

# APROVEITAMENTO DO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO COMO MATÉRIA PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE MATERIAL POZOLÂNICO

GILSON MORALES<sup>1</sup>

MORALES, G. Aproveitamento do lodo de esgoto sanitário como matéria prima para a produção de pozolana. *Semina: Ci. Exatas/Tecnol. Londrina*, v. 18/20, n. 4, p. 39-45, dez. 1997/1999.

**RESUMO:** A utilização do lodo de esgoto é restrita e, em muitas cidades, ele é simplesmente incorporado ao solo como aterro sanitário ou como fertilizante agrícola. Por outro lado, devido a sua composição química, torna-se pertinente o estudo da possibilidade de sua utilização na produção de material pozolânico através da calcinação. A reatividade pozolânica é determinada através do consumo de cal em mg por grama de material pozolânico. O desempenho do material mostrou tratar-se de uma excelente pozolana.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de esgoto, pozolana, cimento pozolânico.

## 1 INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto sanitário realizado nas grandes cidades produz uma grande quantidade de lodo, o qual é lançado na periferia, sendo que este material, em virtude de sua composição química, apresenta-se como um material potencialmente pozolânico.

## 2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

### 2.1 Função da calcinação

Segundo Santos (1966), os argilo-minerais devem ser calcinados para apresentarem propriedades pozolânicas satisfatórias, sendo que algumas argilas calcinadas dão excelentes pozolanas.

### 2.2. Função da moagem

A superfície específica é fundamental na ativação de uma pozolana, já que ela fornece a superfície disponível para a precipitação dos compostos hidratados do meio.

De acordo com Mortureux *et al.* (1980), a reatividade pozolânica depende sobretudo, a curto prazo, da superfície específica do material e, num prazo maior, dos teores de sílica e alumina reativas.

### 2.3 Reatividade pozolânica

Segundo Lea (1938), as pozolanas são definidas como materiais silicosos ou sílico-aluminosos os quais, por si mesmos, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, porém, finamente divididos e na presença de umidade, apresentam a propriedade de reagirem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, dando origem a compostos aglomerantes hidráulicos.

Massazza (1974), no 6- Congresso Internacional da Química do Cimento, definiu pozolana como sendo um material natural ou artificial, rico em sílica e alumina, capaz de reagir com a cal na presença da água, formando, a partir desta reação, produtos com propriedades cimentantes.

O material pozolânico, em função de sua extrema finura, desempenha um papel físico de

<sup>1</sup> Depto. de Construção Civil/ Universidade Estadual de Londrina, Caixa Postal 6001, Londrina, Pr., CEP 86051-970.

preenchimento de pequenos espaços, melhorando a resistência à compressão devido à interação com a pasta de cimento, interferindo na formação e orientação de cristais na interface pasta-agregado, com grande quantidade de pequenas partículas alterando a reologia e reduzindo o atrito interno nas interfaces, com redução da porosidade, segundo Kronlof (1994).

Como a pozolana atua como ponto de nucleação dos produtos de hidratação do cimento, ou seja, serve como superfície para a sedimentação dos produtos provenientes desta hidratação, ocorre um aumento de C-S-H, sendo que a pozolana consome a cal liberada, dando origem a uma estrutura cristalina rígida, ou, em outras palavras, à medida que vai havendo liberação da cal, esta vai passando para a pozolana, formando-se o C-S-H, o que se caracteriza como "efeito pozolânico".

## 2.4 O lodo de esgoto

O lodo de esgoto se constitui na fração sólida proveniente do tratamento do esgoto sanitário após a separação das fases líquida e sólida e a biodigestão da fração sólida por bactérias aeróbias ou anaeróbias.

## 3 METODOLOGIA DE PRODUÇÃO

### 3.1 Secagem do lodo biodigerido

Foi adotada a secagem do lodo ao ar, nos leitos de secagem, sendo que a umidade média do material recolhido foi de 72,8%, o que possibilitou a sua calcinação imediata.

### 3.2 Ativação térmica do lodo

A desidroxilação de certos minerais argilosos na faixa de temperatura de 600 a 900°C os leva a fases ditas transitórias, caracterizadas por uma desordem cristalina que lhes confere maior reatividade que a do material original, ou lhe confere uma reatividade antes não manifesta. Foi trabalhada a faixa entre 600 e 800°C, verificando-se que a perda ao fogo mantém uma certa estabilidade a partir dos 600°C.

Foram testados três valores diferentes, ou sejam, 30, 60 e 90 minutos, sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

### 3.3 Ativação mecânica do lodo

A ativação mecânica por moagem promove a separação das espécies mineralógicas, reduzindo as dimensões granulométricas das partículas, o que equivale dizer que promove uma elevação da superfície específica do material, criando desta forma, novas superfícies susceptíveis de apresentarem zonas superficialmente reativas.

## 4 A CINZA DO LODO DE ESGOTO

### 4.1 Análise química

O material apresentou massa específica igual a 2,78 g/cm<sup>3</sup> e massa unitária no estado solto de 0,75 g/cm<sup>3</sup>.

Os resultados da análise química da cinza estão na Tabela 2.

**Tabela 1 – Valores de perda de lodo em massa em relação à massa inicial, em função da temperatura da mufla e do tempo de residência.**

TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO (°C)	PERDA (%) EM FUNÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA		
	30 minutos	60 minutos	90 minutos
600	17,62	20,31	20,55
700	17,79	21,60	22,43
800	20,09	21,61	21,68

**Tabela 2** – Análise química do lodo calcinado.

COMPONENTE	TEOR EM %
SiO <sub>2</sub> (anidrido silícico)	41,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de ferro)	15,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de alumínio)	22,70
CaO (óxido de cálcio)	4,92
MgO (óxido de magnésio)	2,42
Na <sub>2</sub> O (óxido de sódio)	0,05
K <sub>2</sub> O (óxido de potássio)	0,28
SO <sub>3</sub> (anidrido sulfúrico)	0,99
S <sup>2-</sup> (sulfeto)	0,35
Perda ao fogo	12,50
Equivalente alcalino (em Na <sub>2</sub> O) (*)	0,23

(\*) = % Na<sub>2</sub>O + 0,658 (% K<sub>2</sub>O)

#### 4.2 Análise térmica diferencial (ATD)

Observou-se através das curvas um intenso pico endotérmico por volta de 110°C, característico da perda da água de adsorção na montmorilonita sódica.

Foi verificado um pico endotérmico de perda de umidade em 150°C, seguido de um pico exotérmico com máximo em 300°C próprio da matéria orgânica.

Ocorre um grande pico exotérmico entre 250 e 300-C, próprio da combustão ou oxidação da matéria orgânica, com perda de peso constatável na termogravimetria.

Em 480°C tem-se um novo pico exotérmico, que pode ser devido a sulfeto ou carbono.

Em 550°C tem-se um pico endotérmico que pode ser da perda de hidroxilas da esmectita.

Nas curvas ATD obtidas encontram-se picos endotérmicos nas temperaturas de 500 e 750°C, ampliando a possibilidade de se referir a uma montmorilonita trioctaédrica.

Descartou-se a possibilidade de ser da caulinita, já que no difratograma de Raios-X não aparece o pico de máxima intensidade desta. O pico exotérmico por volta de 750°C, de forma arredondada, pode ser referente ao carbono elementar (grafita).

Na região entre 870 e 930°C há um pico endo-

exotérmico pouco intenso, verificado neste material analisado, cujos máximos estão a 880 e 920°C, sendo o primeiro devido à destruição do reticulado cristalino e o segundo devido à formação de quartzo alfa ou beta, ou de mulita, variando em função da natureza do argilo-mineral montmorilonítico.

Em cerca de 990°C ocorre um pico exotérmico de reconstrução da estrutura cristalina. Verificar resultados na Figura 1.

#### 4.3 Termogravimetria (TG)

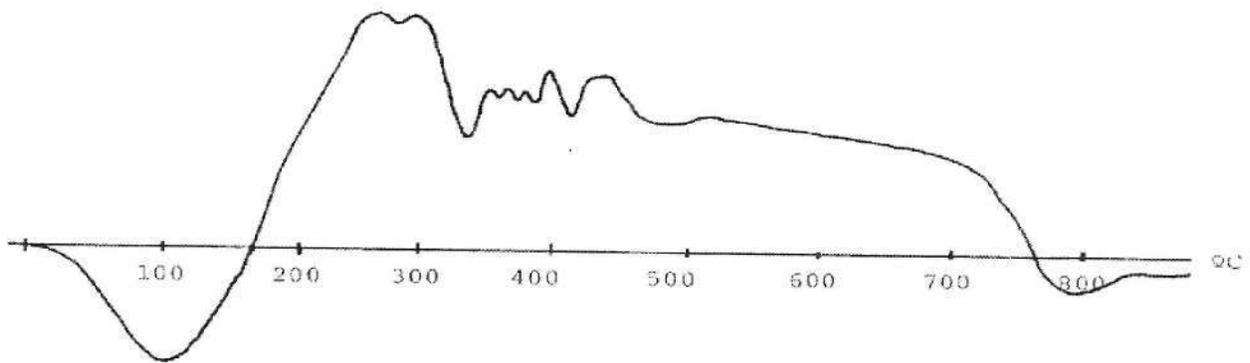
A análise termogravimétrica do lodo de esgoto revelou que a maior porcentagem de perda se deu à temperatura de 270°C e a perda total foi verificada à temperatura de 700°C.

#### 4.4 Análise da reatividade pozolânica

Foi adotado para avaliar a reatividade pozolânica o Ensaio Chapelle Modificado, sendo os resultados apresentados na Tabela 3.

#### 4.5 Difração de raios-X

Os difratogramas realizados com amostras de



**Figura 1** – Resultado da análise térmica diferencial (ATD) do lodo de esgoto.

**Tabela 3** – Resultados do Ensaio Chappelle Modificado com o lodo bruto calcinado.

TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO (°C)	TEMPO DE RESIDÊNCIA (minutos)	NÚMERO DA AMOSTRA	CHAPELLE MODIFICADO (mgCaO / g de cinza)
600	60	01	657,32
	120	02	685,32
700	60	03	732,92
	120	04	655,92
800	60	05	710,52
	120	06	685,32

lodo bruto retiradas dos leitos de secagem em diferentes períodos revelaram a repetição dos picos presentes, mostrando a constância da composição mineralógica.

Os picos mais evidentes são os do quartzo, cujo comportamento surpreendeu, já que se acreditava que a reatividade da cinza de lodo pudesse vir de uma forma de sílica amorfa ou vítrea originada durante o aquecimento através de uma desorganização de sua estrutura.

Porém, segundo os vários difratogramas do material, o qual foi calcinado a diversas temperaturas, por diferentes fornos e com tempos de residência variados, o quartzo permaneceu inalterado em sua forma cristalina.

Os picos verificados no difratograma nas distâncias basais  $d = 7$ ,  $d = 10$  e  $d = 12$  Angstroms, correspondem às argilas. Estes picos desapareceram após o tratamento de destruição

de matéria orgânica e carbonato, provavelmente devido ao baixo pH característico do tratamento para eliminação dos carbonatos.

O fato de desaparecerem os picos de argila após a destruição da matéria orgânica pela  $H_2O_2$  confirma se tratar de um complexo organo-mineral, certamente uma montmorilonita, o que justifica a reatividade pozolânica não ser proveniente do quartzo após a calcinação.

Não foi observada a ocorrência de caulinita, uma vez que não se verificou seu pico de máxima intensidade na distância basal  $d = 1,48$ .

#### 4.6 Calor de hidratação do cimento

Os ensaios com o cimento Portland com e sem adições de 15, 25 e 35% de lodo calcinado, à temperatura de 21°C, apresentaram os resultados da Tabela 4.

**Tabela 4 – Calor de hidratação liberado pelo cimento comum e pelas misturas com lodo calcinado.**

IDADE (horas)	CALOR LIBERADO (J/g)			
	CPI	CPI+15%	CPI+25%	CPI+35%
72	303	304	256	240
168	334	335	293	282

#### 4.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O lodo calcinado a 600°C durante 2 horas apresentou, com ampliação de 3.000 vezes, duas zonas de composições diferentes, sendo que uma zona apresenta placas hexagonais, havendo Ca e K presentes, havendo uma segunda zona que apresenta grãos de forma arredondada.

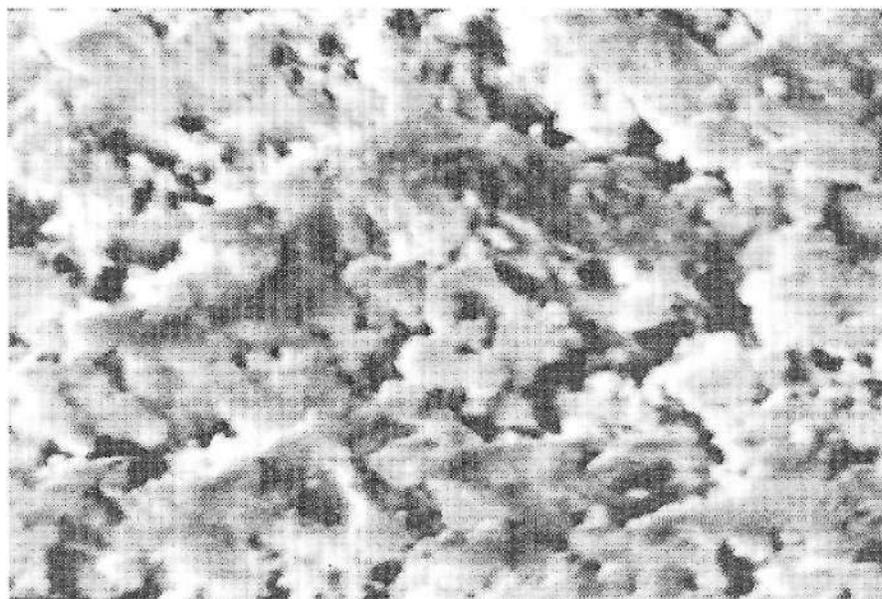
Com ampliações de 3.000 e 7.000 vezes respectivamente, feitas também com o lodo bruto calcinado durante 2 horas a 600°C, constatou-se a presença de grandes placas hexagonais, percebendo-se ocorrência de K, sendo que o potássio aparece na mica moscovita, ocorrendo ainda planos de clivagem na tela, podendo ser referente à estrutura da montmorilonita.

Com ampliação da mesma lâmina em 7.000 vezes, percebeu-se uma estrutura com bastante porosidade, havendo presença de placas de caulinita, muito embora o difratograma de Raios-

X não tenha apresentado os picos da mesma com a devida evidência, levando mesmo a se concluir que se trata de um complexo organo-mineral (matéria orgânica-argila), o que ficou esclarecido através do ensaio de absorção de azul de metileno revelando a montmorilonita.

Com ampliação de 3.000 vezes, o lodo bruto calcinado a 700°C durante 2 horas, apresentou uma porosidade menor em relação à amostra anterior, sendo os grãos presentes menos individualizados, mostrando que há uma reação se passando, com tendência a um início de aglomeração, o que pode ser tomado como um sinal de alerta no sentido de não se elevar a temperatura de calcinação muito acima dos 700°C.

Com ampliação de 3.000 vezes, feita com lodo bruto calcinado a 800°C durante 2 horas, percebeu-se ainda a presença das placas hexagonais, sendo que os grãos esféricos apresentam uma característica crescente de aglomeração.



**Figura 2 – Micrografia (MEV) do lodo de esgoto calcinado a 700°C.**

## 5 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

O lodo de esgoto na forma calcinada apresentou características satisfatórias do ponto de vista de suas características físicas, como finura, superfície específica, apresentando um alto teor de fração argilosa em relação ao material inferior a 40 micrômetros, sendo esta presença de argilo-minerais a causa da reatividade pozolânica, uma vez que não se encontra presença de sílica vítrea na mistura, permanecendo o quartzo em seu estado cristalino antes e depois da calcinação.

A temperatura adequada para realizá-la é a de 700°C, com um tempo de residência de 60 minutos, resultando no maior índice de reatividade pozolânica, e ao mesmo tempo, permitindo a completa eliminação de matéria orgânica, tendo já se estabilizado as perdas de massa que se verificam no decorrer do processo.

A reatividade da cinza se deve à presença de montmorilonita sódica, a qual, passando pelo tratamento térmico, não mais apresenta riscos de expansão.

Pelo ensaio de absorção de azul de metileno, pode-se apreciar o comportamento da fração argilosa, já que a absorção se deve, no caso, ou à matéria orgânica, ou à montmorilonita, ou ainda à caulinita.

Os picos indicam a presença de montmorilonita sódica, porém, a montmorilonita e a pirofilita têm a composição similar, somente que a primeira tem n moléculas de água, daí o inchamento, sendo que PERA et al. (06) afirmam que, ao contrário de

minerais argilosos como o talco, a montmorilonita, a crisotila, a caulinita e a vermiculita, que produzem fases desorganizadas cristalograficamente por desidratação, interferindo na reatividade do material, a pirofilita e a muscovita não têm este comportamento.

Percebendo tratar-se de um complexo organo-mineral, eliminou-se a matéria orgânica, e continuou-se a adicionar o azul de metileno, até que se verificou uma queda de absorção no material calcinado à 700°C, indicando ser montmorilonita.

Os valores dados pelo Ensaio Chapelle de reatividade pozolânica estão bem acima do limite de 300 mg CaO/g de pozolana para se considerar o material analisado como tal.

O material calcinado é compatível com o cimento Portland para ser utilizado na forma de adição até 35%, desenvolvendo propriedades aglomerantes na presença da cal livre liberada na hidratação do cimento.

Não há qualquer incompatibilidade química apresentada pelo material que possa requerer quaisquer medidas excepcionais de utilização, respeitadas as condições definidas pela metodologia aqui apresentada.

Recomendam-se estudos sobre a durabilidade dos componentes produzidos com esta cinza, considerando-se fatores como a lixivação, a carbonatação e o pH do meio, de forma a se avaliar a durabilidade destes componentes para posterior uso na Construção Civil.

MORALES, G. Utilization of the sewage sludge as raw material for the production of pozzolana. *Semina: Ci. Exatas/Tecnol.* Londrina, v. 18/20, n. 4, p. 39-45, dez. 1997/1999.

**ABSTRACT:** *The utilization of the sewage sludge is restricted and, in several cities, it is simply incorporated into the soil as sanitary embankment or as organic fertilizer for agriculture. On the other hand, due to its chemical composition, it is advisable to study the possibility of being used in the production of pozzolanic material through calcination. The pozzolanic reactivity is determined by the lime consumption measured in mg by gram of pozzolanic material. The performance of the material confirmed its excellency.*

**KEY WORDS:** *sewage sludge; pozzolana; pozzolanic cement.*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KRONLÖF, A. Effect of Very Fine Aggregate on Concrete Strength. *Materials and Structures*, v.27, n.165, p. 15-25, 1994.

LEA, F. M. The Chemistry of pozzolans. In: SYMPOSIUM ON THE CHEMISTRY OF CEMENT. *Proceedings*. Stockholm, 1938.

MASSAZZA, F. Chemistry of Pozzolan additions and Mixed Cements. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT - 6th. Moscow, 1974. v. 3.

MORTUREUX, B. et al. Comparaison de la Réactivité de

Différentes Pouzzolanes. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 7th. Paris, 1980. v. 3.

PERA, J. et al. Ciments à base de Latérites Thermiquement Activées. Rôle des Oxydes de Fer dans le Développement des Résistances Mécaniques. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 8th. Rio de Janeiro, 1986. v. 4.

SANTOS, P. S. Argilas para Pozolanas. In: SIMPÓSIO ARGILAS. Blumenau, 1966. IPT, Publ. 956.