

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM SOLO CIMENTO PARA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

Lis Eveline Athaydes Fadanelli – Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG – lis_eveline@hotmail.com
Giovana Katie Wiecheteck – Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG – giovana@uepg.br

Resumo: Para que a água bruta se torne adequada ao consumo humano, é necessário que ela passe por transformação, realizada em Estação de Tratamento de Água (ETA), onde se utiliza processos e operações com adições de produtos que acabam gerando resíduos sólidos conhecidos como lodos de Estação de Tratamento de Água. Sem tratamento e disposição final, esses resíduos sólidos estão sendo lançados em corpos d'água, não respeitando a legislação ambiental vigente. Neste trabalho foram feitas caracterizações físicas, químicas e mineralógicas e ensaios em corpos de prova com diferentes concentrações de lodo com finalidade de avaliar o uso de lodo da ETA Pitangui, em Ponta Grossa, na composição de solo cimento para a utilização em pavimentação rodoviária, contribuindo para a diminuição de impactos ambientais. O lodo possui granulometria fina e menor massa específica do que o solo, por isso pode ser considerado mais frágil e com menor resistência. A análise dos dados permite concluir que a adição de lodo como parte do solo diminui a qualidade do mesmo, sendo necessária a adição de mais cimento para obter um desempenho ideal, encarecendo o material solo cimento.

Palavras-chave: Lodo de ETA, aproveitamento, solo cimento.

UTILIZATION OF SLUDGE FROM WATER TREATMENT PLANT IN SOIL CEMENT FOR PAVING ROADS

Abstract: For the raw water becomes suitable for human consumption, then it must go through processing, held in Water Treatment Plant, which uses processes and operations with additions of products that have been generating solid waste known as sludge from treatment of water station. Without treatment and final disposal, the waste solids are being introduced into water bodies, without any regard for environmental regulations. This work was done by physical, chemical and mineralogical and testing specimens with different concentrations of sludge in order to evaluate the use of sludge from Pitangui's Water Treatment Plant in Ponta Grossa, in the composition of soil cement for use in road pavement, contributing for the reduction of environmental impacts. The mud has fine particle size and lower density of the soil, so it can be considered more fragile and with less resistance. Data analysis reveals that the addition of sludge as part of the soil reduces its quality, which requires adding more cement to achieve optimum performance, increasing the soil-cement material.

Keywords: Sludge from treatment of water station, recovery, soil cement.

1. INTRODUÇÃO

A água fornecida à população deve obedecer a parâmetros de qualidade de acordo com sua respectiva finalidade. Para isso, é preciso utilizar processos e operações, com adições de produtos que acabam gerando resíduos sólidos conhecidos como lodos de Estação de Tratamento de Água, os quais são provenientes do acúmulo de partículas sedimentadas nos decantadores e dos sólidos retidos no meio filtrante dos filtros que são removidos na lavagem destes.

Os lodos são classificados como resíduos sólidos pertencentes à classe II- não perigosos, de acordo com NBR-10004 (ABNT, 2004), portanto, não podem ser lançados nos cursos d'água sem devido tratamento, já que esta prática é considerada crime ambiental, por causar efeitos diretos ao ambiente aquático do corpo receptor, provocando danos à fauna aquática. Assim, se torna necessário o estudo da disposição final adequada do mesmo a fim de contribuir para diminuir impactos ambientais.

Este trabalho tem por objetivo estudar a aplicação do lodo da ETA Pitangui na composição de solo cimento para a utilização em pavimentação rodoviária. Os objetivos

específicos foram: caracterizar amostras de lodo homogeneizadas; preparar e caracterizar as amostras de solo a serem utilizadas nos ensaios; coletar, secar e preparar as amostras de lodo para a mistura em solo cimento; determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente das amostras preparadas de solo cimento com e sem adição de lodo; avaliar diferentes dosagens de lodo na composição de solo cimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para que a água bruta se torne adequada ao consumo humano, é necessário que ela passe por transformação realizada em Estação de Tratamento de Água (ETA). A maioria das Estações de Tratamento de Água, no Brasil, são convencionais ou de ciclo completo, possuindo unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração.

As impurezas presentes na água bruta captada encontram-se carregadas superficialmente com as cargas negativas, o que impede seu aglutinamento e remoção, por isso, é necessário a aplicação de coagulantes, realizada na unidade de mistura rápida, com o objetivo de agir de forma a neutralizar essas cargas, possibilitando a aproximação de partículas que deverão ser removidas no decantador ou flotador. Após a coagulação, é necessária agitação relativamente lenta, para que estes possam proporcionar encontros entre as partículas menores para formar agregados maiores ou flocos que seguem seu fluxo em direção aos decantadores onde, por ação da gravidade, precipitam, acondicionando-se no fundo, propiciando a clarificação do meio líquido. Em seguida ocorre a remoção de partículas suspensas e coloidais e de microorganismos presentes na água através de um meio granular, durante a filtração. Tem-se por finalizado, então, o processo de remoção de impurezas realizado em uma ETA, no qual, ao longo de seu desenvolvimento, faz com que ocorra a geração de resíduos chamados de lodo de ETA.

Segundo Di Bernardo *et al.*(2005) em uma ETA de ciclo completo, basicamente os resíduos gerados são provenientes das limpezas ou descargas de decantadores e da lavagem de filtros. De acordo com Richter (2001), o lodo de ETA é considerado um resíduo constituído de água e sólidos suspensos contidos no material utilizado, acrescidos de produtos aplicados à água nos processos de tratamento da mesma.

O lodo de decantador, em geral, contém a maior parte dos sólidos removidos no tratamento de água. A porcentagem que é produzida depende do tipo de captação existente, do processo de tratamento de água utilizado, da qualidade da água bruta, dos tipos de coagulantes utilizados, da sazonalidade, da dureza e da qualidade final desejada.

Scalize *et al.*(1999) *apud* Di Bernardo *et al.*(2005) alerta que o lodo de ETA pode causar riscos à saúde humana devido à presença de agentes patogênicos. Já Barroso & Cordeiro (2001) *apud* Di Bernardo *et al.*(2005) alertam quanto aos impactos devido à presença de metais pesados.

Di Bernardo *et al.*(2005) aponta que problemas com a disposição inadequada dos resíduos de ETAs estão associados aos aspectos visuais desagradáveis no corpo receptor e ao uso da água a jusante como fonte de abastecimento de outras comunidades ou para irrigação. Também fala que o potencial de toxicidade dos resíduos gerados nas ETAs é decorrente principalmente do tipo de solo da bacia ou do manancial, do tipo de ocupação da área da bacia hidrográfica (pecuária, agricultura e industrial), das características dos produtos químicos usados, destacando-se a presença de diversos metais e compostos orgânicos presentes inicialmente na água bruta ou gerados em função do uso de oxidantes, forma de remoção e tempo de permanência dos resíduos nos decantadores, características hidráulicas, físicas, químicas e biológicas do corpo receptor.

Devido aos danos causados, vem sendo estudadas aplicações para o lodo de ETA. Em virtude de suas características, o lodo de ETA pode servir, de acordo com Bidone *et al.* em Andreoli (2001) para a fabricação de solo cimento, materiais cerâmicos, pigmentos para argamassas e revestimentos ou como aditivo para agregados. Richter (2001) também cita como alternativa a aplicação na pavimentação de estradas, tijolos refratários, agente plastificador em cerâmica e na produção de cimento.

O solo cimento é obtido através da mistura homogênea de solo, cimento e água em proporções adequadas que exigem um teor de umidade que conduz a uma massa específica seca máxima. Após compactação e cura úmida, ele resulta em um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade. Os solos arenosos são mais apropriados para essa finalidade já que se enquadram com maior facilidade nas exigências da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a qual pede para que a quantidade de cimento usada no processo de mistura varie entre 5% e 10% do peso do solo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos ensaios de caracterização, o lodo e o solo foram, primeiramente, secos à temperatura ambiente.

Inicialmente, as amostras de ambos foram destorroadas, quarteadas e peneiradas, de acordo com a norma rodoviária DNER-ME 041/94, e em seguida submetidas à análise granulométrica por combinação de peneiramento e sedimentação, em que foram determinados os tamanhos dos diâmetros equivalentes das partículas sólidas em conjunto com a proporção de cada fração constituinte em relação ao peso do resíduo seco, conforme a norma DNER-ME 051/94.

Determinou-se a umidade higroscópica pelo método de laboratório, conforme a norma rodoviária DNER-ME 213/94, que consiste na secagem de certa quantidade de amostra em estufa a 110°C. Aplicando-se as fórmulas definidas pela DNER-ME 093/94, obteve-se o valor densidade real dos grãos dos materiais analisados. Ensaio do limite de liquidez determinado pela DNER-ME 122/94 para marcar a transição do estado líquido para o estado plástico e do limite de plasticidade, definido pela DNER-ME 082/94, estabelecendo a transição entre o estado plástico e semi-sólido da amostra, foram realizados com o objetivo de determinar os limites de consistência usados para descrever o grau de ligação entre as partículas das substâncias.

A identificação dos elementos químicos percentuais contidos na amostra de lodo foi obtida através do ensaio de Difração de Raios X, realizada no equipamento RAYny EDX-700 SHIMADZU.

Para se obter a dosagem da mistura solo cimento foi necessário identificar primeiramente o método de preparação da amostra de solo, enquadrando-a nas especificações exigida pela norma rodoviária DNER-ME 216/94 e, em seguida, o teor de cimento capaz de estabilizar o solo sob a forma de solo cimento. Com esses dados realizou-se o ensaio descrito pela mesma norma, onde primeiramente, se separou 3000g de solo, o qual foi passado na peneira de 4,8 mm e depois misturado com o cimento. Em seguida se adicionou água aos poucos e realizada a compactação em corpo de prova cilíndrico, na energia normal, para cada quantidade de água adicionada até se obter os pontos da curva de compactação, tornando possível, assim, traçá-la. Após ter obtido o valor da umidade ótima com a qual se atinge o ponto máximo na curva de compactação para a mistura de apenas solo e cimento, repetiu-se o ensaio adicionando lodo nas proporções de 3%, 5% e 7%, substituindo o solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 01 apresenta as concentrações das graduações das amostras, obtidas através da análise granulométrica, mostrando que o lodo da ETA Pitangui contém grande quantidade de areia e silte, já o solo se apresenta principalmente com uma enorme porcentagem de areia.

Tabela 01 – Proporções das frações areia, silte e argila encontradas nas amostras.

Amostra	Areia	Silte	Argila
Lodo da ETA Pitangui	48,86%	32,82%	18,23%
Solo	80,68%	11,50%	7,22%

Representando esses valores graficamente através curva granulométrica, percebe-se com maior facilidade que o solo apresenta uma graduação mais uniforme, enquanto o lodo possui larga distribuição de tamanho das partículas.

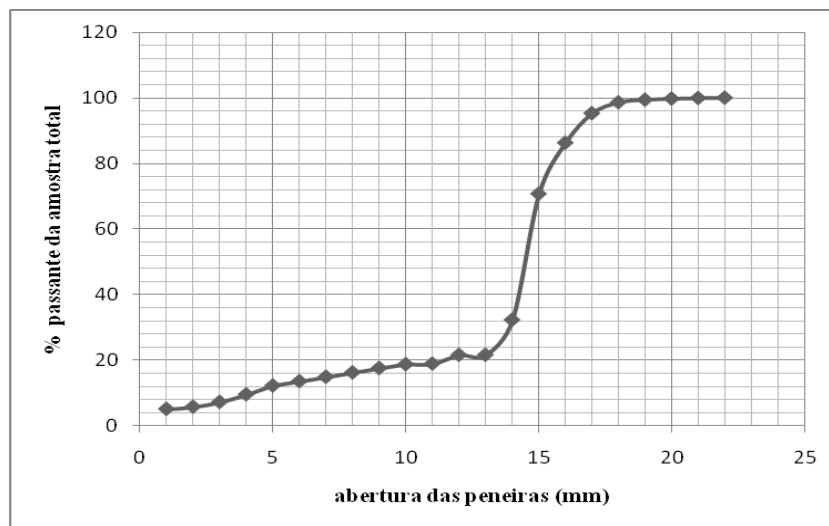


Figura 01. Curva granulométrica do solo analisando a porcentagem que passa da amostra total de acordo com a abertura das peneiras.

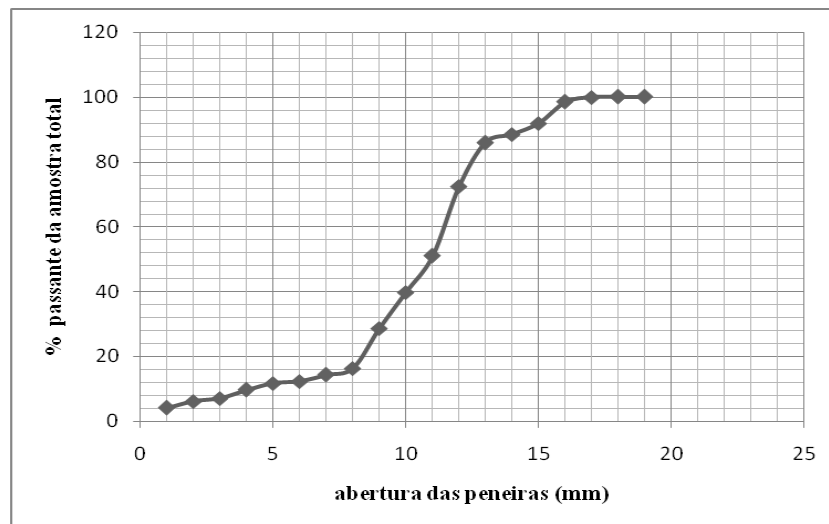


Figura 02. Curva granulométrica do resíduo Lodo de ETA analisando a porcentagem que passa da amostra total de acordo com a abertura das peneiras.

Para o teor de umidade das amostras, após secá-las à temperatura ambiente, também chamada de umidade higroscópica, foram obtidos os seguintes valores apresentados na Tabela 02, os quais mostram que o lodo, ainda assim, continua a apresentar grande porcentagem de água.

Tabela 02 – Umidade higroscópica encontrada no lodo e no solo.

Amostra	Teor de umidade (%)
Solo	0,338
Lodo da ETA Pitangui	32,400

Da relação entre a massa das partículas sólidas e a massa de um volume idêntico de água, chamado de densidade real dos grãos, obteve-se os valores encontrados na Tabela 03, os quais indicam que a razão entre o peso da parte sólida e o peso de igual volume de água no solo é maior do que no lodo.

Tabela 03 – Valores da densidade real dos grãos das amostras.

Amostra	Densidade Real
Solo	2,631
Lodo da ETA Pitangui	2,172

Avaliando os resultados encontrados na Tabela 04, o qual caracteriza os limites de consistência das amostras conforme sua natureza, percebe-se que o teor de umidade para qual o lodo perde a capacidade de fluir, podendo ser moldado facilmente, conservando sua forma e o teor de umidade para o qual o lodo começa a se fraturar quando se tenta moldá-lo é maior do que o do solo. Porém, o índice de plasticidade obtido pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, mostra que ambas amostras são consideradas fracamente plásticas.

Tabela 04 – Limites de Atterberg dos materiais analisados.

Amostra	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)
Solo	20,40	18,08	2,32
Lodo da ETA Pitangui	75,32	70,73	4,59

Na prática de identificação dos elementos químicos e suas devidas porcentagens, contidos na amostra de lodo, conforme mostra a Tabela 05, foi observada uma quantidade elevada principalmente de Alumínio, elemento pertencente ao coagulante utilizado pela ETA Pitangui.

Tabela 05 – Elementos químicos identificados na amostra de lodo.

Elemento	Porcentagem
Alumínio	32,151%
Ferro	31,737%
Silício	25,909%
Manganês	2,632%
Titânio	2,221%
Cálcio	2,054%
Potássio	1,532%
Enxofre	1,417%
Zircônio	0,143%
Cobre	0,085%
Estrôncio	0,066%
Bromo	0,054%

Conforme as características encontradas para o solo, determinou-se a necessidade de cimento na quantidade de 7% do peso do solo. Para a mistura de solo cimento com e sem adição de lodo foram obtidos os valores da umidade ótima para a massa específica seca máxima, encontrados na Tabela 06, os quais mostram que à medida que se adiciona lodo, o valor da massa específica diminui devido a menor densidade do lodo em relação ao solo.

Tabela 06 – Valores de umidade ótima e massa específica seca máxima para as diferentes amostras analisadas.

Mistura solo cimento	Massa específica seca máxima	Umidade ótima
Sem adição de lodo	1832	13,1%
Adicionado 3% de lodo	1798	15,0%
Adicionado 5% de lodo	1795	15,8%
Adicionado 7% de lodo	1757	16,0%

5. CONCLUSÕES

Através dos dados obtidos na análise granulométrica, percebeu-se grande quantidade de areia no lodo, tal como no solo, se enquadrando como arenoso, mostrando-se apropriados para a mistura solo cimento. Porém, o lodo também apresentou um caráter bastante siltoso, contendo partículas mais finas, as quais se encontram mais frágeis, resistindo menos ao cisalhamento. Para compensar tal fragilidade e se obter resultados iguais a antes da adição de lodo, pode ser necessário maior teor de cimento, encarecendo o produto solo cimento.

Com relação aos resultados obtidos da mistura, pode-se perceber que, à medida que aumentou o teor de lodo, o valor da massa específica seca máxima encontrada diminuiu em relação ao ensaio sem adição do mesmo, comprovando que, assim como a densidade do lodo, sua massa específica também é menor do que a do solo, apresentando então, maior índice de vazios devido a maior porcentagem de umidade higroscópica do mesmo. Desse modo, percebe-se que quando se adiciona lodo à mistura solo cimento, há uma diminuição da qualidade do conjunto, aumentando o índice de retração volumétrica, afetando sua durabilidade.

REFERÊNCIAS

- ABNT. *Resíduos sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro: NBR 10.004, 2004.
- ANDREOLI, C. V. et al. *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*.. 1. ed. Curitiba: Rima, 2001.
- DNER ME – 41/94. *Preparação de amostras de solos para ensaios de caracterização*. Brasília, 1994.
- DNER ME – 51/94. *Solo cimento – Determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente*. Brasília, 1994.
- DNER ME – 082/94. *Solos – Determinação do limite de plasticidade*. Brasília, 1994.
- DNER ME – 093/94. *Solos – Determinação da densidade real*. Brasília, 1994.
- DNER ME – 122/94. *Solos – Determinação do limite de liquidez*. Brasília, 1994.
- DNER ME – 213/94. *Solos – Determinação do teor de umidade*. Brasília, 1994.
- DNER ME – 216/94. *Solos – Análise granulométrica*. Brasília, 1994.
- DI BERNARDO, L. e Dantas, A. D. B. *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*.. 2. ed. São Carlos: Rima, 2005.
- LEINZI, E.M. et al. *Estudo do lodo da ETA de Maringá (PR) e seu possível destino*, artigo apresentado no 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e ambiental, 2003.
- MONZOCHI, C.S. et al. *Aplicação de análise multi-critério para definição da alternativa de projeto para tratamento do lodo*, artigo apresentado no 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e ambiental, 2007.
- RICHTER, C.A. *Tratamentos de lodos de Estações de Tratamento de Água*.. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2001.
- SERAFIN, M.P.P. et al. *Consumo de produtos químicos e energia elétrica em estações de tratamento de água para abastecimento do estado de SP*, artigo apresentado no 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e ambiental, 2003.
- SPERLING, M.V. et al. *Estudo e modelagem da qualidade da água de rios*. Segrac Vol. 7, 2007.
- WEBER, P.S. et al. *Estudo para caracterização quantitativa e qualitativa de lodo de estação de tratamento de água*, artigo apresentado no 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e ambiental, 2007.