimento do tronco de cone de 36 mm para o traço de 4% e de 18 mm para o traço de 8%, que pode ter resultado do aumento dos finos necessitando uma maior quantidade de água para a mesma consistência. Para aumentar a trabalhabilidade do concreto com 8% de lodo, os autores dizem ser necessário aumentar a relação a/c, para diminuir a resistência mecânica final. Outra maneira seria utilizar aditivos plastificantes. Neste trabalho a melhor consistência foi com a adição de 4% de lodo.

Segundo Petrucci (1993), o abatimento de 18 mm é considerado consistência seca e pode ser utilizado em obras estruturais de concreto armado ou protendido e, o de 36 mm, como de consistência rija, sendo indicado para estruturas correntes.

A consistência do concreto feito por Hoppen et al. (2006), demonstrou uma grande redução para o concreto com adição de 3% de lodo. A partir dessa porcentagem, o decréscimo foi praticamente linear, até atingir o valor mínimo (abatimento nulo) com a adição de 10% de resíduo, os autores evidenciam que os finos do lodo aumentam a absorção de água e reduz a trabalhabilidade do concreto. Os concretos com 7% e 10% de lodo apresentaram dificuldade de adensamento, mesmo utilizando vibradores de imersão devido à sua consistência. A principal desvantagem da adição de lodo está no

aumento do custo de produção dos concretos. Os autores concluem que os concretos com até 5% de lodo podem ser aplicados em blocos, peças e artefatos de concreto, inclusive de geometrias mais complexas, pois não há necessidade de vibradores mecânicos. Acima desse teor, é indicado para aplicações que não dependam de adensamento manual e cujo formato não apresente complexidade.

No trabalho de Geyer (2001) a adição de cinza de lodo reduziu a consistência para as adições de 5 e 10% de lodo e aumentou para 15 e 20% em relação ao concreto sem adição.

A Tabela 3 apresenta os valores em Mpa dos corpos de prova e a análise estatística da resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados aos 7 e 28 dias.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de compressão

Referência (Mpa)			
	7 dias		
	Ref	2,5	5
Média	35,88	38,39	34,03
Desvio Padrão	1,29	0,50	0,99
	28 dias		
Média	52,20	57,05	47,07
Desvio Padrão	1,43	1,34	2,45

Com base nos resultados dos rompimentos dos corpos de prova aos 28 dias, é possível analisar as resistências à compressão da seguinte forma: o concreto referência teve resistência média de aproximadamente 52MPa enquanto para o concreto com substituição de 2,5% de lodo a resistência à compressão ficou por volta de 57MPa, e o concreto com substituição de 5% obteve existência a compressão de 47MPa. Em relação a análise de resistência à compressão axial, obtivemos apenas resultados maiores de 30MPa, o que possibilita seu uso para fins estruturais.

Na resistência à compressão axial no trabalho de Lima (2013), às melhorias causadas pela adição das cinzas de lodo nos concretos em seu estado fresco propiciaram a obtenção de corpos de prova mais compactos e menos porosos, que conduziam estas amostras a obtêm resultados de resistência mecânica à compressão superiores aos do concreto sem resíduo em todas as idades do concreto. A redução nas resistências dos concretos com 10 e 20% de resíduos aos 91 dias podem ser atribuídas a ocorrência de possíveis reações de degradação das matrizes cimentícias com as cinzas.

Geyer (2001) relatou em seu trabalho que com pequenos percentuais de adição é pequena a redução na resistência à compressão. Isso se dá porque a adição das cinzas em pequenos percentuais, em substituição ao cimento, pode ajudar no fechamento de poros de concreto do concreto. Com esta adição possui uma variada granulometria, os finos podem auxiliar a que não baixe significativamente a resistência, como ocorreu com as adições de 5 e 10%. À medida que o teor de cinza aumenta, a resistência decresce com maior intensidade, chegando-se a uma perda de ordem de até 22 para 20% de adição.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), a resistência mais utilizada nas estruturas é a moderada, na qual a resistência à compressão varia entre 20 e 40 Mpa. Helene e Terziani (1992) confirmam que a existência para garantir a viabilidade do concreto deve

ser superior a 20 Mpa, limite atingido aos 28 dias no trabalho de Feitosa (2009) para a proporção de 5%. As resistências nas proporções de 10 a 15% resultam abaixo deste valor.

A Tabela 4 apresenta os valores de índice de vazios dos corpos de prova com idade de 28 dias.

Tabela 4 – Índice de vazios dos corpos de prova com idade de 14 dias

Concreto	ref	2,5	5
Média	12,60016	15,98528	12,3972
Desvio Padrão	0,801294	0,564644	0,702266

A Tabela 5 apresenta os valores de absorção dos corpos de prova com idade de 28 dias.

Tabela 5– Absorção dos corpos de prova com idade de 14 dias

CP	ref	2,5	5
Média	5,604236	7,436321	5,536273
Desvio Padrão	0,387884	0,28774	0,335312

Como mostrado, a adição de lodo a 2,5% aumentou a absorção de água dos corpos de prova e a adição de lodo a 5% diminuiu a absorção de água dos corpos de prova. O concreto com substituição de 5% de lodo obteve menor absorção do que o referência. Em relação a análise de absorção identificou-se que conforme aumentou a absorção de água diminuiu a resistência. Também verificamos que para todos os traços foram obtidas absorções inferiores a 8% aos 14 dias, o que possibilita, quanto a absorção, o seu emprego para fins estruturais.

A partir dos resultados, pode-se observar a adição de lodo a 2,5% aumentou o índice de vazios dos corpos de prova e a adição de lodo a 5% diminuiu o índice de vazios dos corpos de prova. O concreto com substituição de 5% de lodo obteve menor o índice de vazios do que o referência. A redução do índice de vazios, possivelmente, está associada à melhor distribuição granulométrica resultante e melhor empacotamento das partículas.

No trabalho de Geyer (2001), a absorção por imersão com relação a/c 0,8 não se observou influência do teor de adição, as adições reduziram a absorção, mas com a/c 1,10, 10% de adição reduziu a absorção e com 20% aumentou.

Lima (2013) relata que o uso de cinzas de lodo ocasionou uma leve redução nos índices de vazios e absorção de água dos corpos de prova contendo esse resíduo, sendo esta melhoria atribuída ao efeito de refinamento da estrutura de poros destes concretos, porém tem-se que estes resultados são elevados, o que acaba tornando os concretos bastante susceptíveis a possíveis ações de agentes agressivos.

4. Conclusões

As análises de DRX demonstraram que o resíduo foi constituído essencialmente por SiO₂, que correspondeu a cerca de 67%, com predominância de sílica, podendo ser classificados como pozolanos. Isso foi comprovado pelo ensaio de IAP onde

verificou-se que a amostra atingiu um valor superior ao mínimo para considerá-la como material efetivamente pozolânico.

Quanto a trabalhabilidade, conforme foi adicionado lodo diminuiu o abatimento. Este comportamento pode ser atribuído pela capacidade de a cinza reter umidade, por ser muito fino fazendo com que haja diminuição da relação a/c do concreto.

Quanto à compressão axial, para 2,5% de adição de lodo houve um acréscimo de 9% na resistência e já para a adição de 5% houve 10% de decréscimo. Em relação a análise de resistência à compressão axial, obtivemos apenas resultados maiores de 30MPa, o que possibilita seu uso para fins estruturais.

Quanto ao índice de vazios e absorção de água adicionar 5% de lodo ocasiona uma leve redução de índice de vazios e absorção de água, podendo esse efeito ser atribuído ao refinamento dos poros de concreto.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 5738: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.* Rio de Janeiro, 2003. 6p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 5739: Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.* Rio de Janeiro, 2007. 9p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. *NBR 5752: Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento.* Rio de Janeiro, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão,* 1996.

Associação brasileira de normas técnicas. *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica,* 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. *NBR 10.004 resíduos sólidos – Classificação.* Rio de Janeiro, Brasil, 63 pp, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. *NBR 12653: Materiais pozolânicos.* Rio de Janeiro, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 16889: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.* Rio de Janeiro, p. 5. 2020.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR NM 30. Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.* 2001.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR NM 45. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.* 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR NM 52: Agregado miúdo — Determinação da massa específica e massa específica aparente.* Rio de Janeiro, 2009. 6p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR NM 53: Agregado graúdo — Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.* Rio de Janeiro, 2009. 8 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR NM 248/2003.* Agregados. Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003

ASSUNÇÃO, J.V.; PESQUERO, C.R. Dioxinas e furanos: origens e riscos. *Revista de Saúde Pública*, v. 33, n.5, p. 523-30, 1999.

BARCELLOS, E. E. *Avaliação da incorporação de lodo de estação de tratamento de esgoto como matéria-prima na produção de materiais cerâmicos.* Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Pelotas Pelotas, 2013.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. *Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura.* In: Embrapa Meio Ambiente-Livros científicos (ALICE). 2006.

BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. A. *Fundamentos de política e gestão ambiental – Caminhos para a sustentabilidade.* Rio de Janeiro: Garamond. 2013. 604 p.

CYR ET AL.(2007), MARTIN CYR, MARIE COUTAND E PIERRE CLASTRES. Technological and environmental behavior of sewage sludge ash (ssa) in cement-based materials. *Cement and Concrete Reseach*, 37(8):1278-1289.

GEYER, R. T. *Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria elétrica como adição ao concreto.* 2001. 170p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HELENE, P.R.L.;TERZIAN, P. *Manual de Dosagem e Controle do Concreto.* São Paulo: Pini; Brasília: SENAI, pp.349, 1992.

HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; TRINDADE, E. M.; ANDREÓLI, C. V. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. *Quim. Nova*, Vol. 29, No. 1, 79-84, 2006.

MACEDO, R. S; MENEZES, R.R; NEVES, G. A; FERREIRA, H.C. Estudo de Argilas Usadas em Cerâmica Vermelha. *Revista Cerâmica*, v. 54, n. 332, p. 411-417, 2008.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.* São Paulo, Ed. Pini, p.573, 1994.

Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC). Relatório Anual. 2020. Rio de Janeiro: SNIC; 2020. Available from: <http://www.snic.org.br/pdf/RelatorioAnual2020final.pdf> Access in: 7/3/2021» <http://www.snic.org.br/pdf/RelatorioAnual2013final.pdf>

LIMA. J. F. *Avaliação da incorporação de cinzas de lodo de esgoto como adição mineral em concretos de cimento Portland.* Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal- RN, 2013.

MONZÓ ET AL.(2003) J. MONZÓ, J. PAYÁ, M.V. BORRACHERO E I. GIRBÉS. Reuse of sewage sludge ashes (ssa) in cement mixtures: the effect of {SSA} on the workability of cement mortars. *Waste Management*, 23(4):373-381.

PETRUCCI, E. G. R.; *Concreto de Cimento Portland*, 12. ed., Globo: São Paulo, 1993.