

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Estudo da corrosividade de pastas de cimento com adição de lodo produzido em ETES da indústria têxtil

Ladimir Jose de Carvalho¹, Valéria Castro de Almeida²

Abstract

The sludge quantity generated by treatment plants is a relevant economic factor in the treatment of liquid effluents. The sludge disposal is an important problem and might represent up to 60% of the operational costs of an effluent treatment plant. This work aims to study the corrosivity of cement pastes in which textile industry wastewater sludge was incorporated. Cement pastes with three different concentrations of sludge (10%, 20% and 30% of sludge/cement ratio) were appropriately milled after a 28 days curing, when aqueous extracts were prepared. These extracts were then used in polarization tests to verify the corrosivity of cement pastes once in contact with the metallic armour used. In addition to these tests, chemical analyses, X-ray diffraction and Fluorescence for sludge characterization have been carried out. The results suggest the possibility of using cement pastes to develop constructive materials leading to a cost-effective textile sludge reuse, instead of discarding it in landfills.

Keywords: cement pastes, corrosion, waste textile.

Resumo

A quantidade de lodo gerado em estações de tratamento é um fator econômico importante no contexto de tratamento de rejeitos líquidos. A disposição do lodo é problemática e pode representar até 60% dos custos operacionais de uma unidade de tratamento de efluentes. O presente trabalho tem por objetivo o estudo da corrosividade de pastas de cimento produzidas a partir da incorporação de lodo, em resíduo gerado em ETES de indústria têxtil. Foram produzidos extratos aquosos a partir da moagem das pastas quando com 10%, 20% e 30% de lodo em relação ao cimento, após cura de 28 dias. Tais extratos foram utilizados em ensaios de polarização com a finalidade de verificar a corrosividade das pastas quando em contato com as armaduras usadas. Além desses ensaios, foram realizadas análises químicas, difração de Raios X e Fluorescência de Raios X para a caracterização do lodo. Os resultados obtidos apontam a possibilidade de uso das pastas de cimento estudadas no desenvolvimento de materiais construtivos promovendo o reaproveitamento econômico do lodo têxtil até então descartado nos aterros.

Palavras-chave: pasta de cimento, corrosão, resíduo têxtil, material construtivo.

¹ Dr – Professor Adjunto - Departamento de Processos Inorgânicos, Escola de Química – UFRJ

² Dr – Professor Associado - Departamento de Processos Inorgânicos, Escola de Química – UFRJ

Introdução

Os resíduos sólidos gerados de processos industriais são um dos grandes desafios do mundo moderno. Nas últimas décadas, o crescimento do consumo e conseqüentemente o aumento da produção industrial têm acarretado não apenas a diminuição das reservas naturais sejam essas minerais ou energéticas, mas também a geração de uma grande quantidade e variedade de resíduos e subprodutos.

A indústria têxtil brasileira constitui uma atividade tradicional, tendo sido peça fundamental na estratégia de desenvolvimento da política industrial brasileira e foi através dela que o Brasil iniciou seu processo de industrialização.

A maioria das empresas do setor têxtil é de pequeno e médio porte, embora 80-90 % do faturamento e a maior parcela da produção do setor seja devido às atividades das indústrias de grande porte. O investimento realizado nesses empreendimentos provém basicamente do capital nacional, sendo que a região sudeste concentra a maioria dessas indústrias, seguida das regiões sul e nordeste do país (LEÃO, 2002).

As indústrias têxteis produzem uma quantidade considerável de artigos tais como: artigos de confecção, cama, mesa e banho, cortinas, toalhas de mesa, tapetes, lonas automotivas, tecidos industriais, são apenas alguns exemplos produzidos pelas diversas indústrias do ramo. Cada um desses artigos é produzido de maneira própria, resultando em uma grande variedade de fluxos produtivos.

Estas diversidades apresentadas geram efluentes com elevada carga poluidora. O lodo gerado é um problema para a indústria, pois não se apresenta ainda uma disposição final adequada apesar dos constantes avanços técnicos na área.

Com isso, devido à dificuldade ou falta de gerenciamento adequado desses resíduos sólidos, principalmente os lodos de estações de tratamento de efluente têxtil, que vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de encontrar outra forma de disposição final, tentando paralelamente diminuir o impacto ambiental e agregar valor ao que antes era apenas descartado.

Uma vez que os principais componentes do cimento Portland: cálcio, sílica, alumínio e ferro são, também, encontrados nos lodos de ETE, estes podem ser empregados na produção de argamassas, artefatos e blocos de concreto para a construção civil, substituindo, em até certas proporções, as matérias-primas normalmente utilizadas. Considerando que o setor da construção civil é o maior consumidor individual de recursos naturais, demandando de 20 a 50% do total de insumos extraídos, a reciclagem de lodo em concretos pode ser uma alternativa para a diminuição de impactos ambientais.

A corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado é um dos principais fatores de redução de sua vida útil devido à interação do concreto com o meio ambiente. A vida útil pode ser reduzida quando a relação água/cimento, tipo de cimento, cura e cobrimento forem inadequados às condições ambientais impostas.

O concreto é um material intrinsecamente poroso, face à impossibilidade de preenchimento total dos vazios entre agregados e a pasta de cimento. Os vazios são decorrentes do uso de

água na massa em quantidade superior à necessária para a hidratação do aglomerante hidráulico e cujo excesso, ao evaporar, deixa cavidades, em virtude da diminuição dos volumes absolutos e também da inevitável incorporação de ar à massa do concreto.

Estes vazios ou poros formam uma rede conectada com o exterior que é relevante ao processo de transporte de gases, água e substâncias agressivas dissolvidas para o interior do concreto. A destruição do concreto bem como a corrosão das armaduras depende desta estrutura de poros, pois os mecanismos de degradação se fundamentam na mesma. A resistência do concreto a influências químicas e físicas é reduzida consideravelmente quando aumenta a quantidade de poros capilares.

O desenvolvimento de novos materiais, com base no aproveitamento de resíduos de qualquer natureza se insere no conceito sustentável por buscar projetar novos produtos reciclando parte do lixo produzido pela sociedade utilizando técnicas de produção simples, repensando todo o ciclo de vida do produto, não agredindo o meio ambiente e procurando o bem estar social.

Materiais utilizados / Resultados / Discussão

Na realização da parte experimental desta pesquisa foram utilizados os materiais abaixo relacionados:

- Resíduo sólido – lodo da Estação de Tratamento de Efluente de uma indústria têxtil
- Cimento Portland CII -32 F Cimento Portland Mauá.

Na caracterização do lodo têxtil foram utilizadas as técnicas de Fluorescência de Raios X, Difração de raios X e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Com a finalidade de verificar a possibilidade de usar o lodo na confecção de materiais construtivos foram confeccionados corpos de prova com as seguintes proporções:

Tabela 1 – Composição das misturas preparadas

Sigla	Mistura	Quantidade em volume (ml)		
		cimento	lodo	água
C	100% cimento	4000		1200
CL1	90% cimento + 10% de lodo	2700	300	850
CL2	80% cimento + 20% de lodo	2400	600	670
CL3	70% cimento + 30% de lodo	2100	900	550

As quantidades dos componentes foram determinadas por volume e a mistura foi homogeneizada manualmente. Inicialmente foram misturados o cimento e o lodo e posteriormente adicionada à água de amassamento.

A moldagem foi feita utilizando uma forma cilíndrica de 10 cm com de altura e 5 cm de diâmetro. As amostras foram moldadas em três camadas de misturas, com espessuras aproximadamente iguais com aplicação de 20 golpes por camada com um soquete metálico. A relação água/cimento em torno de 0,25 foi necessária para garantir a homogeneidade dos compostos durante a mistura. Após 24h os corpos de prova foram removidos das formas e deixados a temperatura ambiente a período de cura de 28 dias.

Após esse intervalo de tempo os corpos de prova foram triturados e moídos com água, por 24 horas, em um moinho de bolas. A solução obtida foi filtrada e utilizada na obtenção de curvas de polarização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição do lodo das estações de tratamento de efluentes têxteis esta intrinsecamente liga ao tipo de fibra, tipo de processo de beneficiamento utilizado pela indústria e o tipo de produtos utilizados na estação de tratamento de efluentes.

O lodo pesquisado apresentava uma coloração azul escura devido, principalmente aos corantes utilizados nos processos de tingimento.



Figura 1 - Lodo *in natura*

A Tabela 2 mostra o resultado da análise de Fluorescência de Raios X da massa bruta do lodo utilizado neste trabalho.

Tabela 2 – Composição química elementar do lodo

Componente	% (massa)	Componente	% (massa)
SiO ₂	10,26	K ₂ O	0,54
Al ₂ O ₃	59,69	MgO	0,5
P ₂ O ₅	13,84	Fe ₂ O ₃	0,46
SO ₃	10,38	TiO ₂	0,36
Na ₂ O	2,32		

O lodo é um material de baixa densidade, provavelmente em função da grande quantidade de água presente no resíduo. Apresentou um pH igual a 7,6 e percentuais de sólidos em torno de 11,7%.

A Tabela 3 mostra o resultado da análise de Fluorescência de Raios X do cimento utilizado.

Tabela 3 - Composição química elementar do cimento utilizado

Componente	% (massa)	Componente	% (massa)
CaO	67,54	MgO	2,12
SiO ₂	16,06	Fe ₂ O ₃	4,16
Al ₂ O ₃	4,30	Na ₂ O	0,544
SO ₃	5,26		

O resultado obtido está de acordo com o esperado para o tipo de cimento utilizado¹.

Difração de Raios X

A Figura 2 mostra o difratograma do lodo.

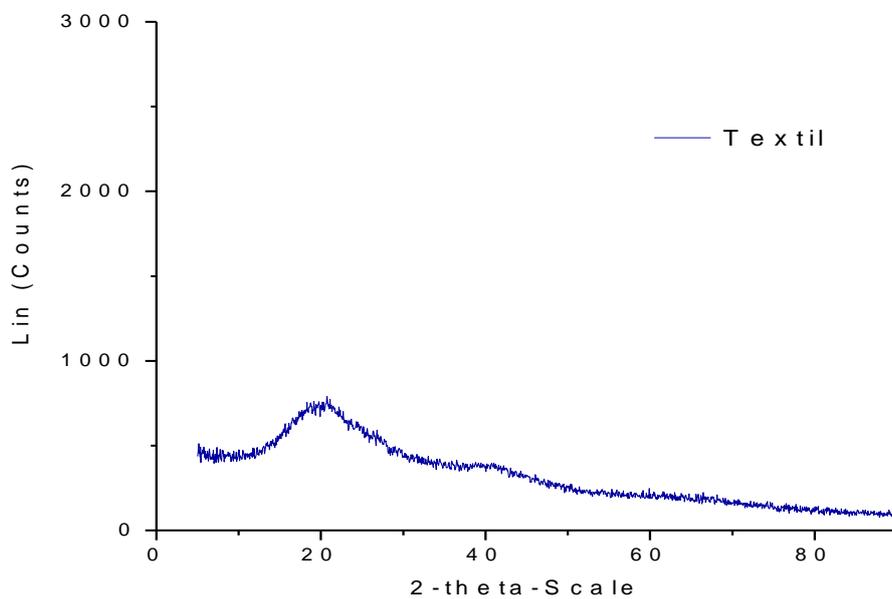


Figura 2 - Difratograma do lodo

O difratograma mostra que o material é amorfo e o deslocamento da linha de base deve-se ao ferro presente no lodo na forma de óxido.

Foram realizadas análises por difração de raios X para as pastas preparadas com o resíduo têxtil.

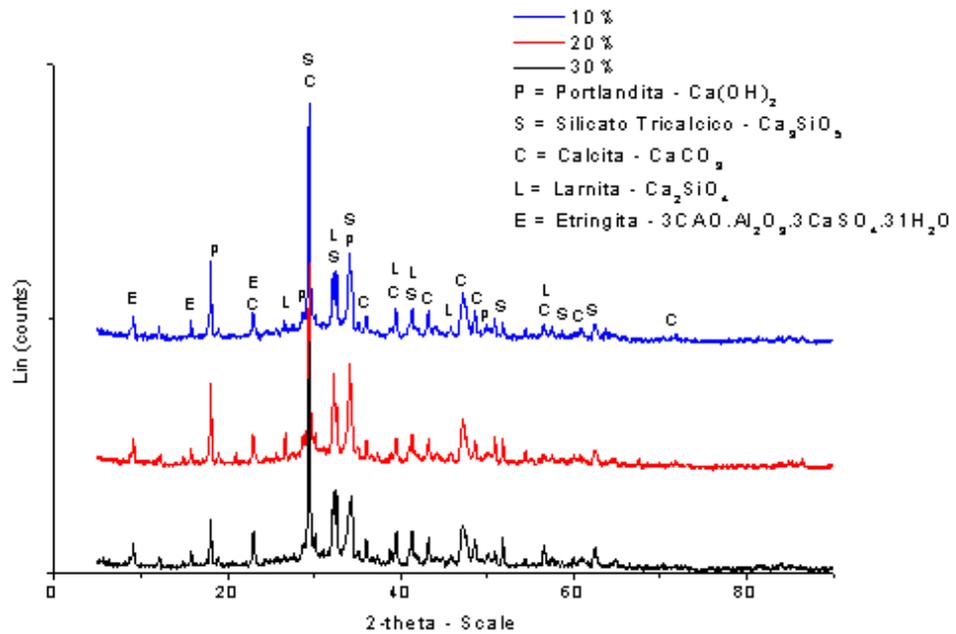


Figura 3- Difratoograma das pastas preparadas após 28 dias de cura.

Nos difratogramas é possível visualizar algumas das fases do cimento, visto que o lodo têxtil não apresentou nenhum pico (Figura 2)

Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As Figuras 3, 4, 5,6 e 7 mostram a morfologia do lodo e das pastas de cimento.

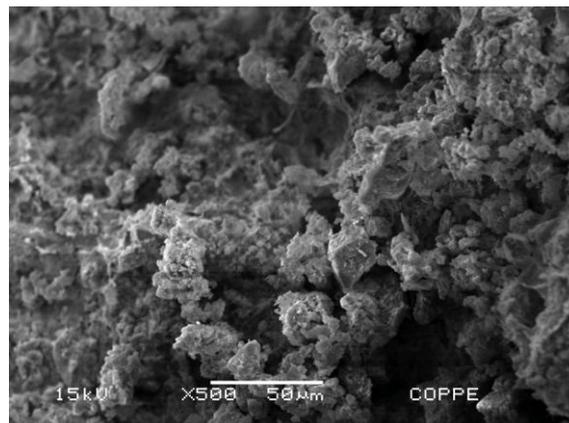


Figura 3 – Fotomicrografia do lodo

Observa-se na fotomicrografia do lodo *in natura*, uma superfície bastante heterogênea de aspecto pouco denso. Essa superfície irá influenciar nas propriedades da pasta do cimento, pois este tipo de superfície facilita a formação de um filme de água junto às paredes do lodo enfraquecendo sua ligação com a pasta.

A figura 4 mostra a análise por EDS do lodo.

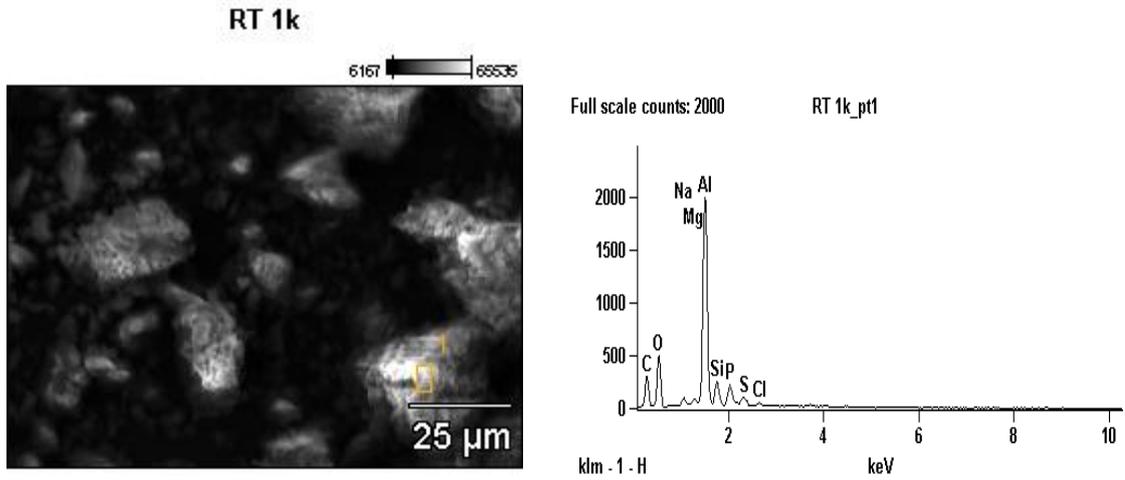


Figura 4- Fotomicrografia do lodo e análise por EDS

A análise por EDS foi realizada na área assinalada na foto. Foram identificadas as presenças de: carbono, sódio, alumínio magnésio, sílica e cloreto.

A Figura 5 mostra a fotomicrografia da pasta de cimento + 30% de lodo feita no tempo de cura de 28 dias.

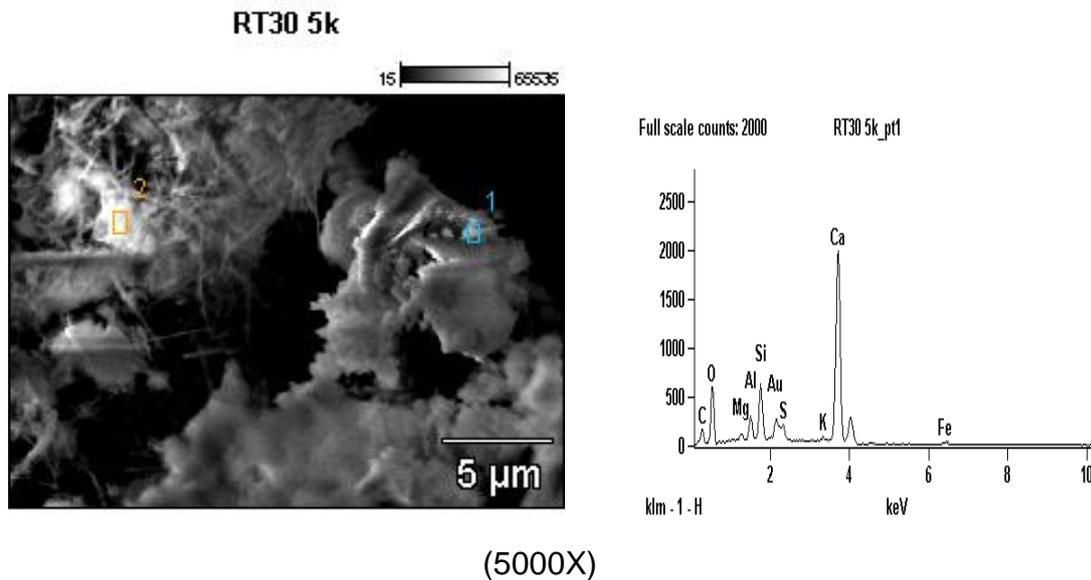


Figura 5 Fotomicrografia da pasta cimento + 30% de lodo e análise por EDS

As análises das duas áreas assinaladas na fotomicrografia indicaram a presença de: carbono, oxigênio, magnésio, alumínio, sílica, potássio, cálcio, ferro.

A figura 6 mostra em mais detalhes a pasta cimento + 30% de lodo.

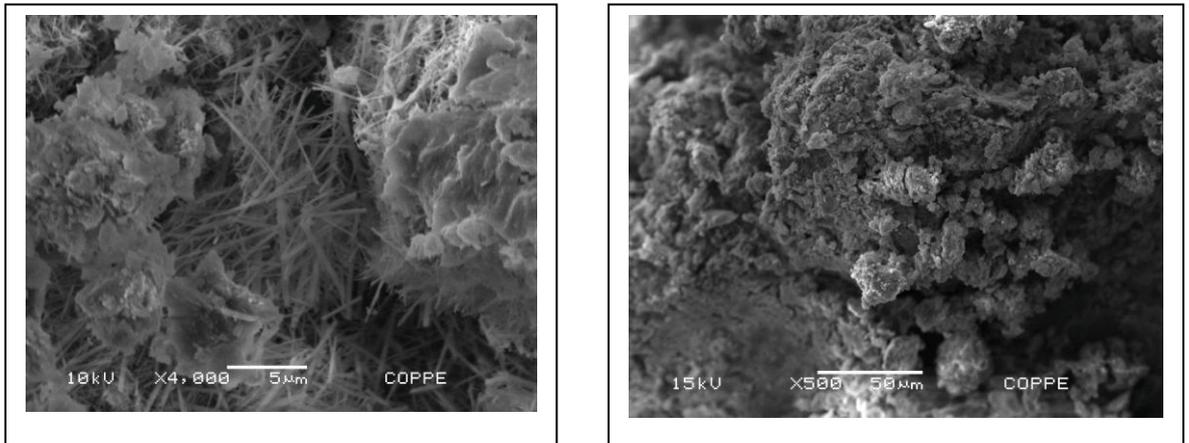


Figura 6- Fotomicrografia da mistura cimento + 30% de lodo

Analisando as fotomicrografias observa-se a presença de agulhas de etringita. As fotomicrografias da pasta cimento + 30% de lodo mostram uma superfície pouco densa não muito agregada com áreas vazias em razão da forma do lodo que como anteriormente previsto causaria um enfraquecimento de sua ligação com a pasta (Figura 3). A superfície se apresenta como a zona de transição da pasta do cimento com o lodo devido as áreas vazias e heterogeneidade exibidas. Estes vazios ou poros formam uma rede conectada com o exterior que é relevante ao processo de transporte de gases, água e substâncias agressivas dissolvidas para o interior da pasta, diferentemente da pasta de cimento Portland que apresenta uma macro estrutura endurecida, porosa e heterogênea como pode ser visualizada na Figura 7.

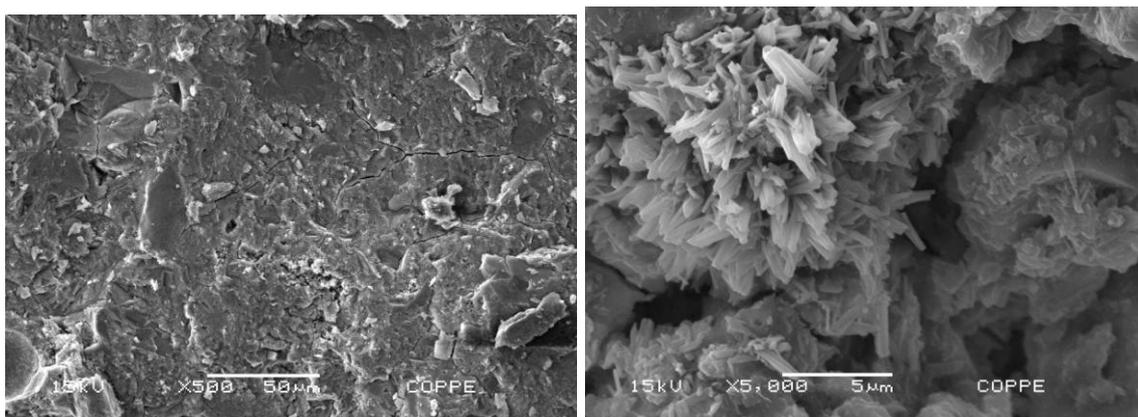


Figura 7- Fotomicrografia da pasta de cimento

Em conseqüência das reações produzidas durante o processo de hidratação e da quantidade de água utilizada, a pasta de cimento torna-se um material formado basicamente por 3 fases (sólida, poros e água), compostas por partículas de cimento anidro mergulhadas em uma matriz contínua de gel de cimento (gel de cimento é o nome dado aos produtos de hidratação do cimento, como os silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), o hidróxido de cálcio

(C-H), o sulfoaluminato de cálcio hidratado e outras pequenas fases sólidas), a qual é atravessada por uma múltipla rede de poros que podem ou não estar cheios de água. (METHA,1994)

As reações que fazem com que o cimento se torne um agente ligante ocorrem na pasta de água e cimento. Na presença de água, os silicatos e os aluminatos da composição do cimento formam produtos de hidratação que, com o transcorrer do tempo, dão origem a uma massa firme e resistente: a pasta endurecida . (NEVILLE,1997)

A pasta de cimento hidratada contém vários tipos de vazios que têm importante influência em suas propriedades. O volume total dos vazios capilares é conhecido como porosidade . Dependendo do fator água/cimento (a/c) da pasta, diferentes porcentagens em volume de poros são obtidas.

Através dos poros deformados substâncias químicas são transportadas ao interior da pasta. Neste caso, dois parâmetros são considerados importantes: os poros comunicantes, os quais têm possibilidade de transportar líquidos e substâncias nocivas (porosidade relevante) e a distribuição do tamanho dos mesmos, cuja influência diz respeito ao tipo de taxa dos mecanismos de transporte e de ligação em relação à água.

Curvas de Polarização

Foram obtidas curvas de polarização anódica e catódica (Figura 8) nas condições estudadas, visando avaliar o comportamento corrosivo do extrato aquoso das pastas de cimento e do extrato aquoso do lodo. As curvas foram obtidas, em células a três eletrodos, através de um potenciostato Autolab modelo PGSTAT 100, utilizando-se platina como contra-eletrodo, eletrodo de referência de calomelano saturado (ECS) e aço ao carbono como eletrodo e trabalho.

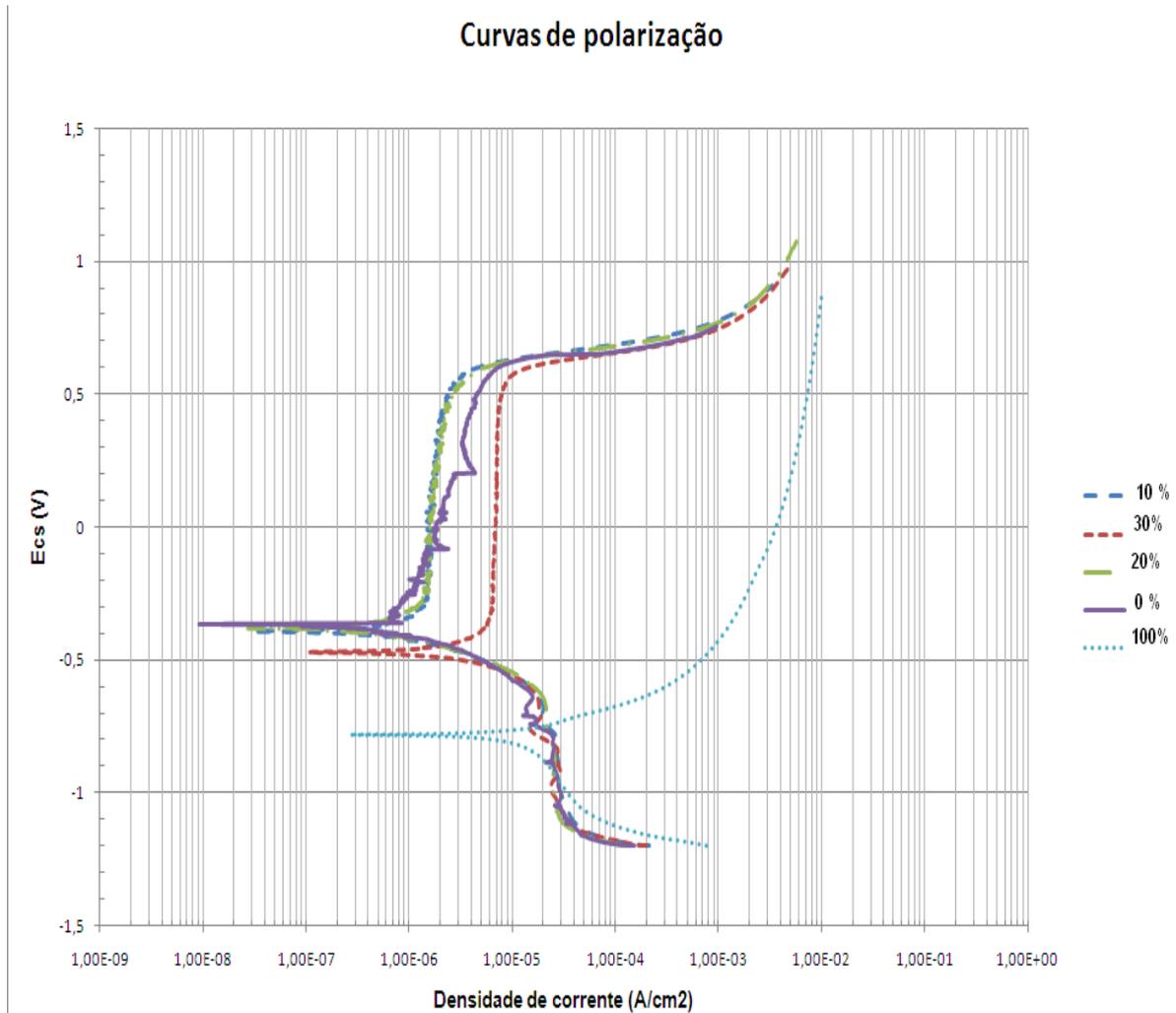
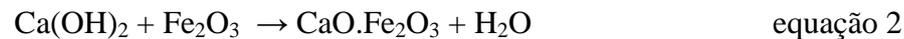


Figura 8- Curvas de polarização dos extratos aquosos de: pasta de cimento sem lodo (0%), pasta de cimento com 10% de lodo, pasta de cimento com 20% de lodo, pasta de cimento com 30% de lodo e lodo puro (100%).

Na Figura 8, observa-se que o extrato aquoso de lodo puro (100%) é mais corrosivo e não há passivação do aço. Pode-se considerar que o motivo é o pH bem abaixo de 13,5, onde o aço normalmente passiva. Contudo, quando a pasta de cimento tem 30% de lodo, observa-se que a corrente de corrosão é pelo menos uma década menor que a do lodo puro (100%) e uma década maior que a do cimento puro (0%). Tal comportamento pode ser associado a presença de óxido de ferro na composição do lodo, além do valor acima da média do mesmo óxido no cimento. De acordo com Gentil, o percentual de Fe_2O_3 varia de 2 a 3,5 % nos cimentos Portland usuais no Brasil. O mesmo autor ainda admite que a alcalinidade do cimento, decorrente da formação de $Ca(OH)_2$, pode ser reduzida pela formação de $CaO.Fe_2O_3$ de acordo com as equações químicas 1 e 2. (GENTIL, 2007)



No entanto, observamos a passivação do aço em uma densidade de corrente, aproximadamente, de 10^{-5} A/cm².

Finalmente, observa-se que os extratos com 10 e 20% têm um comportamento semelhante, já que as suas curvas são coincidentes. Nota-se que a corrente de passivação é menor que a da pasta com 30% de lodo além de apresentar uma região de passivação mais estável que a curva de extrato de cimento puro que tem uma ligeira inclinação mostrando a possibilidade de destruição da camada passiva do aço.

Os resultados, do presente estudo, apontam para a possibilidade de uso do lodo de ETE nas pastas de cimento promovendo o reaproveitamento econômico do lodo têxtil até então descartado nos aterros.

Conclusões

Com base nos resultados e nas discussões podemos concluir que:

- Os extratos aquosos das pastas de cimento com 10,20 e 30% de lodo foram um meio eficaz para estudar o efeito da adição de lodo na pasta de cimento.
- A introdução de lodo de ETE na pasta de cimento nos percentuais de 10,20 e 30 %, nas condições estudadas, favoreceu a passivação do aço na pasta de cimento.
- As pastas de cimento com 10 e 20% de lodo de ETE mostraram uma corrente de passivação do aço muito próxima da corrente de passivação obtida na pasta de cimento puro além de apresentar uma região de passivação mais estável.
- O presente estudo mostra a viabilidade de uso do lodo de ETE, de indústria têxtil, incorporado às pastas de cimento.

Referências bibliográficas

- LEÃO, M. M. D. *ET AL.* Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas. Belo Horizonte. Segrad Editora e Gráfica, 2002. 356 p.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais. 2ª edição. São Paulo: Pini, 1994.
- NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto; tradução Salvador E. Giammusso. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.
- GENTIL, V., Corrosão, LTC Editora, 2007.

* * *