http://journal.unoeste.br/index.php/ce/index
DOI: 10.5747/ce.2020.v12.n3.e326
ISSN on-line 2178-8332

Colloquium Exactarum

Submetido: 20/08/2020 Revisado: 25/08/2020 Aceito: 22/09/2020

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DO LODO DE INDÚSTRIA FRIGORÍFICA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL

ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF USING THE SLUDGE OF THE REFRIGERATING INDUSTRY IN PARTIAL REPLACEMENT OF AGGREGATE OF NON-STRUCTURAL CONCRETE

Alexandre Teixeira De Souza, Ruth Mello da Silva, Stefany Camargo Miranda

Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP.
E-mail: mello_ruth@hotmail.com

RESUMO - Grande parte do lodo presente nas estações de tratamento de efluentes tem como destino o seu descarte em local inadequado ou sem o tratamento correto, podendo afetar significativamente o meio ambiente. Portanto a vigente pesquisa tem por finalidade a análise do lodo seco de uma indústria frigorífica como substituição parcial do agregado miúdo para o concreto não estrutural, sendo necessário optar por traços com menor proporção desta a fim de não extrapolar os custos de consumo. Os corpos de prova subsidiados pela NBR 5738 foram moldados com adição parcial do lodo de frigorífico seco na substituição do agregado miúdo, sendo respectivamente 2%, 5% e 8%, e ensaiadas a compressão axial no laboratório de Engenharia Civil da UNOESTE. Por meio dos resultados obtidos, houve um aumento de resistência comparado ao traço padrão nos corpos de prova com menor adição de lodo, entretanto o resíduo sólido retém grande quantidade de água, sendo necessário optar por traços com menor proporção da mesma.
Palavras-chave: Lodo; Concreto; Resíduo sólido.

ABSTRACT
Much of the sludge present in the effluent treatment stations is destined for disposal in an inappropriate place or without the correct treatment, which can significantly affect the environment. Therefore, the current research aims to analyze the dry sludge of a refrigeration industry as a partial substitution of fine aggregate for non-structural concrete, making it necessary to choose features with a lower proportion of this in order not to extrapolate consumption costs. The specimens subsidized by NBR 5738 weremolded with partial addition of dry refrigerator sludge to replace fine aggregate, being 2%, 5% and 8%, respectively, and tested for axial compression in the Civil Engineering laboratory of UNOESTE. Through the results obtained, there was an

increase in resistance compared to the standard trace in the specimens with less addition of sludge, however the solid residue retains a large amount of water, making it necessary to choose a trace with a lower proportion.
Keywords: Sludge; Concrete; Solid residue.

1. INTRODUÇÃO

Na história da humanidade, com a formação e o crescimento das cidades se viu a necessidade de construir sistemas de drenagem. Segundo Matos (2003) isso foi há mais de cinco mil anos, entretanto em pleno século XXI muitas pessoas ainda sofrem com a falta de saneamento básico, não tendo um sistema de drenagem adequado em suas residências.

Essa parcela da população não possuiu outra escolha senão depositar seus detritos em rios e córregos limpos. As Estações de Tratamento também são responsáveis por problemas ambientais se realizarem o descarte dos resíduos em locais inapropriados ou sem o devido tratamento. Esses resíduos acabam inevitavelmente produzindo o lodo, um material sedimentado proveniente da decomposição de matéria orgânica nos esgotos.

Dentre Contudo não são somente os lodos produzidos em ETE/ ETA, assim como os resíduos gerados em curtumes ou frigoríficos, sendo o objeto em estudo.

Os locais de descarte final do lodo no Brasil são poucos e encontram-se em processo de saturação (BOROWSKI et al. 2002). O subsídio dos resíduos sólidos em aterros sanitários ou em cursos d'água, fazem com que haja, além de danos ao meio-ambiente, bem como perdas econômicas com o desperdício de matéria-prima para o desenvolvimento de possíveis novas tecnologias (GIROTTO et al., 2018).

O quesito do objeto em estudo fundamenta-se em analisar uma alternativa para o descarte dos resíduos de lodo das estações de tratamento de efluentes sem ocasionar danos ao meio ambiente: a adição de lodo de frigorífico seco no concreto, além de verificar se tem aumento na resistência à compressão axial, proporcionando a busca por desenvolvimento sustentável as práticas das empresas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Lodo

O lodo é um resíduo sólido ou semi-solido produzido após o tratamento de águas residuais, domiciliares ou industriais com teores variáveis de componentes inorgânicos que teve sua qualidade afetada pelo homem (ANDRADE, 1999). A industrialização e aumento da urbanização tem resultado em um acréscimo no volume de lodos produzidos em todo o mundo.

Embora não seja o único subproduto gerado em uma estação de tratamento, o lodo requer atenção especial por ser um resíduo de difícil disposição final, tendo que atender a condições específicas devido às grandes quantidades que são geradas, os custos com tratamento, à dificuldade em se encontrar locais adequados para a sua disposição final sem aferir o meio ambiente, à distância de transporte, dentre outros (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

2.1.1. Lodo de frigorífico

Nas águas residuais possui sangue, gordura, excrementos, substâncias contidas no trato digestivo dos animais, fragmentos de tecidos entre outros, é considerado um efluente de elevada concentração de matéria orgânica (FRICK, 2011). Do mesmo modo que outros tipos de resíduos sólidos, o destino final dos lodos gera uma grande dificuldade, pois requerem tratamento adequado de

separação, secagem e local adequado sem aferir a natureza.

Os resíduos gerados no processamento do frigorífico são coletados e direcionados ao sistema de tratamento de efluentes em duas diferentes linhas, sendo a linha vermelha a água composta com sangue, gordura (sebo), pelos e tecidos, e a linha verde os resíduos líquidos provenientes da água de lavagem dos caminhões, pátios, condução para abate dos animais, excrementos, ou seja, sem grande aproveitamento (KLANK, 2011).

O cenário da indústria frigorífica aponta para um grande problema ambiental, pois são responsáveis por produzir grande quantidade de resíduos (RABELO et al., 2014). Os efluentes possuem em sua maioria como destino final, o lançamento das águas residuais diretamente em rios, gerando consequentemente uma grande poluição no mesmo.

2.2. Processo de tratamento

O tratamento dos resíduos sólidos gerados nas diversas unidades é uma etapa essencial no de águas residuais. As aplicações para o lodo somente passam a ter algum potencial de reutilização quando o mesmo estiver seco, necessitando anteriormente um tratamento para que o mesmo atinja um estado sólido ou semi-solvido, pois embora possua em sua composição mais de 95% de água, é denominado por convenção de fase sólida, com o objetivo de distingui-lo das águas residuais ou o fluxo de liquido a ser tratado (VON SPELING, 2007).

O lodo utilizado para âmbito da pesquisa foi adensado por meio de flotação a ar dissolvido permitindo que as partículas sólidas com uma densidade menor que o líquido, devido a remoção da água, seja separado, fluindo-o para cima. O processo é realizado por meio da inserção de bolhas de ar divididas finamente na fase líquida, que são geradas pela imediata redução de pressão na corrente líquida saturada de ar, proveniente do tanque de saturação e aderem aos flocos já formados, fazendo-os flutuar. (RICHTER, et. al. 2001 ANDREOLI, 2006).

2.2.1 Disposição final do lodo

As empresas em geral produzem certa quantidade de resíduos que nem sempre são reaproveitados ou reciclados. Dar um destino correto a esses materiais é uma das tarefas mais difíceis, podendo alguns serem reutilizados diretamente ou aproveitados como matéria prima básica em outros processos industriais (ISO 14040). Quando dispostos de modo inadequado, os resíduos podem trazer danos ao meio ambiente e a saúde humana.

As principais alternativas de disposição final para o lodo são descarte oceânico, incineração, aterro sanitário, landfarming, recuperação de terras e reuso agrícola, contudo, apresentam inúmeras desvantagens tendocomo principal prejudicado o meio ambiente. Portanto, a vigente pesquisa busca como meio alternativo a utilização de resíduos de frigorífico visando a sustentabilidade.

2. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado o processo de tratamento por meio de adensa dores de flotação que remove o lodo da linha vermelha, e posteriormente condicionado e exposto ao sol para desidratação natural, equivalendo a uma quantidade relativamente escassa somente para âmbito de pesquisa.

A escolha de desidratação para âmbito da pesquisa foi somente expor ao sol devido a quantidade retirada para análise, não apresentando custo elevado e em contrapartida considerado um meio lento.

Após passar pelo processo de secagem por meio do método natural com a finalidade de que o mesmo adquira a consistência necessária e características físicas do agregado fino, além de verificar os resultados com ênfase nos procedimentos realizados pelas indústrias em grande escala, o lodo adquiriu consistência rígida, apresentando aspectos e propriedades físicas de difícil aplicabilidade no concreto.

Devido à grande quantidade de matéria orgânica não foi possível triturar o material em máquinas, podendo perder as características sólidas. Para que adquirisse a granulométrica próxima ao aditivo areia, a solução foi fragmentá-lo com o auxílio de espátulas e sucessivamente passar pela peneira de nº 10.

Com o auxílio de um Becker de 1 litro, o lodo segmentado foi depositado no mesmo para cálculo de sua massa específica. O agregado obteve um volume de 900 ml e peso de 0,380 kg. Para encontrar a densidade do resíduo sólido, foi necessário efetuar a subseqüente operação que determina a relação entre o volume e massa da substância considerada:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow \rho = \frac{0{,}380\ kg}{9x10^{-4}\ m^3} = 422{,}22\ kg/m^3 (1)$$

Portanto, o peso específico aparente seco do lodo de frigorífico utilizado para âmbito de pesquisa foi de 422,22 kg/m³, considerado um agregado leve e com valor amplamente inferior quando comparado ao lodo de estações de tratamento de água (ETA), que segundo De Souza, (2010) o resíduo semi-solidez do ETA do Rio das Velhas- MG tem densidade de 1330 kg/m³, variando de acordo com a concentração existente de sólidos.

O traço utilizado inicialmente foi de 1: 4,25: 5,75: 3, com brita 0,5 mm e acrescentados ao agregado graúdo a porcentagem de areia reduzida ao traço padrão em cada corpo de prova, sendo respectivamente 2%, 5% e 8% de lodo de frigorífico com consistência e características próximas ao do material que será parcialmente substituído (a areia) juntamente com o cimento Portland e a água.

Figura 1. Lodo de frigorífico usado para os ensaios



Fonte: Os autores.

Figura 2. Resíduo sólido após secagem



Fonte: Os autores.

Figura 3. Material para preparo do concreto



Fonte: Os autores.

A modelagem dos corpos de prova cilíndricos foi realizada seguindo as especificações da ABNT NBR 5738, moldes cilíndricos de diâmetro igual a 10 cm e altura de 20 cm, sendo revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral.

Após vinte e quatro horas do adensamento, os moldes foram desenformados e armazenados em câmara úmida para processo de cura por 28 dias. Por conseguinte, os corpos de prova cilíndricos, foram capeados na base e no topo com

mistura de enxofre e cinza pozolânica, conforme ABNT NBR 5738:2003.

Figura 4. Inserção do material nos moldes cilíndricos



Fonte: Os autores.

4. RESULTADOS

Os ensaios de resistência característica dos corpos de prova foram realizados com o tempo de cura do concreto de 7, 21 e 28 dias para o traço padrão e cada porcentagem de lodo substituído parcialmente da areia (2%, 5% e 8%), em equipamento localizado na Universidade do Oeste Paulista –Unoeste atendendo todos os requisitos e especificações da ABNT NBR 5739: 2018– Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

O quadro 1 apresenta a os valores obtidos para cada amostra e os dias de rompimento.

A resistência à compressão axial do concreto (fc) produzido com o compósito foi determinada também segundo a NBR 5739, dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova.

Figura 5. Verificação da carga de ruptura das amostras



Fonte: Os autores.

Conforme os dados apresentados, embora o concreto não estrutural com substituição parcial de lodo em 2% tenha obtido resistência superior ao corpo de prova padrão, o traço do concreto não foi o ideal devido ao fato do lodo de frigorífico reter muita água. Visando uma melhor análise dos resultados foi feita uma modificação na quantidade de água existente no traço. Na figura 11 nota-se a umidade do material após o rompimento.

O traço foi alterado na quantidade de água para 1: 4,25: 5,75: 2, e obteve uma melhora visivelmente na umidade do concreto durante o tempo nas câmaras úmidas para a cura do mesmo. A quantidade de lodo foi o suficiente somente para realizar o traço com substituição de 5% e 8% da areia.

Quadro 1. Carga de ruptura do concreto

TRAÇO 1: 4,25: 5,75: 3	**FORÇA (Tf)**		
	7 DIAS	**21 DIAS**	**28 DIAS**
PADRÃO	4,34	5,66	5,82
2% DE LODO	4,25	5,72	5,94
5% DE LODO	3,97	5,88	5,86
8% DE LODO	3,90	4,8	5,49

Quadro 2. Resistência à compressão axial

TRAÇO 1: 4,25: 5,75: 3	**RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (Mpa)**		
	7 DIAS	**21 DIAS**	**28 DIAS**
PADRÃO	5,415	7,062	7,262
2% DE LODO	5,303	7,137	7,412
5% DE LODO	4,954	7,337	7,312
8% DE LODO	4,866	5,989	6,850

Quadro 3. Carga de ruptura com traço comparativo

TRAÇO	**FORÇA (Tf)**		
1: 4,25: 5,75: 2,5	**7 DIAS**	**21 DIAS**	**28 DIAS**
PADRÃO	4,77	6,32	6,94
5% DE LODO	4,96	6,78	7,23
8% DE LODO	4,12	5,96	6,64

O quadro 3 exprime as cargas de ruptura obtidas com a modificação da quantidade de água.

Com o mesmo procedimento e de acordo com a norma da ABNT, teve-se como resultado o quadro e o gráfico subsequente.

Com o mesmo procedimento e de Realizando uma análise comparativa entre os traços propostos para estudo, é possível verificar que a resistência aos 28 dias dos corpos de prova com uma menor quantidade de água foi superior, e as amostras com menor porcentagem de lodo ultrapassam os valores das cargas de ruptura da amostra padrão. O gráfico 1 exprime essa relação verificando as diferenças.

Figura 6. Corpo de prova rompido com grande retenção de água

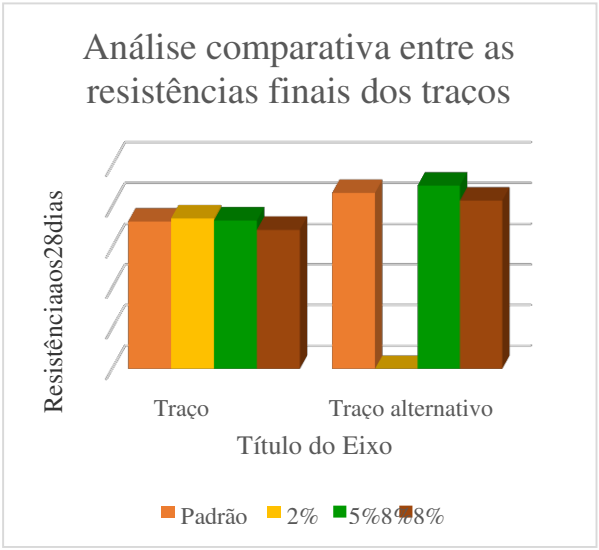


Fonte: Os autores.

Quadro 4. Resistência à compressão axial de traço comparativo

TRAÇO 1: 4,25: 5,75: 2,5	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (Mpa)		
	7 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
PADRÃO	5,952	7,886	8,660
5% DE LODO	6,189	8,460	9,021
8% DE LODO	5,141	7,437	8,285

Gráfico 1. Resistência à compressão axial de traço alternativo



3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo revelou que o lodo pode ser um aditivo para a formação do concreto, proporcionando uma utilização adequada para o resíduo gerado inevitavelmente nas indústrias frigoríficas, sem afetar o meio ambiente.

Foi observado que devido aos materiais que compõem o lodo de frigorífico, sendo estes em grande parte matéria orgânicos, sangue e gordura, possui uma massa especifica considerado baixo e retém grande quantidade de água. Quando comparado ao novo traço proposto para análise com uma menor parcela do líquido (aproximadamente 100 ml), todos os corpos de prova obtiveram resistências maiores em torno de 2 MP.

Ao ser utilizado em poucas quantidades, o lodo aumentou a resistência a compressão axial do concreto como exposto no gráfico 1 de modo menos significativo, e acima de 5% diminui a capacidade de solicitação dos esforços.

Embora o traço proposto não tenha obtido resistências usuais de concreto não estrutural, essa mistura pode ser aplicada em fabricação de artefatos, blocos, peças de concreto e base de pavimentos.

É convicto exprimir que com o aumento da resistência e a utilização em grande escala, o ideal para dar destino final

aos lodos de frigorífico utilizado para âmbito da pesquisa seria a aplicação a seco no concreto destinado a praças de recreação e lazer, ao quais os esforços solicitados sejam de pouca relevância. Com isso, uma grande quantidade desse material teria um aproveitamento.

Portanto para obter resultados mais significados devido à resistência do concreto não estrutural com o uso de lodo como aditivo parcial, são necessário analisar a melhor relação em massa entre os materiais constituintes do compósito, no caso do estudo a água e o resíduo sólido.

Finalmente, por ser este um trabalho pioneiro no estudo de lodo de frigorífico como aditivo seco no concreto, sugere-se para pesquisas futuras a averiguação de técnicas para desidratação mais eficiente, a proposta de traços com menores teores de água e de fácil trabalhabilidade, pois é necessário reduzir e controlar a absorção de água e/ou o uso de lodo em concreto estrutural.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de Eucalyptusgrandis após aplicação de biossólido da ETE de Barueri.** 1999. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1999.

ANDREOLI, C. (coord.) **Alternativas de uso de resíduos do saneamento:** Usos alternativos de lodos de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgoto. 1. ed. Curitiba PR:ABE,2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos: NBR 11768. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS
TÉCNICAS. Concreto – Preparo, controle e recebimento: NBR 12655. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT -ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – Método de ensaio: NBR 5738. Rio de Janeiro: ABNT,2015.

ABNT -ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos: NBR 5739. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 4p.

BOROWSKI, H. C.; SILVEIRA, J. L.; EBINUMA, C. D.; FERREIRA, E. M. Análise de um modelo de co-geração a partir de resíduos sólidos urbanos. Revista Tecnologia, v. 23, n. 1, p. 26-37, 2002.

FRICK, J. M. **Estudo do monitoramento de efluentes líquidos industriais de frigoríficos no Rio Grande do Sul**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola De Engenharia – Departamento de Engenharia Química, Porto Alegre, 2011. Disponível em:https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/36896/000793031.pdf?sequence=. Acesso em: 24 jul. 2019.

GIROTTO, A. T. et al. **Secagem de lodos de efluentes industriais para queima na caldeira como biomassa na geração de energia e redução de custos com a destinação dos resíduos**. **Anais da Engenharia de Produção**, v. 2, n. 1, p. 175 - 190, july 2018. Disponível em:https://uceff.edu.br/anais/index.php/engprod/article/view/207. Acesso em: 08 dez. 2019.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos.3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

KLANK, M. **Avaliação da eficácia no tratamento de efluentes líquidos em um**

frigorífico de bovinos. 2011. Monografia (MBA em Gestão Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MATOS, J. de S. **Aspectos históricos a actuais da evolução da drenagem das águas residuais em meio urbano.** Engenharia Civil – UM, n. 16, p. 13-24, 2003.

RABELO, F. H. S. et al. **Consumo edesempenhode ovinos alimentados com silagens de cana-de-açúcar tratadas com óxido de cálcio e cloreto de sódio**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 65, n. 4, p. 1158–1164. 2014. https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000400031