

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS PARA APROVEITAMENTO EM TIJOLO SOLO-CIMENTO

L.R. Pessin<sup>1</sup>, A.Z. Destefani<sup>1</sup>, J.N.F. Holanda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UENF-CCT/PPGECM, Av. Alberto Lamego 2000,28013-602, Campos dos Goytacazes, RJ, [larapessin@hotmail.com](mailto:larapessin@hotmail.com)

### RESUMO

*As estações de tratamento de águas (ETAs) para consumo humano geram enormes quantidades de resíduos em forma de lamas (lodos), que têm sido ao longo dos anos principalmente dispostos inadequadamente no meio ambiente. Por outro lado, os métodos tradicionais de disposição de resíduo de ETAs comumente usados são geralmente atividades dispendiosas. Um método alternativo para disposição deste abundante resíduo é a sua incorporação em produtos cerâmicos. Este trabalho é voltado para a caracterização física, química e mineralógica de uma amostra de resíduo de ETAs proveniente da região de Campos dos Goytacazes-RJ, visando a sua utilização na fabricação de tijolo solo-cimento. Diversas técnicas de caracterização foram empregadas incluindo difração de raios-X, fluorescência de raios-X, microscopia eletrônica de varredura, picnometria, análise de tamanho de partículas, plasticidade e análise térmica. Os resultados experimentais indicam que o resíduo de ETAs apresenta potencial para ser usado na fabricação de tijolo ecológico do tipo solo-cimento, desde que usado em quantidades moderadas.*

Palavras-chave: Resíduo de ETAs, caracterização, tijolo solo-cimento.

### INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Águas (ETA) possuem grande importância econômica e social. Nas ETAs, onde a água bruta se torna adequada para o consumo humano, é realizado as etapas sedimentação, coagulação, filtração,

desinfecção, correção do pH e adição de flúor <sup>(1)</sup>. O resíduo é produzido nas unidades de sedimentação e no sistema de filtração. O resíduo de ETA é classificado pela NBR 10.004/2004 <sup>(2)</sup> como resíduo sólido e, portanto, deve ser tratado e disposto conforme exigência dos órgãos reguladores. Este processo de tratamento resulta na produção de uma grande quantidade de resíduo, sendo na forma de lodo (lodo de ETA), que têm sido ao longo dos anos dispostos inadequadamente nos recursos hídricos e no meio ambiente. Dessa forma, a deposição deste resíduo é um grande problema ambiental. A busca de novas alternativas tecnológicas para reciclagem de resíduos sólidos pode trazer benefícios ambientais e econômicos à sociedade. Sendo a reciclagem secundária, uma metodologia adequada para a valorização dos resíduos, ou seja, reciclagem do resíduo em outro processo produtivo. Além disso, a valorização do resíduo possui inúmeras vantagens, como: redução do consumo de matérias-primas naturais e de poluição ambiental, como também redução do consumo energético<sup>(3)</sup>.

A ETA de Campos dos Goytacazes-RJ capta água na Bacia do Paraíba do Sul, gerando enorme quantidade de resíduo na forma de lodo. Este resíduo era lançado no Rio Paraíba do Sul, intensificando seu assoreamento. Porém, observa-se que esta situação é encontrada em muitos municípios brasileiros. Portanto, tal problemática é uma questão a ser discutida e solucionada.

Segundo Cordeiro 1999 <sup>(4)</sup>, existem várias alternativas para disposição final para o lodo de ETA, a serem adotados que dependem da viabilidade econômica, técnica e ambiental. Entre estas, incluem-se: fabricação de cimento; aplicação ao solo; aterro sanitário; incineração; e fabricação de tijolos. Também se acrescenta a possibilidade de encaminhamento do lodo de ETA às Estações de Tratamento de Esgoto (ETE).

O campo da cerâmica tem se tornado uma alternativa promissora para o destino de grandes quantidades de resíduos sólidos poluentes <sup>(5)</sup>. Os resíduos podem ser usados principalmente na formulação de massas cerâmicas incorporadas para a fabricação de produtos para a construção civil.

Este trabalho tem como objetivo principal à caracterização física, química e mineralógica de uma amostra representativa do resíduo gerado na Estação de Tratamento de Águas de Campos dos Goytacazes-RJ, tendo em vista a possibilidade para aproveitamento em tijolo solo-cimento. Para a devida caracterização, utilizou-se os seguintes métodos de análises: fluorescência de raios-

X, difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura, plasticidade, análise granulométrica, análise térmica e análise morfológica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho o resíduo utilizado foi coletado nos decantadores da ETA de Campos dos Goytacazes, RJ. A amostra do resíduo natural apresenta-se na forma de lodo. O resíduo de ETA foi então sedimentado, para retirada de excesso de água, homogeneizado e submetido a processo de secagem em estufa por 48 horas à 110°C. Logo após o resíduo seco foi destorroado e peneirado para a fração < 35 mesh (abertura de 425 µm), constituindo assim, na amostra de trabalho.

A análise mineralógica qualitativa da amostra do resíduo de ETA foi realizada por difração de raios-X (Difratômetro Shimadzu, XRD-7000), usando radiação monocromática de Cu-K<sub>α</sub> a uma velocidade de 1,5° (2θ) por minuto.

A composição química da amostra foi determinada através de fluorescência de raios-X (Shimadzu, EDX-700). A perda de massa da amostra calcinada foi realizada em um forno mufla a 1000 °C e determinada de acordo com:

$$\%PF = \frac{(M_s - M_c)}{M_s} \cdot 100 \quad (A)$$

onde *M<sub>s</sub>* é o peso da amostra seca em 110 °C e *M<sub>c</sub>* é o peso da amostra calcinada a 1000 °C durante 2 h, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min.

A análise granulométrica foi determinada através de procedimentos de acordo com a NBR 7181-84 <sup>(6)</sup>, pelo processo combinado de sedimentação e peneiramento. A massa específica real dos grãos foi determinada de acordo com a norma NBR 6508-84 <sup>(7)</sup>.

As propriedades plásticas, limites de consistência de Atterberg foram determinadas de acordo com a NBR 6459-84 <sup>(8)</sup> (Limite de Liquidez) e NBR 7180-84 <sup>(9)</sup> (Limite de Plasticidade).

A análise Térmica Diferencial (ATD) e Térmica Gravimétrica (ATG), (Analisador Simultâneo ATG-ATD, DTG-60H) foram realizadas sob atmosfera de nitrogênio (28°C) até 1000°C, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min.

A morfologia das partículas do resíduo de ETA foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (Shimadzu, SSX-550).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da composição química do resíduo de ETA. Observa-se que o resíduo de ETA é quimicamente composto principalmente por alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), que corresponde à cerca de 70,96%. Pode-se observar também que o resíduo apresenta baixos teores de óxidos fundentes ( $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$ ), exceto óxido de ferro. O resíduo de ETA possui elevada perda ao fogo da ordem de 24,5 %. Isto se deve a elevada presença de argilomineral e, também, a hidróxidos e matéria orgânica.

Tabela 1 – Composição química do resíduo de ETA.

Composição	(%)
$\text{Al}_2\text{O}_3$	31,18
$\text{SiO}_2$	29,58
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	10,20
$\text{SO}_3$	1,60
$\text{K}_2\text{O}$	1,26
$\text{TiO}_2$	1,04
$\text{CaO}$	0,33
$\text{MnO}$	0,13
$\text{V}_2\text{O}_5$	0,09
$\text{ZnO}$	0,02
$\text{ZrO}_2$	0,01
PF	24,50

Na Figura 1 é apresentado o difratograma de raios-X da amostra do resíduo de ETA. Nota-se a presença principalmente de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), caulinita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e gibsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), por seus picos intensos. Há também indícios da presença de mica moscovita.

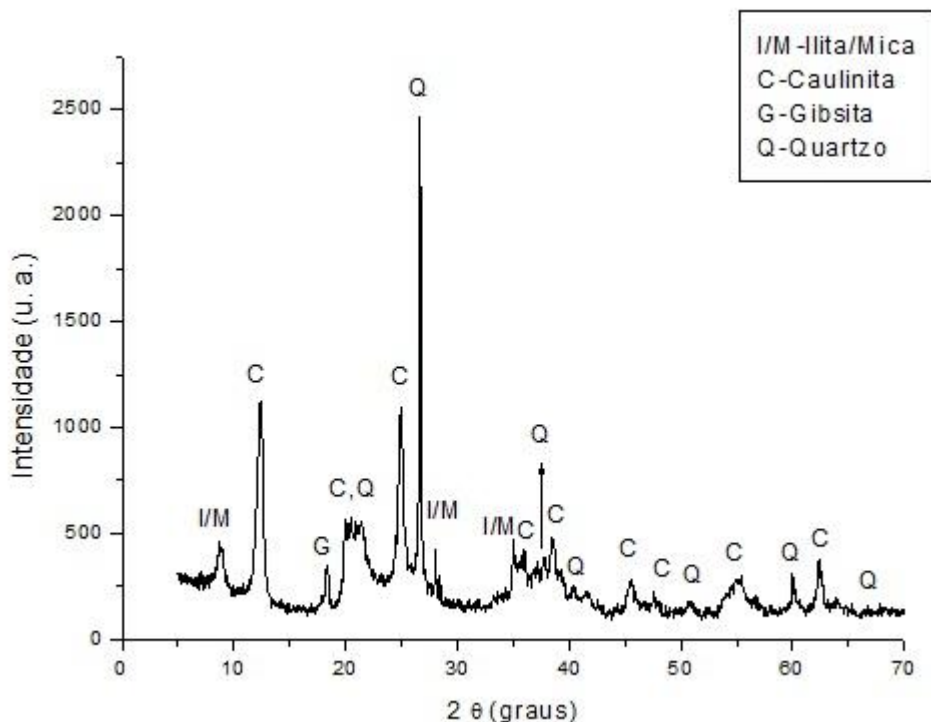


Figura 1 – Difratoograma de raios-X para resíduo de ETA

A Figura 2 apresenta as curvas de análises térmicas diferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG) para o resíduo de ETA. De acordo com a curva de ATD amostra do resíduo apresenta três vales endotérmicos nas temperaturas de 107 °C, 264 °C e 481 °C. Estes eventos estão relacionados à perda água fisicamente adsorvida, desidratação de hidróxidos e desidroxilação de argilomineral (caulinita), respectivamente. Pode-se observar ainda na curva ATD dois eventos exotérmicos nas temperaturas de 318 °C e 748 °C. Estes eventos podem estar relacionados à combustão de matéria orgânica presente no resíduo e possivelmente à recristalização de novas fases cerâmicas, respectivamente.

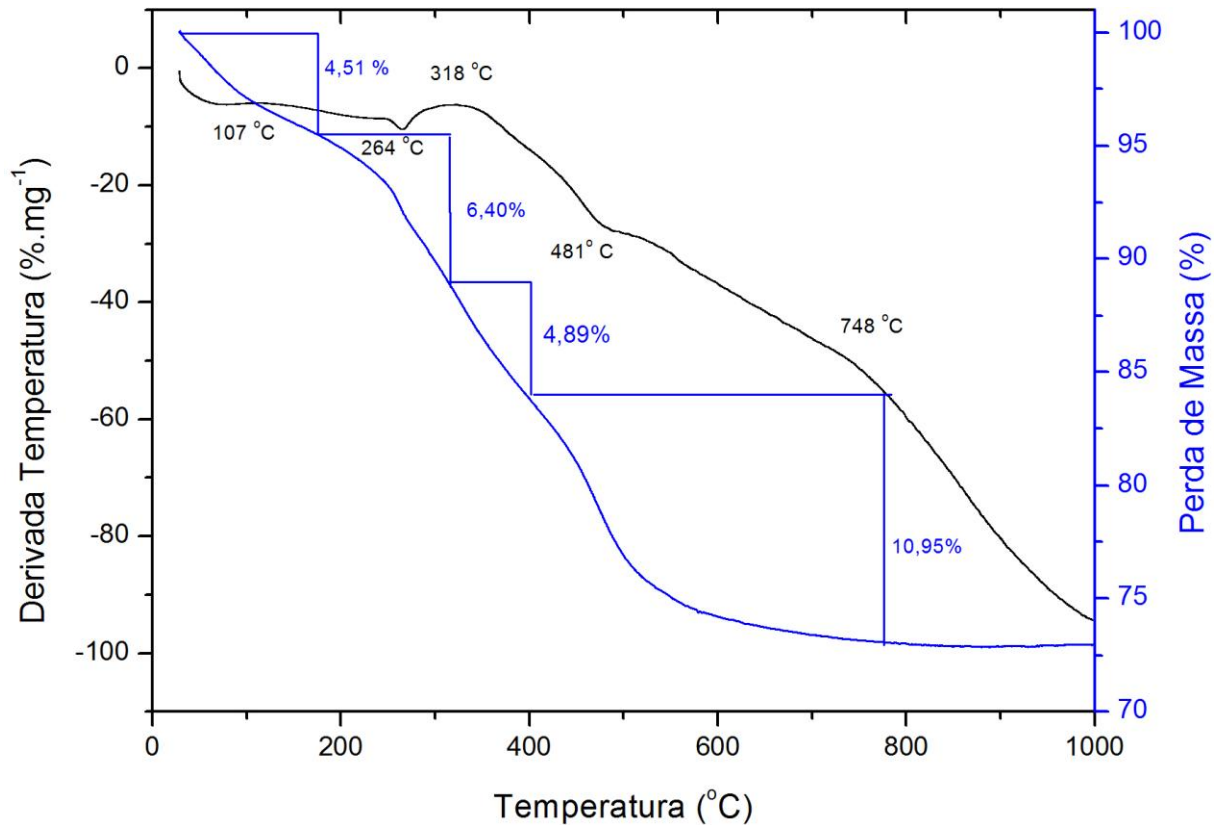


Figura 2 – Curvas de ATD e ATG para o resíduo de ETA estudado.

A Tabela 2 apresenta os resultados de variação de massa em função da temperatura, obtidos a partir da curva termogravimétrica. Os eventos endotérmicos são acompanhados por intenso processo de transferência de massa na amostra, como mostrado nas curvas ATD/TG e resumidos nesta tabela. A amostra apresentou uma perda de massa total obtida da curva TG de 26,75 % durante o aquecimento, que é bem correlacionada com o valor da perda ao fogo foi de 24,50 % (Tabela 1).

Tabela 2 – Variação da massa em função da temperatura na análise termogravimétrica do resíduo de ETA.

Varição de massa (%)	Temperatura (°C)
4,51%	107°C
6,40%	318°C
4,89%	481°C
10,95%	748°C

A Tabela 3 mostra os limites de consistência de Atterberg do resíduo de ETA estudado. O limite de plasticidade (LP) está relacionado à quantidade de água

mínima necessária para que o estado de consistência plástica seja adquirido. O limite de liquidez (LL) está relacionado à quantidade de água em que o material apresenta uma consistência de lama, ultrapassando assim, a faixa de consistência plástica. E o índice de plasticidade é dado por:

$$IP = LL - LP \quad (B)$$

O resíduo de ETA apresenta um índice de plasticidade relativamente alto, em torno de 35 %.

Tabela 3 - Limite de liquidez e limite de plasticidade do resíduo de ETA (%)

Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade
59	24	35

A Figura 3 apresenta a análise granulométrica do resíduo de ETA. Observa-se que o resíduo apresenta um percentual de 35 % de partículas abaixo de 2 µm, que corresponde à fração argila, conforme a classificação da ABNT. O teor de silte ( $2 \mu\text{m} \leq x < 60 \mu\text{m}$ ) é da ordem de 62 %. E o teor de areia ( $60 \mu\text{m} \leq x < 600 \mu\text{m}$ ) é cerca de 3 %. O resíduo ETA apresentou uma massa específica real dos grãos de  $2,50 \text{ g/cm}^3$ .

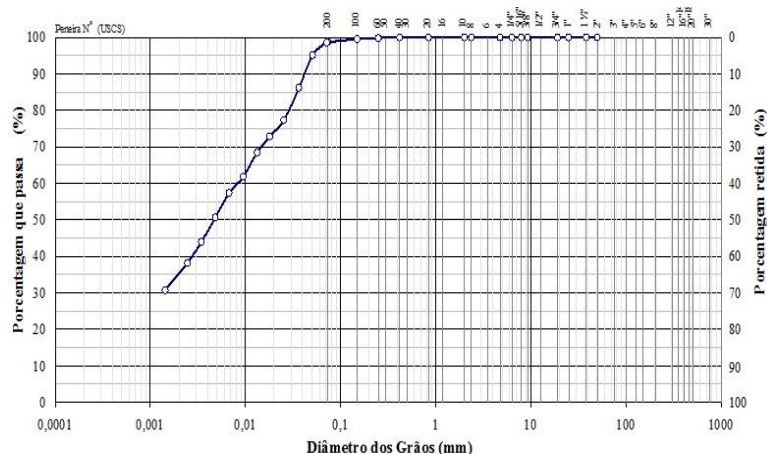


Figura 3 – Análise granulométrica do resíduo de ETA.

A Figura 4 apresenta a morfologia das partículas do resíduo de ETA obtida por MEV e o espectro de EDS. O resíduo de ETA é formado principalmente por



placas lamelares de caulinita. O mapeamento por elementos através de EDS indicou a presença de Fe, Al e Si, os quais confirmam os dados da composição química (Tabela 1). Além disso, observa-se larga distribuição de tamanho de partículas do resíduo, comprovando os dados de granulometria do resíduo (Fig. 3).

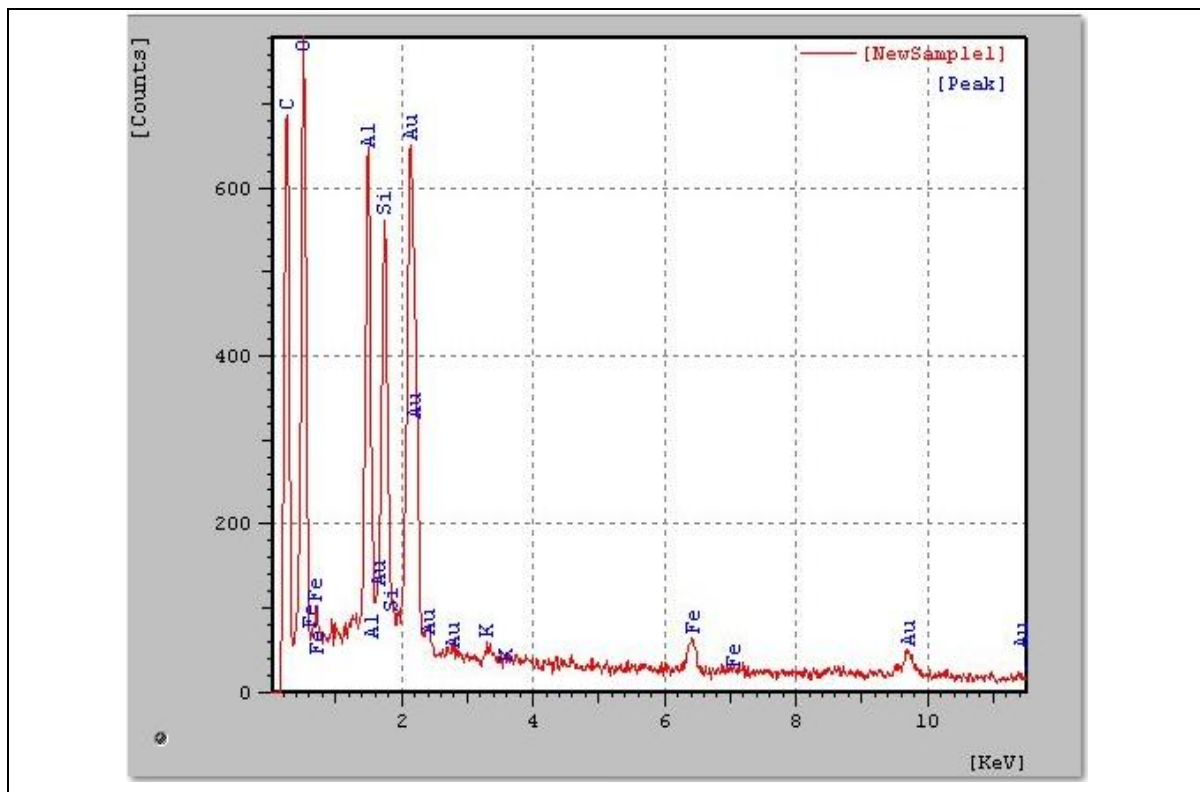
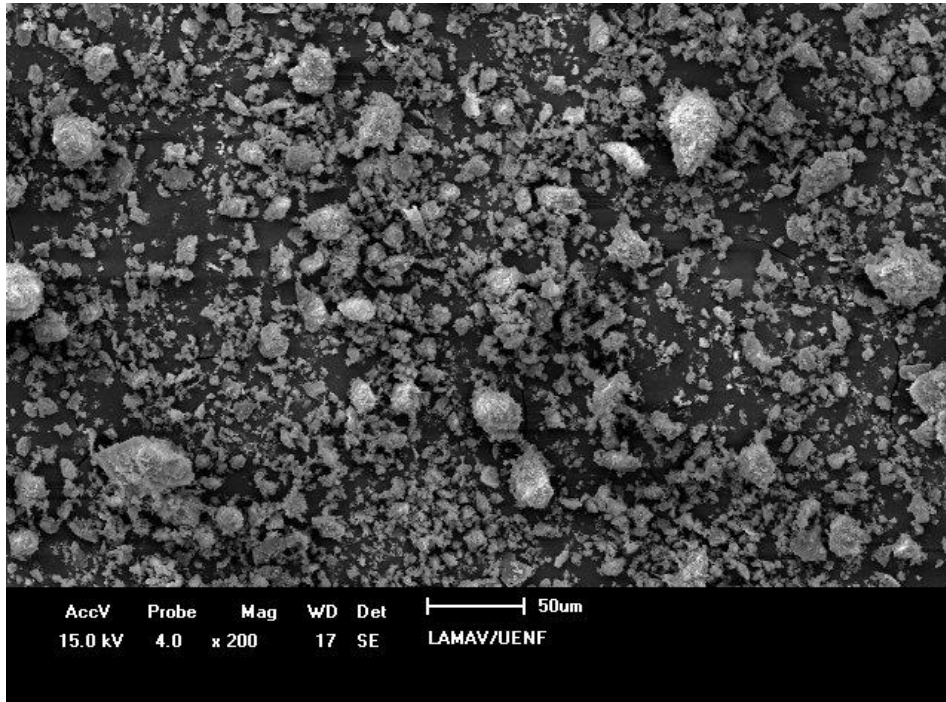




Figura 4 – Morfologia das partículas e mapeamento por EDS do resíduo ETA.

## CONCLUSÕES

Dentre as principais conclusões que podem ser obtidas a partir dos resultados experimentais deste trabalho:

O resíduo de ETA estudado é quimicamente rico em  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , e do ponto de vista mineralógico é constituído principalmente por caulinita. Foi constatado que o resíduo contém alto teor de partículas finas ( $< 2 \mu\text{m}$ ) e é um material argiloso de alta plasticidade (IP = 35 %). Estes resultados sugerem que o resíduo de ETA estudado pode ser usado na fabricação de tijolos solo-cimento, desde que adicionado em quantidades moderadas.

## REFERÊNCIAS

- (1) Braga, B.; Hespanhol, I.; Conejo, J. G. L.; Mierzwa, J. C.; Barros, M. T. L.; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N.; Eiger, S. Introdução a Engenharia Ambiental. 2º ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005, 109 e 110p.
- (2) Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). Resíduos Sólidos - Classificação: NBR 10.004. Rio de Janeiro.
- (3) Carvalho, C.L. Propriedades Mecânicas, morfologia, e biodegradação de poliolefinas pós-consumo e blendas com amido termoplástico. 2005.(Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Universidade São Francisco, Itabita.
- (4) Cordeiro, J.S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. In: REALI, M.A.P. Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água. Rio de Janeiro: ABES, 1999, 1-39p.
- (5) Teixeira, S.R.; Souza, A.E.; Santos, G.T.A.; Pena, A.F.V. Sugarcane bagasse ash as a potential quartz replacement in red ceramic, Journal of the American Ceramic Society, 2008, V. 91, p. 1883-1887.

(6) Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Análise Granulométrica - Solo: ABNT NBR 7181. Rio de Janeiro.

(7) Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Determinação da massa específica: ABNT NBR 6508. Rio de Janeiro.

(8) Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Determinação do limite de liquidez - Método de ensaio: ABNT NBR 6459. Rio de Janeiro.

(9) Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Determinação de limites de plasticidade - Método de ensaio: ABNT NBR 7180. Rio de Janeiro.

## PHYSICAL, CHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF WATER TREATMENT PLANT WASTE FOR USE IN SOIL-CEMENT BRICK

### ABSTRACT

The water treatment plants (WTP) for human consumption generate huge amounts of waste in the form of sludge (sludge) that have been over the years mostly inadequately prepared in water resources and the environment. Moreover, traditional methods of disposal of waste water treatment plants commonly used are generally costly activities. An alternative method for disposal of this waste abundant is its incorporation in ceramic products. This work is focused on the physical-chemical and mineralogical composition of a sample of waste water treatment plants from the region of Campos dos Goytacazes-RJ to their use in the manufacture of soil-cement brick. Several characterization techniques were used including X-ray diffraction, X-ray fluorescence, scanning electron microscopy, picnometry, particle size analysis and plasticity. The experimental results indicate that the waste water treatment plants have the potential to be used in the manufacture of ecologic soil-cement bricks.

Keywords: Waste water treatment plants, characterization, soil-cement brick.