

AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE ETE COMO SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NA MATRIZ DE CONCRETO

Avaluation of the incorporation of ete sludge as replacement to the fine aggregate in the concrete matrix

Bruno Marangoni¹; Alessandra Zaleski²; Suelen Cristina Vanzetto³.

¹ Graduando em Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim. *E-mail*: b-marangoni@outlook.com

² Graduanda em Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim.

³ Professora, Mestre, do Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim.

Data do recebimento: 12/02/2018 - Data do aceite: 05/04/2018

RESUMO: A geração de resíduos nas indústrias vem preocupando e despertando a conscientização da necessidade de estudos para melhorar o ciclo de produção e adequar a destinação final dos resíduos gerados. O lodo é um subproduto sólido gerado em grande quantidade pelas Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) e sua disposição final deve ser controlada, sendo as alternativas mais comuns a incineração, o aterro sanitário ou a reutilização em novos produtos. Esta pesquisa buscou avaliar a viabilidade de utilização do lodo de ETE em substituição parcial do agregado miúdo na fabricação de concreto, compreendendo a caracterização dos materiais empregados no experimento e o estudo do efeito das substituições de 5%, 10% e 15% de lodo nas propriedades fundamentais dos concretos, tanto no estado fresco quanto no endurecido. Para os resultados encontrados na resistência à compressão uniaxial, houve um acréscimo de 10,94% e 14,59% entre a mistura de referência e os teores de substituição de 5% e 10%, respectivamente. Para a resistência à tração por compressão diametral, o teor de 10% apresentou influências não significativas quando comparado ao teor de referência, tendo um decréscimo de 6,06%. Quanto ao índice de absorção, os teores de 5% e 10% obtiveram um decréscimo de 0,78 g/cm³ e 0,64 g/cm³, respectivamente, quando comparados ao teor de 0%. De modo geral, comparando os resultados obtidos para cada teor de substituição com o teor de referência, é possível observar que a

utilização do lodo em substituição parcial de 5% e 10% do agregado miúdo é viável para concretos com funções não estruturais.

Palavras-chave: Resíduos. Lodo de ETE. Agregado Miúdo. Concreto.

ABSTRACT: The generation of waste in industries has been worrying and raising awareness of the need for studies to improve the production cycle and to tailor the final destination of the generated waste. Sludge is a solid by-product generated in large quantities by Effluent Treatment Plants (ETP) and its final disposal should be controlled by common alternatives such as incineration, landfilling or for reuse in new products. The aim of this research was to evaluate the feasibility of using ETP sludge to partially replace the small aggregate in the concrete manufacturing, including the characterization of the materials used in the experiment and the study of the effect of the replacement of 5%, 10% and 15% of sludge in the fundamental properties of the concrete, both in the fresh and hardened state. Based on the results found in the uniaxial compression strength, there was an increase of 10.94% and 14.59% between the reference mixture and the substitution contents of 5% and 10%, respectively. For tensile strength by diametrical compression, the 10% content had no significant influence when compared to the reference content, having a decrease of 6.06%. As for the absorption index, the contents of 5% and 10% obtained a decrease of 0.78 g / cm³ and 0.64 g / cm³, respectively, when compared to the content of 0%. In general, it is observed that the use of sludge in partial replacement of 5% and 10% of the fine aggregate is feasible for non-structural function concretes, comparing the results obtained for each substitution content with the reference content.

Keywords: Waste. ETE sludge. Fine Aggregate. Concrete.

Introdução

A elevada produção de resíduos sólidos é um problema mundial. Segundo Barroso et. al. (2008), a destinação final inadequada desses resíduos gerados pelas indústrias causa uma séria preocupação ambiental. Os impactos decorrentes podem ser evidenciados pela poluição dos recursos hídricos, da atmosfera, do solo, além da geração de problemas socioeconômicos.

Dentre os diversos impactos gerados, pode-se citar os resíduos produzidos pela

manufatura e suas atividades diárias. Esses resíduos são chamados de efluentes e variam de acordo com o tipo de produção da empresa. Por lei, o efluente não pode ser descartado diretamente no meio ambiente, antes deve passar por tratamento para diminuir a quantidade de poluentes através de uma Estação de Tratamento de Efluente (ETE) nas indústrias.

O órgão responsável pela criação e fiscalização das leis ambientais é denominado de Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Atualmente, as resoluções que regulamentam o lançamento de efluentes no Brasil são: Resolução CONAMA nº 357, de

17 de março 2005 e Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio 2011. Elas apresentam as condições e padrões de lançamento de efluentes no ambiente, mostrando os parâmetros aceitáveis para o despejo dos resíduos. Já a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, tem como objetivo aplicar punição civil, administrativa e criminal pelo lançamento inadequado de resíduos no meio ambiente.

O lodo é um subproduto sólido gerado em grande quantidade pelas Estações de Tratamento de Efluente e, como os efluentes, deve possuir sua disposição final controlada. Dentre as alternativas mais comuns de disposição final estão a incineração, o aterro sanitário e a reutilização em novos produtos.

Uma das alternativas existentes para a disposição final adequada de lodo de ETE é a sua incorporação em produtos já fabricados, necessitando a comprovação por meio de estudos. O lodo pode ser utilizado na construção civil através da fabricação de produtos cerâmicos, da incorporação em argamassas e concretos, como também na substituição do agregado miúdo na fabricação de argamassas e concretos.

Geyer (2001) obteve resultados que mostram que a cinza de lodo pode ser utilizada como adição ao concreto, com efeito predominante em “fíler”, em até 20%. Fontes (2003) analisou as potencialidades da cinza de lodo de ETE como material suplementar para a produção de concretos com cimento Portland e os resultados mostraram que o uso é viável em até 30% devido a uma melhoria nas propriedades investigativas, além de trazer benefícios econômicos pela redução no consumo de cimento.

Diante disso, buscou-se avaliar nesta pesquisa a viabilidade da utilização do lodo de ETE em substituição parcial da areia na fabricação de concreto convencional para uso na construção civil. Utilizando dos teores de 5%, 10% e 15% de substituição, além

de um concreto-referência (sem adição de lodo), pretende-se obter uma possibilidade de aplicação que contribua na minimização da problemática da disposição final desse resíduo.

Produção de Resíduos nas Indústrias

O lixo gerado pelas atividades industriais é tecnicamente conhecido como resíduo, e os geradores são responsáveis e obrigados a cuidar de todo o seu gerenciamento, do tratamento à destinação final. A indústria é responsável por gerar grande quantidade de resíduos, sejam sobras de carvão mineral, refugos da indústria metalúrgica, resíduo químico, gás e fumaça lançados pelas chaminés das fábricas, lodos provenientes de estações industriais e cinzas de caldeiras (CASTRO, 2010).

Conforme Fernandes (2003), com o crescente aumento da concorrência e das preocupações com a melhoria da qualidade do meio ambiente, as indústrias vêm buscando alternativas para diminuir os custos visando à redução dos impactos ambientais e ao aumento da credibilidade perante o mercado consumidor.

Para Medeiros (2010), a minimização da geração dos resíduos é uma meta cada vez mais presente nas indústrias, a partir do emprego de melhorias no processo produtivo e da investigação de alternativas ao método tradicional de disposição em aterros industriais. Segundo Castro (2010), com a progressiva implantação de novas diretrizes na gestão de resíduos industriais e em busca de desenvolvimento sustentável, faz-se necessário aplicar alternativas eficazes e econômicas para o (re)aproveitamento dos resíduos industriais.

Nos últimos anos, tem-se verificado um aumento do descarte de rejeitos sólidos, bem como problemas advindos da exaustão de

matérias-primas, e isso vem impulsionando os estudos sobre aproveitamento de resíduos industriais como novos materiais, reduzindo o impacto ambiental e viabilizando a redução de custos industriais (UCKER, 2010).

Disposição Final como Uso na Construção Civil

A utilização dos resíduos sólidos como matéria-prima alternativa representa uma solução ambiental e economicamente adequada para a disposição final desses resíduos. A maior restrição da legislação ambiental, referente ao tratamento e disposição final de resíduos, e os elevados custos, estão levando as indústrias a buscarem alternativas de recuperação e reaproveitamento (PADOIN, 2011).

Os problemas ambientais resultantes da geração de resíduos da atividade humana exigem ações que viabilizem o equilíbrio entre o consumo e o reuso. A utilização de lodo de ETEs na incorporação em argamassas e concretos tem se mostrado uma alternativa viável de destinação adequada.

Segundo a pesquisa de Malhotra e Mehta (1996), os benefícios do uso de adições minerais no cimento ou em concreto podem ser divididos em três categorias: benefícios de engenharia, benefícios econômicos e benefícios ecológicos.

Benefícios de engenharia: a incorporação de finas partículas na mistura de concreto tende a melhorar a trabalhabilidade, reduzir a quantidade de água para dar consistência, incremento à resistência, redução da permeabilidade e aumento da durabilidade ao ataque químico. Também uma redução nas fissuras térmicas pode ocorrer devido a se ter um menor calor de hidratação do concreto.

Benefícios econômicos: O cimento Portland representa o mais caro dos materiais utilizados no concreto e seu custo tem

aumentado nos últimos anos devido ao aumento do custo da energia. Como a maioria dos materiais utilizados como adições são subprodutos industriais ou resíduos, obviamente quando se substitui parte do cimento por esses materiais tem-se uma redução do custo do aglomerante e, por consequência, do concreto.

Benefícios ecológicos: muitos dos subprodutos utilizados como adições minerais a cimentos ou concretos contêm nas suas composições materiais poluentes, tóxicos e mesmo patogênicos e podem ser nocivos ao homem se não forem dispostos de uma forma segura. O lançamento desses produtos em mananciais ou o descarte em aterros não tem sido uma prática segura, porque contaminam o meio ambiente em que são colocados. A indústria do cimento e do concreto tem se tornado um veículo preferencial para disposição de subprodutos, principalmente porque a maioria dos materiais contaminantes, como metais, pode ser seguramente incorporada na hidratação dos produtos do cimento.

Fontes (2003), em sua pesquisa, analisou as potencialidades da Cinza de Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos (CLE) como material suplementar para a produção de concretos com cimento Portland, sendo que os resultados mostraram que o uso da CLE é viável tecnicamente devido a uma melhoria nas propriedades investigadas, além de trazer benefícios econômicos, através da redução no consumo de cimento.

Khanbilvard et al. (1995) incineraram o lodo produzido na Estação de Tratamento de Esgotos e avaliaram o comportamento dos concretos devido a uma substituição parcial da areia natural por Cinza de Lodo de Estação. O teor de substituição foi de até 30%, de modo que puderam concluir que, apesar da resistência à compressão aos 28 dias ter reduzido à medida que o teor de CLE aumentava, o valor continuava a atender as exigências do ACI (American Concrete Institute).

Metodologia Experimental

Para a realização da pesquisa foi utilizado o resíduo final de uma indústria localizada na cidade de Erechim, RS. O lodo em questão é resultado do tratamento secundário do processo de lodos ativados convencional da indústria. Esse resíduo foi coletado e transportado até o Câmpus II da URI Erechim, onde foi disposto ao sol durante dois dias para secagem até a obtenção do peso constante. Após a secagem, o lodo foi triturado e peneirado em peneira de 6,3 mm (Figura 1).

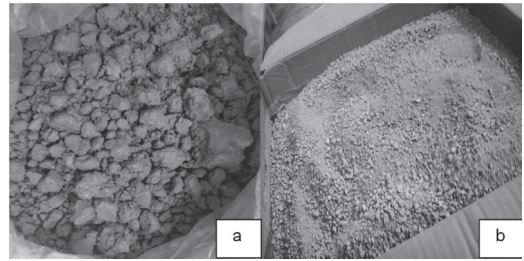
Para a caracterização do lodo utilizado, foi realizado o ensaio de composição granulométrica NM 248/2003, visto que o resíduo substituirá parcialmente o agregado miúdo. Para o ensaio de massa específica do lodo, foi considerada a norma empregada para cimento. Como o lodo reage com a água, incorporando-a, a norma da massa específica dos agregados miúdos não pode ser utilizada.

Para a pesquisa, adotou-se o método de dosagem do IPT/EPUSP, por ser o mais utilizado em obras de engenharia para concretos convencionais. O parâmetro utilizado é a obtenção de um abatimento de tronco de cone de 100 ± 20 mm, segundo NBR NM 67/1998. A partir do Diagrama de Dosagem obtido na dosagem experimental, foi definido o traço de concreto com resistência fixa de 25 MPa.

Conforme prescreve o método, foi confeccionado um concreto com traço 1:4 como referência. Após, foi produzido o concreto em estudo com substituições de 5%, 10% e 15% de lodo. O traço desse concreto pode ser conferido na Tabela I.

Para a moldagem dos corpos de prova foram utilizadas fôrmas cilíndricas de

Figura 1 - a) Lodo Úmido; b) Lodo seco e peneirado na peneira 6,3 mm



10 cm x 20 cm, metálicas, que visam à redução de perdas da pasta de cimento e de variabilidade dimensional. Após moldados e devidamente vibrados na mesa vibratória, os corpos de prova foram identificados, perfazendo um total de 28 corpos de prova. Em 24 horas, tais corpos puderam ser desmoldados e posteriormente dispostos em câmara úmida até completar a idade dos ensaios. Nessa pesquisa optou-se pela idade de ensaio aos 91 dias, em virtude de já se ter trabalhos que determinaram as propriedades do concreto com substituição de lodo nas idades iniciais.

Os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de variância simples (*one way ANOVA*), proposto com significância estatística de 95% de confiança, o qual buscou avaliar se o fator de controle causou efeito significativo na variável de resposta.

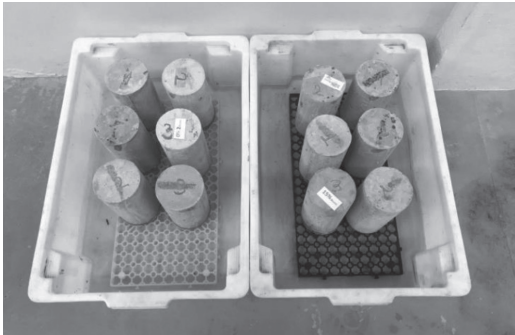
Para analisar se os dados obtidos na pesquisa são estatisticamente iguais ou diferentes, foi utilizado o teste de Tukey, que é um teste de comparação de média que consiste na construção de intervalos de confiança para todos os pares de médias de tal forma que o conjunto de todos os intervalos tenha um determinado grau de confiança.

Tabela I - Traço definido pela dosagem experimental

Fck (Mpa)	Traço	Relação a/c	m	Consumo de cimento (kg/m3)	α	Traço unitário		
						c	a	p
25	1:4	0,45	4	425,457	0,52	1	1,60	2,40

O ensaio de absorção de água no concreto seguiu as especificações da NBR 9779/2012, a qual prescreve o ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade de argamassas e concretos endurecidos. A Figura 2 mostra esse ensaio.

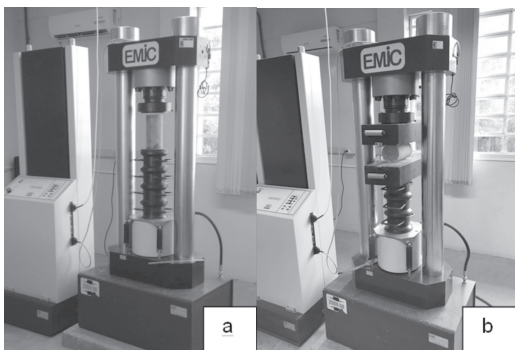
Figura 2 - Ensaio de absorção de água por capilaridade



Para o ensaio de resistência à compressão uniaxial foi utilizada a NBR 5739/2007, que prescreve um método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto. Já para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi utilizada a NBR 7222/2011.

Para a realização desses ensaios foram necessários os corpos de prova e uma prensa hidráulica que imponha uma força de compressão sobre eles, conforme Figura 3.

Figura 3 - a) Ensaio de resistência à compressão uniaxial; b) Ensaio de resistência à tração por compressão diametral



Resultados

Caracterização dos Materiais

Os resultados obtidos para o ensaio de granulometria encontram-se na Tabela II.

Tabela II - 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 ³)	2,62	1,63
Massa unitária (g/cm ³)	1,59	0,70
Absorção de água (%)	0,80	53,80
Módulo de finura	1,90	2,01

O lodo apresentou módulo de finura igual a 2,01 e dimensão máxima característica de 1,18 mm. Quanto às demais características, o resíduo apresentou massa específica de 1,63 g/cm³, massa unitária de 0,70 g/cm³ e índice de absorção de água igual a 53,80%.

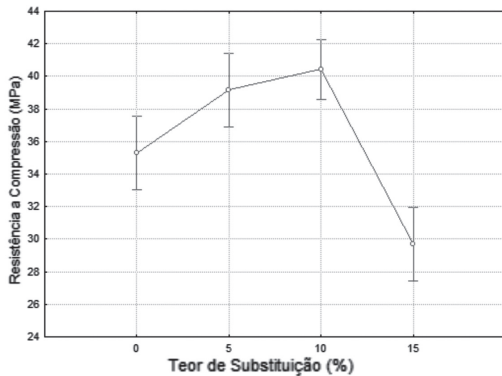
Resistência à Compressão Uniaxial e Resistência à Tração por Compressão Diametral

A resistência à compressão é o parâmetro principal de análise e caracterização do concreto, referindo-se à capacidade do elemento em resistir aos esforços sem entrar em ruptura.

A Figura 4 mostra os resultados da influência do teor de substituição de lodo sobre a resistência à compressão uniaxial dos concretos.

Observa-se no gráfico da Figura 4 que houve um acréscimo na resistência à compressão uniaxial entre a mistura de referência 0% com 35,30 MPa, e os teores de substituição de lodo de 5% e 10%, com 39,16 MPa e 40,45 MPa, respectivamente. Nota-se também que há um decréscimo entre o teor

Figura 4 - Efeito do teor de lodo na compressão uniaxial



de referência e o teor de substituição de 15% com 29,68 MPa.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o uso de adições minerais pode levar a uma redução significativa na porosidade da matriz e da zona de transição na interface. Conseqüentemente, melhorias consideráveis na estanqueidade do concreto são obtidas. Afirma também 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.

Ao avaliar as distribuições granulométricas do lodo e do agregado miúdo, pode-se perceber que havia uma quantidade maior de finos no lodo, sendo benéfica no empacotamento desses agregados, de modo que os espaços maiores são preenchidos por partículas menores, reduzindo os vazios e melhorando a interface pasta/agregado.

Ao mesmo tempo em que a substituição do lodo interferiu positivamente na resistência à compressão uniaxial dos primeiros dois teores, gerou uma queda na resistência do teor de 15%, quando comparados ao teor de referência. Essa queda se dá pelo fato de o teor de 15% começar a apresentar excesso de finos na matriz, prejudicando o preenchimento dos vazios e aumentando o consumo de água. Entretanto, a resistência à compressão para o teor de 15% não foi reduzida a níveis

abaixo daqueles aprovados pelas exigências da NBR 6118/2014, que garante a viabilidade do concreto para estruturas com resistência superior a 20 MPa.

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral é usado para obter de forma indireta a resistência à tração do material ensaiado, permitindo estimar a carga à qual ocorre fissuração em uma estrutura.

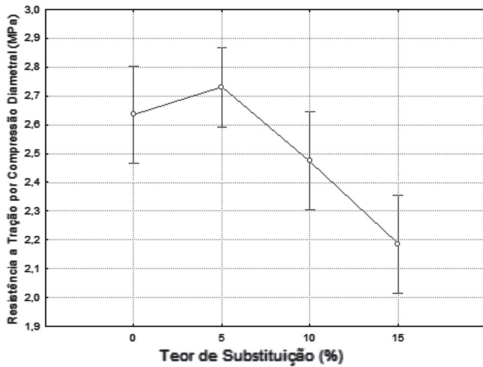
Pelo método de variância simples é possível observar, na Figura 5, a influência do teor de substituição de lodo sobre a resistência à tração por compressão diametral dos concretos.

Nota-se, no gráfico da Figura 5, que houve um acréscimo na resistência à tração por compressão diametral entre a mistura de referência 0% com 2,64 MPa, e o teor de substituição de lodo de 5% com 2,73 MPa. Para os teores de 10% e 15%, houve um decréscimo nessa resistência, com 2,48 MPa e 2,19 MPa, quando comparados ao teor de referência 0%.

Neville (1997) afirma que a zona de transição entre os agregados e a pasta de cimento hidratada deve ser cuidadosamente considerada. Ela aparece não somente entre a pasta e o agregado graúdo, como também entre a pasta e o agregado miúdo. O agregado miúdo contribui para aumentar a rigidez da matriz do concreto, diminuindo as microfissurações que poderiam vir a se formar na zona de transição pasta/agregado. Isso se dá devido ao maior fechamento dos poros proporcionado pelas frações de menores dimensões. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a resistência à tração por compressão diametral é afetada pelas características da zona de transição.

Absorção de Água por Capilaridade

Através do método de variância simples é possível observar, na Figura 6, a influência do

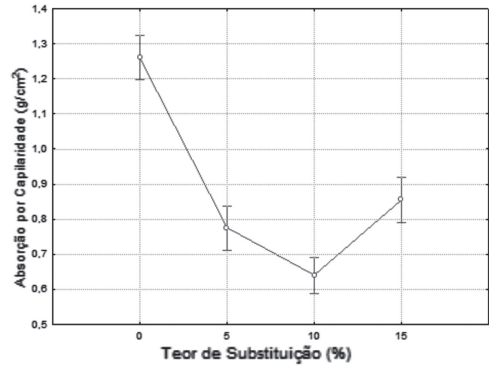
Figura 5 - Efeito do teor de lodo na tração por compressão diametral

teor de substituição de lodo sobre a absorção de água por capilaridade dos concretos.

Observa-se, no gráfico da Figura 6, que houve um decréscimo na absorção entre a mistura de referência com $1,26 \text{ g/cm}^3$ para os teores de substituição de lodo de 5%, 10% e 15%, com $0,78 \text{ g/cm}^3$, $0,64 \text{ g/cm}^3$ e $0,85 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

Para Feitosa (2009), o acréscimo de percentual de lodo ao concreto como agregado diminui a absorção independente do percentual de lodo adicionado, pois os concretos com 5% e 10% de lodo absorveram 2,12% e 1,87%, respectivamente.

Para esta pesquisa, os teores de 5% e 10% obtiveram a mesma tendência que para Feitosa (2009), em que o teor de 10% absorveu menos do que o teor de 5%. Isso pode ser explicado pelo fato de o lodo reagir com a água, incorporando-a na sua composição até as partículas do lodo saturarem e, dessa forma, diminuir os espaços vazios do concreto.

Figura 6 - Efeito do teor de lodo na absorção de água

Os corpos de prova com teor de 5% apresentavam menos lodo em sua composição, possuindo mais espaços vazios para serem preenchidos pela água do que os corpos de prova com o teor de 10%.

Metha e Monteiro (2008) destacam que a taxa de absorção de água por capilaridade é uma boa medida da qualidade do concreto e de sua durabilidade quando exposto a ambientes agressivos.

Teste Tukey

Apresentam-se, na Tabela III, as médias obtidas na pesquisa.

Conforme a Tabela III, para a resistência à compressão uniaxial, os valores de 5% e 10% são considerados estatisticamente iguais entre si, e só o valor de 5% é igual ao teor de referência de 0%. Já o teor de 15% é estatisticamente diferente de todos os demais teores.

Quanto à resistência à tração por compressão diametral, os teores de 5% e 10% são

Tabela III - Avaliação do teste Tukey

Teor\Ensaio	0%	5%	10%	15%
COMPRESSÃO	35,30±0,47 ^a	39,16 ±2,45 ^{a,b}	40,45 ±0,84 ^b	29,68 ±0,16 ^c
DIAMETRAL	2,64±0,01 ^a	2,73±0,10 ^a	2,48±0,15 ^{a,c}	2,19±0,04 ^{b,c}
ABSORÇÃO	1,26±0,02 ^a	0,78 ±0,02 ^b	0,64±0,05 ^c	0,85±0,02 ^{b,d}

*Médias com letras iguais não se diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: O autor.

considerados estatisticamente iguais ao teor de referência, possibilitando a substituição de qualquer um desses teores entre si sem que se percam suas características. Para o teor de 15%, ele se mostra estatisticamente diferente do teor de 0%.

Ao analisar a absorção de água por capilaridade, apenas os teores de 5% e 15% são estatisticamente iguais entre si. Quanto aos demais teores, todos se apresentam diferentes estatisticamente.

Conclusão

Em análise dos resultados obtidos, o melhor teor de substituição a ser utilizado

é o teor de 10%, por apresentar valores de propriedades mecânicas e de durabilidade melhores que os outros teores, estando dentro do permitido em todos os ensaios.

Pode-se concluir que a utilização do lodo em substituição parcial de 5% e 10% do agregado miúdo é viável para concretos com funções não estruturais como, por exemplo, a confecção de blocos de concreto não estrutural, placas de vedação, peças decorativas, contrapisos e pisos (ambientes internos: salas, dormitórios, banheiros, cozinhas ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura, segundo a NBR 6118/2014). Para finalidades estruturais, estudos mais aprofundados devem ser feitos a fim de assegurar a utilização desse tipo de material.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 7222: **Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 9779: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR NM 67: **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR NM 248: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

BARROSO, L. B., WOLFF, D. B., UCKER, F. E., FENSTERSEIFER, C. A. J., BARROSO, D. B. **Argamassa alternativa produzida com resíduos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26, 2011, Pernambuco.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispões sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/leis/L9605.htm>. Acesso em: 01 mar. 2018.

CASTRO, T. M. de. **Solidificação/estabilização de lodo gerado no tratamento de efluente de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos acústicos e seu desempenho em câmara reverberante**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá, 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Publicada no DOU nº 053, de 18 de março de 2005, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Publicada no DOU nº 053, de 16 de maio de 2011, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 01 mar. 2018.

FERNANDES, P. F., OLIVEIRA, A. P. N., HOTZA, D. **Reciclagem do lodo da Estação de Tratamento de Efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos.** Parte 1: Ensaios Laboratoriais. *Cerâmica Industrial*, 8, p. 26-34, 2003.

FEITOSA, M. C. A. **Lodo de esgoto:** algumas aplicações em engenharia. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, UNICAP, Recife, 2009.

FONTES, C. M. A. **Potencialidades da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos como material suplementar para a produção de concretos com cimento Portland.** 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

GEYER, A. L. B. **Contribuição ao Estudo da Disposição Final e Aproveitamento da Cinza de Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários como Adição ao Concreto.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

HELENE, P.; TERZIAN, P. R. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto.** São Paulo: PINI, 1992. 350 p.

KHANBILVARDI, R., AFSHARI, S., **Sludge ash as fine aggregate for concrete Mix.** In: *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING*, v. 121, n. 9, p. 633-638, 1995.

MALHOTRA, V.M.; MEHTA, P.K. **Pozzolanic and cementitious materials.** In: *ADVANCES IN CONCRETE TECHNOLOGY*, v. 1, Gordon and Breach Publishers, 1996.

MEDEIROS, E. N. M. de, SPOSTO, R. M., NEVES, G. de A., MENEZES, R. R. **Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica.** Utilização da técnica de planejamento. *Cerâmica*, 56, p. 399-404, 2010.

MEHTA, P. K, MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** Tradução Salvador E. Giammusso, ed. 2ª, São Paulo-SP, PINI. 1997

PADOIN, B. E. **Estudo da utilização de resíduo gerado por ETE do processo de anidização do alumínio em cerâmica vermelha.** Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

UCKER, F. E., BARROSO, L. B., LOPES, M. I. P. Utilização do lodo gerado em indústria para a fabricação de argamassa. *Disciplinarum Scientia*. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, v. 11, n. 1, p. 106-114, 2010.