

## **I-316 – APLICAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (LETA) PARA FABRICAÇÃO DE PAVIMENTOS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO.**

**Cesar Eduardo Carvalho Castro<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade de Alfenas - UNIFENAS. Mestre em Engenharia dos Materiais – Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Engenheiro de Projetos e Obras da COPASA-MG.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Maria de Paiva Pinto, S/N – Vila Paiva - Varginha - MG - CEP: 37018-640 - Brasil - Tel: (35) 3229-5604 - e-mail: cesar.castro@copasa.com.br

### **RESUMO**

As empresas de estações de tratamento de água – denominadas ETA - vêm buscando soluções de reciclagem para os resíduos gerados no processo de tratamento de água – esses resíduos são denominados de lodo de ETA (LETA). Atualmente as soluções são o descarte em aterros sanitários e ou lançamento na rede de esgoto.

Na atualidade, os problemas ligados à poluição e ao descarte de resíduos industriais são de grande importância e preocupam tanto o setor industrial quanto a sociedade como um todo. As estações de tratamento de água geram enormes quantidades de lodo sendo necessário buscar alternativas para o reaproveitamento destes resíduos de forma a não agredir o meio ambiente.

A reutilização dos resíduos de ETA pode ser realizada com a incorporação de lodo em matriz de concreto. Através desta mistura confeccionam-se corpos de prova para realização de diversos ensaios, com o objetivo de estabelecer misturas que possibilitem a reutilização do lodo na matriz de blocos de concreto para a indústria da construção civil.

A possibilidade de incorporação de lodo na matriz de concreto é uma alternativa viável, pois reduz grande parte de agregados de jazidas naturais aplicados na construção civil, minimizando os descartes de resíduos sólidos no meio ambiente e em aterros sanitários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estação de Tratamento de água, 5%, 10% e 15% de Lodo, Pisos Pré moldados

### **INTRODUÇÃO**

As empresas de estações de tratamento de água – denominadas ETA - vêm buscando soluções de reciclagem para os resíduos gerados no processo de tratamento de água – esses resíduos são denominados de lodo de ETA. Atualmente as soluções são o descarte em aterros sanitários e ou lançamento na rede de esgoto.

Na atualidade, os problemas ligados à poluição e ao descarte de resíduos industriais são de grande importância e preocupam tanto o setor industrial quanto a sociedade como um todo. As estações de tratamento de água geram enormes quantidades de lodo sendo necessário buscar alternativas para o reaproveitamento destes resíduos de forma a não agredir o meio ambiente.

Neste contexto, um setor que apresenta um enorme potencial para contribuir na solução de problemas ambientais originários dos mais diversos processos industriais é o da construção civil. De fato, trabalhos reportados na literatura têm mostrado que é perfeitamente possível a reciclagem de resíduos industriais como constituintes de materiais para a construção civil.

O setor de construção civil é uma área de grande utilização de materiais recicláveis, visto que emprega vários tipos de materiais, desde a fundação até o acabamento.

A proposta do aproveitamento do resíduo vem de encontro com as normas do órgão estadual de proteção ao meio ambiente, FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente e o CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, que exige o aproveitamento de resíduos, evitando a sua disposição, mesmo que em aterros sanitários. De acordo com a NBR 10.004, o lodo de estação de tratamento de água é classificado como resíduos sólidos, no entanto deve ser tratado conforme exigências dos órgão reguladores.

Há métodos e tratamento para disposição final para os resíduos, e são raramente adotados em estações de tratamento devido alto custo de implantação e operação. Os aterros sanitários utilizados para este fim disponibilizam de muita área, provocando desmatamento prejudicando o equilíbrio ecológico da região, uma vez que ao receber o lodo de ETA a área dificilmente recupera sua composição de fauna e flora anterior.

A reutilização dos resíduos de ETA pode ser realizada com a incorporação de lodo em matriz de concreto. Através desta mistura confeccionam-se corpos de prova para realização de diversos ensaios, com o objetivo de estabelecer misturas que possibilitem a reutilização do lodo na matriz de blocos de concreto para a indústria da construção civil.

A possibilidade de incorporação de lodo na matriz de concreto é uma alternativa viável, pois reduz grande parte de agregados de jazidas naturais aplicados na construção civil, minimizando os descartes de resíduos sólidos no meio ambiente e em aterros sanitários.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Nesse trabalho foram utilizadas o lodo da Estação de Tratamento de Água tipo convencional da cidade de Perdões, onde o coagulante é utilizado o sulfato de Alumínio. Compõem o escopo metodológico, planos e métodos de coletas das matérias-primas e técnicas específicas para realização dos experimentos de caracterização do lodo. Foram desenvolvidos os procedimentos para realização das misturas entre as porcentagens de lodo e a massa de concreto, para avaliar as misturas com melhores interações de ordem física e química, por meio de ensaios físico-mecânicos. Nos ensaios foram determinadas as misturas propícias a serem estudadas nos processos de fabricação do pavimento de concreto. Portanto, serão avaliadas as melhores dosagens de lodo no concreto e técnicas utilizadas para alcançar os objetivos propostos.

A caracterização do lodo da ETA de Perdões foi realizada de forma a obter um material representativo do resíduo gerado na estação. A caracterização do lodo ocorreu por meio das análises de: umidade, granulometria, análise química e microscopia eletrônica varredura (MEV).

Inicialmente, o material foi levado a estufa por 24 horas à temperatura de 110 °C com objetivo de eliminar a água existente. Após a secagem o lodo foi moído em moinho convencional, por 2 horas, a fim de diminuir o tamanho das partículas dos aglomerados.

Para determinação da umidade foi utilizada a NBR 6459 - Solo – Determinação do índice de liquidez e NBR 7180 – Solo - Determinação do limite de plasticidade. Nos ensaios para determinação de Limite de Liquidez, foram utilizados uma estufa de até 150°C por 24 horas, uma balança com sensibilidade de 3 casas decimais, aproximadamente 03 cápsulas de alumínio com tampa de 4 cm x 2 cm e um aparelho de Casagrande completo, com cinzel e calibrador. Na determinação de Limite de Plasticidade, foram empregados uma placa de vidro de superfície esmerilhada de 30 cm x 30 cm, um cilindro comparador de limite de plasticidade de 3 mm de espessura, uma espátula de aço e uma cápsula de porcelana de 500 ml.

Para realização do ensaio do índice de liquidez e plasticidade foi utilizado o aparelho de “Casa Grande” e uma haste. Após a divisão do material do aparelho de Casa Grande, foram dados golpes girando-se a manivela até desfazer o espaçamento entre os blocos de lodo. Em seguida, uma pequena porção de lodo foi retirada, pesada e levada para a estufa mantendo-se a temperatura entre 105 e 110 °C por 24 horas.

Para o ensaio de índice de plasticidade foram colhidas amostras de 10 g de lodo e adicionadas porcentagens de água, iniciando com 60% e aumentando de 5 em 5% até que fosse possível moldar o lodo da ETA umedecido com o mesmo diâmetro e comprimento do gabarito.

Para os ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram extraídas amostras rompidas dos CP's de concreto após 28 dias. Para poder garantir uma boa qualidade das imagens, as amostras foram metalizadas com banho de ouro nos ensaios de ES (elétrons secundários).

Posteriormente foi realizada a análise por MEV para verificação da microestrutura e dos componentes do concreto com o lodo, com uso de uma microsonda analítica para espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS).

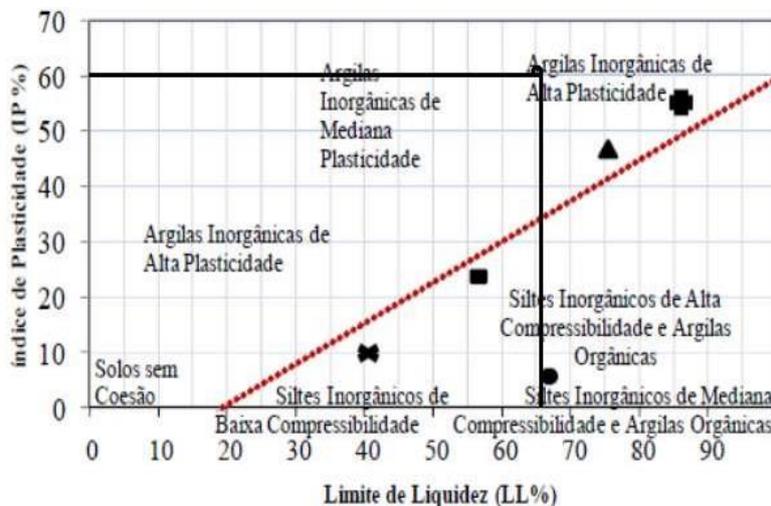
A finalidade do estudo de dosagem do concreto com e sem adição de lodo de ETA seria para definir o melhor experimento para o desempenho físico e mecânico. Para definição e estudo de dosagem, levam em consideração as variações das dosagens do agregado miúdos e a resistência mecânica do material, com relação da quantidade de lodo incorporado na matriz de concreto. Para confecção dos concretos de pavimentos pré-moldados com adição do lodo de ETA, foram adotados o traço 1:0,8:2,2:1,1:0,6(cimento; areia; pó de pedra; brita 1 e água). Foram fabricados 06 tipos de concretos de pavimentos pré-moldados com diferentes teores de lodo em substituição à areia (agregado miúdo). Os teores de lodo incorporados são: 0%, 5%, 10% e 15%. Os moldes dos corpos de prova atendem a NBR 9791 com as dimensões nominais de 9,7 x 19,7 x 6 cm e após de 28 dias os corpos de provas foram rompidos.

Após o rompimento dos corpos de provas foi utilizado o ensaio de Estereoscópico para verificação da homogeneação da massa de concreto seco.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

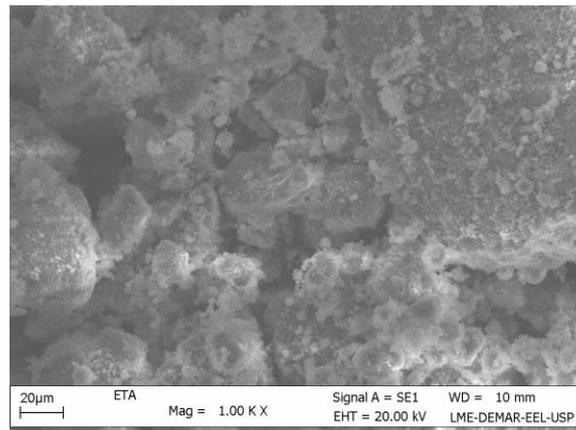
Na figura 1 foram obtidos os resultados dos Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade do lodo da ETA para constatação e verificação do intervalo de plasticidade do solo, ou seja, quanto maior o valor do IP, mais plástico ele será, assim como também será mais compressível.

O gráfico de plasticidade de Casagrande, apresentado na Figura 1, permite caracterizar solos finos a partir do Índice de Plasticidade e do Limite de Liquidez. Os solos com limite de liquidez maior que 50% são muito compressíveis e os solos com LL (limite de liquidez) abaixo de 40% têm baixa ou nenhuma ( $LL < 20\%$ ) compressibilidade. Acima da linha “A” situam-se as argilas inorgânicas (plásticas) e abaixo, as argilas orgânicas e siltes. Conforme os resultados de Limites de Liquidez (65,10%) e Índice de Plasticidade (60,10%) constata-se que o lodo da ETA de Perdões é de argila inorgânica de alta plasticidade.



**Figura 1: Características das matérias primas de acordo com a classificação e identificação de propriedades de argilas (Adaptado de ATTERBERG apud TARTARI,2008).**

Após a secagem o lodo foi analisado por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com objetivo de avaliar os agregados no que se refere a morfologia, tamanho e quantidade de elementos químicos. O aspecto de uma partícula típica de lodo de ETA após a secagem pode ser observado na Figura 2. Nota-se que sobre as faces das partículas grandes existem partículas menores aderidas a superfície.



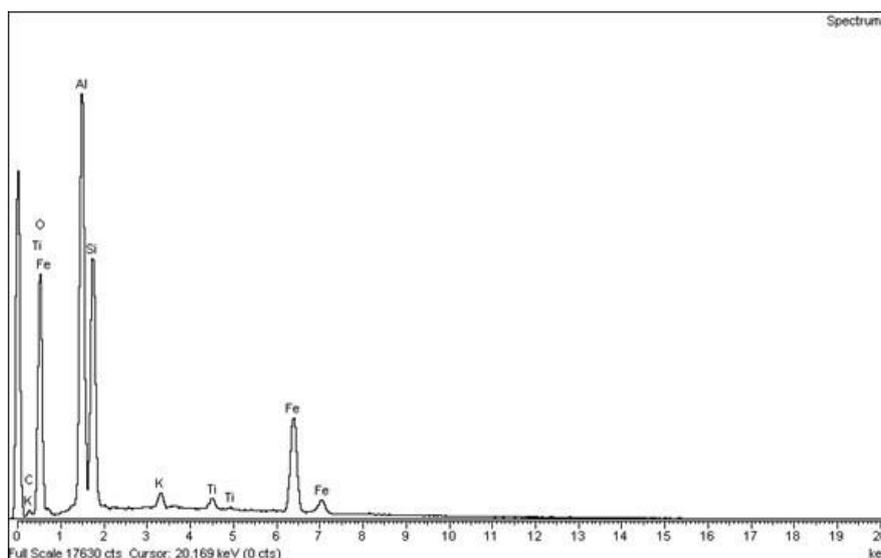
**Figura 2: Imagem de elétrons secundários. Aspecto geral da morfologia das partículas do lodo de ETA moído após a secagem.**

Os elementos químicos e seus respectivos valores encontrados utilizando a técnica de EDS do MEV estão apresentados na Tabela 1.

Constata-se os elementos químicos presentes na amostra do lodo da ETA, principalmente sílica e alumina, já eram esperadas devido a própria composição do material sedimentado no tratamento de água, como por exemplo, materiais argilosos e siltosos, e também pela contribuição do uso do sulfato de alumínio como coagulante no tratamento de água.

**Tabela 1: Elementos químicos encontrados na amostra de lodo seco no MEV.**

ELEMENTOS	% em PESO
<b>C</b>	6,48
<b>O</b>	42,8
<b>Al</b>	18,86
<b>Si</b>	14,24
<b>K</b>	0,91
<b>Ti</b>	0,9
<b>Fe</b>	15,81
<b>Total</b>	100



**Figura 3: Espectro do lodo bruto**

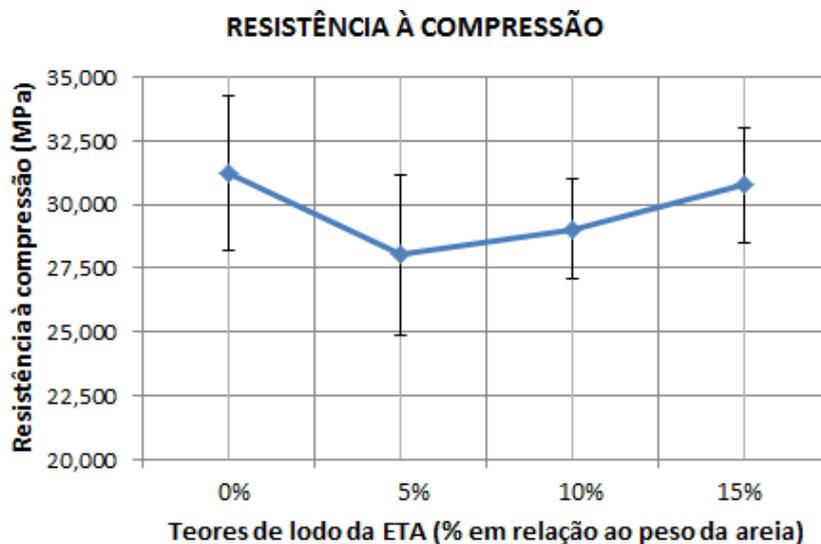
Cabe ressaltar que a técnica de EDS utilizada no MEV, onde os elementos leves abaixo do Berílio os resultados não são confiáveis, como os elementos químicos carbono(C) e oxigênio (O).

Na Tabela 2 e Figura 4 são mostrados os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial dos corpos de provas aos 28 dias de cura para cada tipo de concreto e mistura com seus respectivos desvios padrão. São apresentados valores máximos das tensões de ruptura.

**Tabela 2: Resistência à compressão axial em relação à porcentagem de lodo incorporado.**

AMOSTRAS	0% (MPA)	5% (MPA)	10% (MPA)	15% (MPA)
1	30,4	25,81	27,37	33,91
2	27,56	28,05	28,52	30,93
3	29,78	26,81	29,6	27,72
4	34,55	24,58	32,41	30,88
5	29,81	29,47	29,3	32,33
6	35,2	33,4	26,98	28,86
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>3,002</b>	<b>3,138</b>	<b>1,951</b>	<b>2,249</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>31,217</b>	<b>28,02</b>	<b>29,03</b>	<b>30,772</b>

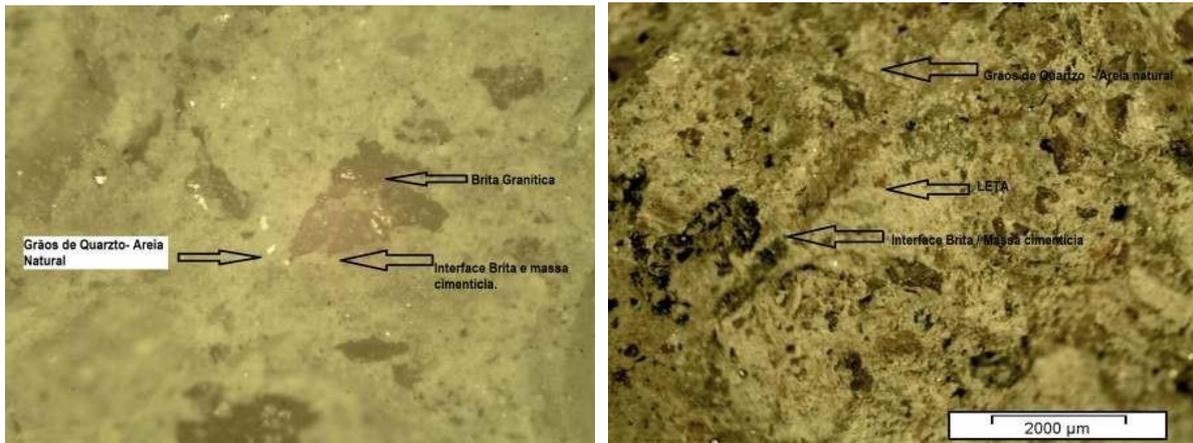
A análise de resistência à compressão axial do concreto conforme Tabela 2 e Figura 4 mostram que não houve diminuição significativa da resistência com incorporação do lodo de ETA (LETA) em substituição à areia. Isto mostra que as resistências à compressão do concreto estão dentro da média.



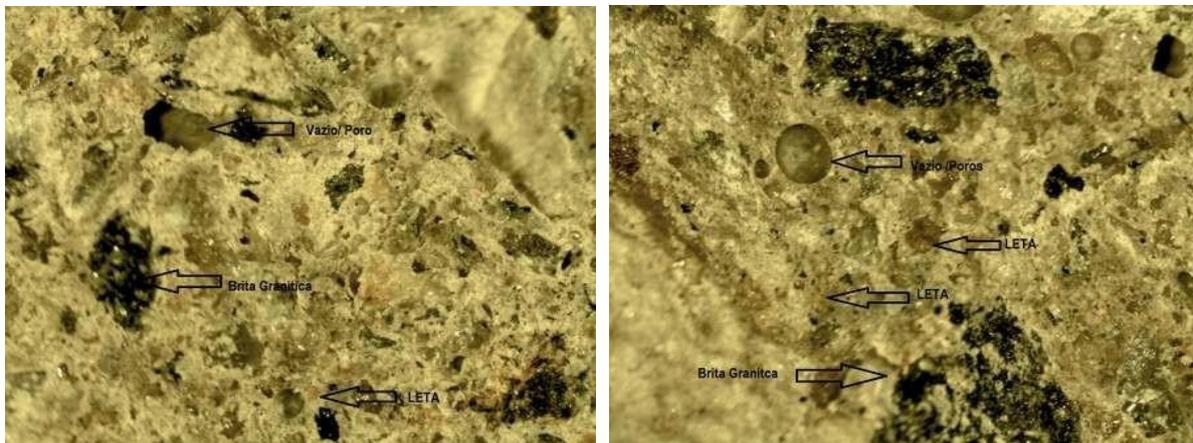
**Figura 4: Resistência média a compressão a 28 dias**

O fato de a resistência à compressão ter diminuído com 5% e aumentado sucessivamente com os teores de 10% e 15% de lodo com relação ao concreto matriz, é que o LETA preenchia os espaços vazios (poros) na microestrutura do concreto.

As análises da microestrutura dos corpos de prova, com substituição de 0%, 5% e 10% e 15% de LETA por areia natural, realizada através de microscopia ótica (estereoscopia), mostraram uma boa distribuição das partículas de LETA na matriz de concreto e uma boa coesão entre as partículas de LETA, a areia convencional e a brita (Figuras 5 a 8).



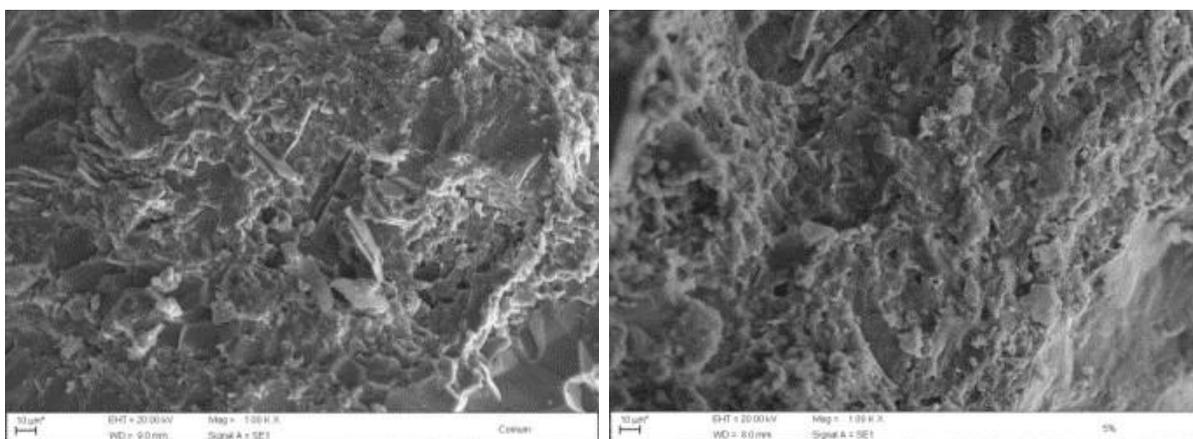
**Figura 5 e 6: Estereoscopia corpo de prova 0% e 5% de LETA aumento 50x e 15x respectivamente.**



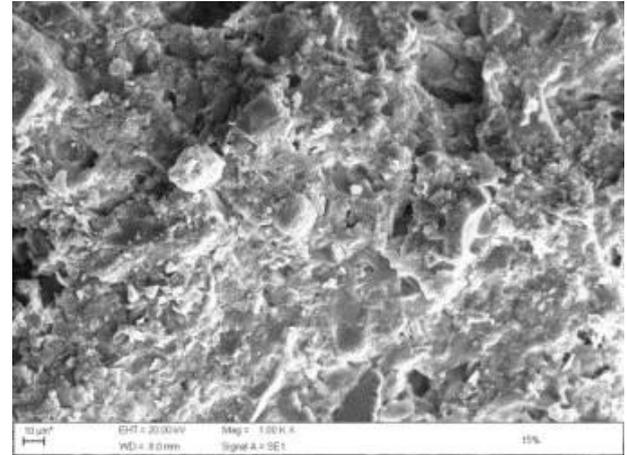
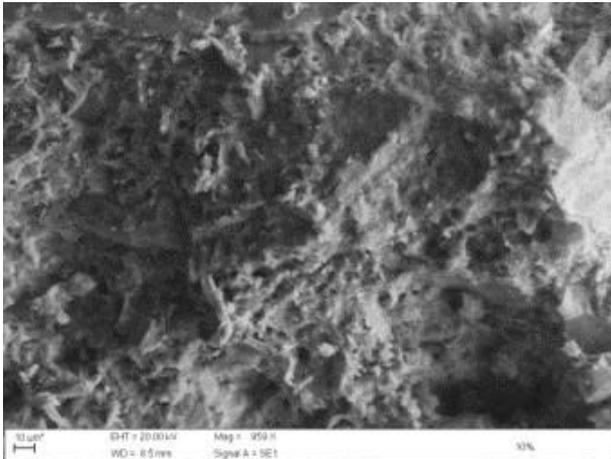
**Figura 7 e 8: Estereoscopia corpo de prova 10% e 15% de LETA – Aumento 15x respectivamente.**

As análises da microestrutura dos corpos de prova nas Figuras 5 a 8, com substituição do LETA por areia natural, mostraram uma boa distribuição do LETA na matriz e uma boa coesão entre os agregados graúdos e miúdos. Isto pode ser mostrado na Figura 6 para LETA de 5% que apresentou maior números de poros com relação às demais misturas, sendo que a porosidade tem grande influência na resistência mecânica. Já a Figura 8 a porosidade pode ter ocorrido devido a presença de ar incorporado na mistura e moldagem ou até mesmo bolhas d'água.

As Figuras 9 a 12 mostra ensaios com diferentes teores do LETA com a utilização do Elétron Secundário (ES), que permite pelas imagens e espectro a determinação de dados relacionados a porosidade e composição.



**Figura 9 e 10: MEV Concreto 0% e 5% de LETA respectivamente.**

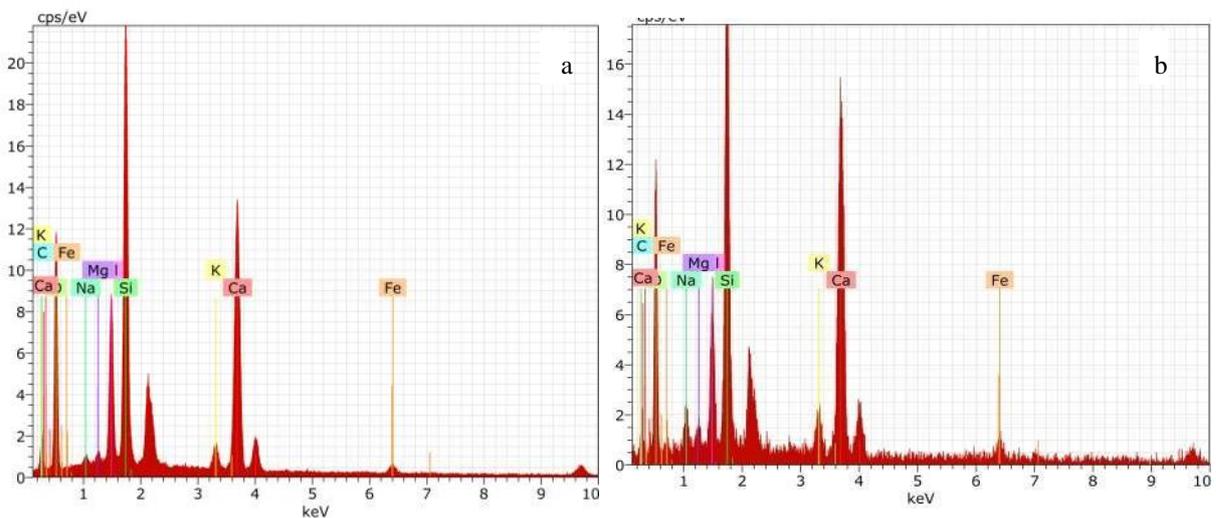


**Figura 11 e 12: MEV Concreto 10% e 15% de LETA respectivamente.**

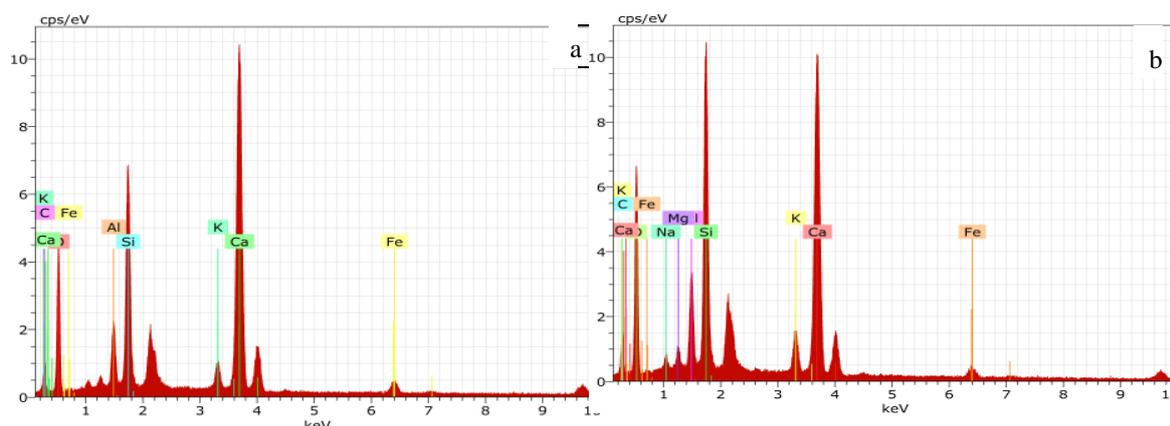
Pela análise das imagens realizadas no MEV, a incorporação do lodo não afetou sua estrutura e também não foram constatadas microestruturas diferentes no concreto nos diferentes teores de lodo.

Pode-se observar que a distribuição de poros na matriz de concreto em todas as composições de 0%, 5%, 10% e 15% estão uniformes e distribuídos em toda a sua estrutura. Na composição de 5% de teor de lodo no concreto, a microestrutura apresentou maior número de poros com relação às demais microestruturas de teores diferentes de lodo.

O EDS foi realizado no concreto nas composições de 0%, 5%, 10% e 15% de teor de lodo, conforme mostra difratogramas apresentadas nas Figuras 13 e 14.



**Figuras 13: Espectro do material do concreto: a) com 0% de lodo, b) com 5% de lodo**



**Figuras 14: Espectro do material do concreto: a) com 10% de lodo, b) com 15% de lodo**

**Tabela 3: Elementos químicos encontrados na amostra do concreto no MEV**

Elementos Químicos	Peso normativo (%)			
	Teor de lodo - 0%	Teor de lodo - 5%	Teor de lodo - 10%	Teor de lodo - 15%
O	46,28	45,07	45,09	46,17
Ca	20,46	21,8	31,85	24,79
Si	14,41	12,74	8,51	10,52
C	8,22	8,43	6,71	8,22
Al	6,29	4,7	1,28	3,76
Fe	1,69	2,32	3,35	2,26
K	1,37	1,96	1,62	1,19
Na	0,75	2,14	-	1,1
Mg	0,54	0,84	-	0,93

Com o histograma comparativo conforme Figuras 13a, 13b, 14a, 14b e Tabela 3, gerado pela análise pelo EDS da amostra do concreto com teores de LETA nas proporções de 0%, 5%, 10% e 15%, demonstram que os principais elementos estão presentes tanto na amostra do lodo quanto nas amostras das misturas de LETA no concreto. Os principais elementos químicos presentes tanto na amostra do lodo quanto do concreto são: Al, Si e Fe. O elemento químico Fe pode ser encontrado tanto na água quanto na incrustação na tubulação de ferro fundido, e também, no próprio cimento encontra-se a composição química  $Fe_2O_3$ .

## CONCLUSÃO

De acordo com os resultados dos experimentos realizados com o concreto confeccionado a partir da incorporação do lodo de ETA, conclui que o lodo da ETA de Perdões (COPASA, MG) apresentou altos teores de sílica e alumínio devido ao tipo de coagulante utilizado no sistema de tratamento de água.

Outro fator de extrema importância foi a resistência à compressão do concreto com incorporação do lodo; o concreto atingiu melhor desempenho mecânico para concreto estrutural, porém, não se sabe seu efeito ao longo do tempo. Assim, os pisos pré-moldados podem ser utilizados em pavimentos para pedestres e tráfego de veículos leves, pois garantem uma resistência à compressão média acima de 25 MPa.

O fato de ocorrer aumento de resistência à compressão axial com a adição de lodo nos teores de 10% e 15% pode ser devido à relação água/cimento ter sido a mesma em todos os traços. Como o lodo é um material plástico, houve retração de água no lodo e diminuição de poros tornando a matriz de concreto mais resistente.

Nesse sentido, a incorporação dos teores de lodo de 10% e 15% em substituição à areia mostrou-se tecnicamente viável e ambientalmente favorável, uma vez que incentiva a redução de quantidades consideráveis do resíduo em aterros e em lançamentos indevidos aos córregos e rios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABD-ELFATTAH, A. WADA, K. Adsorption of lead, copper, zinc, cobalt and cadmium by soils that differ in cation-exchange capacity. In: *Journal of Soil Science*. 32:271-283, 1981.
2. ANDREOLI, C. V. Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento. In: ANDREOLI, C. V. (coord). Usos Alternativos de Lodos de Estações de Tratamento de Água e Estações de Tratamento de Esgoto. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 2006. p.29-48.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.
4. CORDEIRO, J. S. Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). In: ANDREOLI, C. V. (coord) Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 2001. p.119-142.
5. HOPPEN, C; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; BARON, O.; FRANK, R.; SALES, A. Co-disposição de Lodo Centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em Matriz de Concreto: Método Alternativo de Preservação Ambiental. *Cerâmica*, 51:85-94. 2005.
6. PAIXÃO, L.C.C. Aproveitamento de lodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha. 125p. Dissertação de Mestrado. (UFOP, CETEC, UEMG), Ouro Preto, 2005.
7. PORRAS, A. C. Uso de Lodo de Estação de Tratamento de Água e Agregado Reciclado Miúdo na Fabricação de Elementos de Alvenaria. 213 p. Dissertação de Mestrado. (UNICAMP). 2007.
8. REALI, M. A. P. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. In: *Noções gerais de tratamento e disposição dos lodos de estação de tratamento de água*.
9. SARTORI, H.J.; NUNES, M. S. Caracterização geotécnica de lodos provenientes de estações de tratamento de água e de esgotos sanitários. 1997.
10. TARTARI, R. Incorporação de Lodo Gerado na Estação de Tratamento de Água Tamanduá, Como Aditivo em Massas para Cerâmica Vermelha. 125 p. Dissertação de Mestrado. (UNIOESTE). Campos Foz do Iguaçu, 2008.
11. TEIXEIRA, S.R.; SOUZA, S.A.; SOUZA, N.R.; ALÉSSIO, P.; SANTOS, G.T.A. Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) na propriedade de material cerâmico estrutural. *Cerâmica*, 52:215-220.2006.
12. TSUTIYA, M. T; HIRATA. A. Y. Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água do Estado de São Paulo. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. 2001. João Pessoa. Brasil. Anais Eletrônicos I-025.
13. UEAHARA, G., GILLMAN, G. *The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays*. USAID, 1978. Pag. 209.
14. WU, C. C. & HUANG, C. *Effects of recycling-sludge operation on the structure and moisture content of floc in water treatment plant*. *Separation Science and Technology*, v. 32, Nº 17, p. 2873-2882, 1997.
15. YUZHU, W. Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 419 p, 1996.