

Lixiviação de contaminantes de compostos de lodo-cimento

Carmen Lúcia da Rocha Pietrobon*, Cid Marcos Gonçalves Andrade, Jansen Colanzi, Iuri Bezerra de Barros, Rosângela Bergamasco e Cláudio Emanuel Pietrobon

*Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5.790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. tel.: (55 44) 3261-4762, fax: (55 44) 3263-3440, e-mail: carmen@deq.uem.br*

RESUMO. As lavanderias industriais geram efluentes, que após tratamento por decantação produzem lodo. O lodo tem composição química variada sendo classificado como perigoso, não podendo ser depositado num aterro sanitário. Neste trabalho apresenta-se a caracterização físico-química do lodo têxtil de uma lavanderia industrial, para o estudo de sua disposição final. Nesta caracterização analisaram-se: DQO, sólidos totais, fixos e voláteis no lodo, densidade, pH, e a presença de metais, sendo detectado a presença dos metais Fe, Mg, Al, Si, Ca, Cr, Co, Cu, Mn e Zn. Corpos de prova de lodo/cimento, nas dosagens de 10%, 20% e 30% de lodo em relação ao cimento, foram submetidos à análise de resistência a compressão, tempo de pega e testes de lixiviação por batelada. Os resultados demonstraram que na pasta de lodo/cimento, os valores de resistência mecânica aos 28 dias, atingem valores maiores que 10 MPa. A adição de lodo ao cimento influenciou o tempo de pega retardando o início, mas mantendo o tempo decorrido entre o início e o final da pega. Também, a lixiviação ocorrida nas amostras de pasta sem a incorporação de lodo é da mesma ordem de grandeza que nas amostras que contém lodo. Isto nos permite concluir que a pasta permite uma segura incorporação dos metais contidos no lodo têxtil.

Palavras-chave: metais pesados, testes de lixiviação, solidificação/estabilização, lodo têxtil.

ABSTRACT. Leaching of contaminants in sludge-cement mixture. The laundry sludge has varied chemical composition, and it is considered inadequate for disposing of in sanitary landfill. So, this work presents the physical-chemical characterization of this textile sludge for the study of cement-based solidification /stabilization (S/S) with the addition of Portland cement - CPH F32 or CP II Z. COD total, fixed and volatile solids, density, pH, and the presence of metals were analyzed. Cylindrical samples of paste with 10%, 20% and 30% addition of sludge were submitted to compressive strength tests according to NBR-7215 ABNT norm, and leaching tests according to NBR 10005 ABNT norm. The results demonstrated that in the cement/sludge paste, the values of mechanical resistance of 28 days can be superior to 10 MPa. The beginning of curing period was retarded when the proportion of sludge addition to the cement increases, but maintaining its same order of greatness. Also, the leaching found in the samples of paste without incorporating sludge is about the same order of greatness of that found in samples containing sludge. This allows concluding that the paste permits a safe incorporation of the metals detected in the textile sludge. The presence of metals Fe, Mg, Al, Si, Ca, Cr, Co, Cu, Mn and Zn was detected in the sludge.

Key words: heavy metals, leaching tests, solidification/stabilization, textile sludge.

Introdução

A reciclagem e reutilização de resíduos provenientes de diversos processos industriais, como novos materiais para a construção civil, têm sido cada vez mais desenvolvida em diferentes linhas de pesquisas de diversas instituições: reaproveitamento de cinzas (carvão, casca de arroz), de areia de fundição, de lodo de estações de tratamento de esgoto, de rejeito da produção do ácido fosfórico, de entulhos da construção civil, de rejeitos de minas de carvão, entre outros, com uma abordagem voltada ao desempenho estrutural do novo produto.

Recentemente, o enfoque conceitual de sustentabilidade acerca do uso, do reaproveitamento e

da reciclagem de resíduos industriais, tem sido a sua valorização. Tal abordagem motivou vários estudos como consequência de razões energéticas, ecológicas, ambientais, tecnológicas, econômicas e mercadológicas, através do procedimento metodológico de Análise do Ciclo de Vida (ACV), que ultrapassa a análise de desempenho de novos materiais, de cunho essencialmente tecnológico.

Entretanto, no panorama atual, a maioria destes resíduos ainda é armazenada em áreas das próprias empresas ou em lixões municipais, ambos a céu aberto, exposta aos impactos meteorológicos, causando o risco de contaminação dos solos, de rios e de lençóis freáticos.

A falta de tratamento adequado aos Resíduos Sólidos Industriais tornou-se um problema urbano crítico, pois de acordo com Prim (1998), os RSI distinguem-se dos demais tipos de resíduos sólidos (urbanos ou daqueles resultantes de varrição, de coleta domiciliar ou de atividades comerciais até determinado volume ou em certas condições), por apresentarem características especiais de acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final.

O gerenciamento dos resíduos sólidos industriais é hoje um dos principais problemas enfrentados pelas empresas na área do ambiente.

Segundo um levantamento realizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb, 2000), somente no Estado de São Paulo são geradas anualmente 535 mil toneladas de resíduos perigosos e 25 milhões de toneladas de resíduos menos problemáticos em termos de potencial de poluição, mas que em grandes quantidades podem vir a ser um problema ambiental.

Pietrobon *et al.* (2002) apresentam o levantamento cadastral e o diagnóstico de resíduos sólidos industriais da região de Maringá, Estado do Paraná, tendo como objetivo identificar os tipos de RSI da cidade bem como o direcionamento e a disposição final dos mesmos a fim de otimizar o gerenciamento e abrir campo para novos projetos visando a atender as necessidades do setor.

A cidade de Maringá no Estado do Paraná é um grande pólo da indústria têxtil e do vestuário (a partir da década de 90) com muitas confecções de jeans e, conseqüentemente, muitas lavanderias industriais que lavam e tingem este produto têxtil.

Através de auditoria ambiental em uma lavanderia industrial de Maringá, Pietrobon *et al.* (2002) alertam para uma produção em média de 500 Kg/dia de lodo, um Resíduo Sólido Industrial (RSI) poluente, cuja disposição final não pode ocorrer livremente no meio ambiente, segundo a NBR 10007 – ABNT (1987).

Os lodos gerados em lavanderias industriais, identificados neste estudo, são um exemplo de resíduos sólidos industriais contendo metais que em grandes quantidades tornam-se um problema ambiental.

Estes tipos de RSI eram depositados em aterros sanitários e atualmente tal destinação final esta proibida pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP)-2000, que determina apenas os aterros industriais como receptores destes resíduos.

Tendo em vista que só há um aterro industrial em Curitiba, Estado do Paraná, distante cerca de 450 Km do local de geração deste RSI, viabilizam-se estudos de tratamento destes resíduos, por processos que alterem suas características, composição ou

propriedades de maneira a tornar aceitável sua disposição final, em outros locais.

Dentre estes processos, as tecnologias de estabilização por solidificação com cimento portland têm sido utilizadas há décadas como etapas finais de tratamento, antes da disposição final dos resíduos.

Os objetivos destas tecnologias, segundo a literatura, são melhorar as características físicas e de manuseio dos resíduos, diminuir a área superficial através da qual possa ocorrer a transferência ou perda de poluentes.

A caracterização de resíduos visando à sua estocagem ou reutilização como materiais é baseada essencialmente no comportamento da lixiviação Slood (1997). De acordo com este estudo, um material não é mais considerado resíduo quando pode ser incorporado sem provocar degradação ambiental.

Foi da necessidade de encontrar uma alternativa tecnologicamente viável para a disposição final do lodo, um Resíduo Sólido Industrial (RSI) proveniente do processo industrial de lavagem e tingimento de produtos têxteis, que se originou a proposta de estabilizá-lo por solidificação, através da incorporação ao cimento *portland*.

Assim, neste trabalho, estudou-se o processo de incorporação do lodo têxtil ao cimento *portland*, em relação à caracterização quanto a solidificação da incorporação, por meio da avaliação experimental das propriedades físicas da matriz sólida de lodo-cimento e a caracterização quanto à estabilidade da incorporação, por meio da avaliação comparativa de procedimentos experimentais de lixiviação na matriz sólida de lodo-cimento.

Material e métodos

As atividades executadas neste trabalho de incorporação do lodo em cimento foram: coleta do lodo de lavanderia industrial; caracterização físico-química do lodo; incorporação do lodo ao cimento, realizada em duas fases: a primeira utilizando cimento CP II F 32 e a segunda utilizando cimento CP II Z; lixiviação dos corpos de prova de cimento e lodo, segundo uma adaptação da norma NBR 10005-ABNT.

Caracterização físico-química do lodo bruto. A coleta foi realizada utilizando-se da norma NBR 10007/87-ABNT (amostragem de resíduos) em uma lavanderia industrial da região de Maringá, Estado do Paraná. Coletou-se cerca de 45 litros de lodo na lagoa de decantação, com o auxílio de uma bomba. Na caracterização físico-química do lodo bruto, foram realizados os seguintes testes: Demanda Química de Oxigênio (DQO), sólidos totais, fixos e voláteis e teor de sulfetos, de acordo com o procedimento adotado pelo Standard Methods (Apha, 1980).

Determinou-se a densidade do lodo pelo método do picnômetro tal como sugerido por Prim (1998) e o pH do lodo bruto através de um pHmetro digital Digimed.

Determinou-se a umidade do lodo, por aquecimento em estufa, a 103°C por aproximadamente 12 horas.

Para a caracterização quanto a presença de metais, o lodo foi seco, descomplexado dos metais, diluído e filtrado.

Para a análise de metais no lodo testou-se três tipos de abertura de amostra. A primeira é descrita por Griepink *et al.* (1984), na qual utiliza-se água régia (mistura dos ácidos nítrico e clorídrico na proporção 1:3). A segunda é descrita pela Cetesb (2000) e utiliza os ácidos nítrico e clorídrico e o peróxido de hidrogênio. A terceira é descrita por Apha (1980) e utiliza os ácidos nítrico e perclórico na proporção 2:1. Feita a digestão, procedeu-se a leitura no Espectrômetro de Absorção Atômica Varian SPECTR AA 10 PLUS, no qual se testou a presença dos seguintes metais: alumínio, cálcio, cobalto, cobre, cromo, ferro, magnésio, manganês, silício, sódio e zinco. Foi realizado um monitoramento do lodo em relação ao pH, e este foi armazenado em recipiente fechado em temperatura ambiente durante um período de 6 meses.

Preparação dos corpos de prova (CPs) de lodo e cimento (L/C). Para se verificar a qualidade do cimento a ser utilizado na moldagem dos corpos de prova de L/C, foi realizado o teste do módulo de finura, segundo a norma NBR 11579-ABNT (1991). Este é um método utilizado para determinar se o cimento está na forma adequada de se trabalhar ou se está hidratado. O teste consiste em tomar 50,0 g de cimento os quais são colocados em uma peneira de 0,75µm (nº 200). O material deve ser agitado por 15 minutos para separação. Após este tempo, pesa-se o material retido na peneira. O módulo de finura é determinado por meio da equação 1.

$$F = \frac{M_{\text{retida}}}{M_{\text{a lim entada}}} \cdot 100 \quad (1)$$

Este valor deve ser menor que 15% para o cimento ser considerado adequado para uso.

Os corpos de prova de L/C foram moldados segundo a NBR 7215 – Cimento Portland em duas fases.

Na 1ª fase da moldagem dos CPs de L/C, o cimento utilizado foi CII F32, enquanto que na 2ª fase foi o cimento CP II Z. As dosagens moldadas na 1ª fase foram: 0% (pasta de água/cimento) e 10%, 15% e 20% de lodo em relação ao cimento; na 2ª fase: 0%, 10%, 20% e 30% de lodo em relação ao cimento. Definiu-se que os índices de consistência das pastas devem ter valores muito próximos uns dos

outros (222 mm a 277 mm). A umidade do lodo (94,52%) foi levada em conta nos cálculos e o fator água cimento (A/C) utilizado foi de 0,30.

Na 1ª fase foram moldados 13 corpos, distribuídos em: 1 para a idade de 3 dias (corpo nº 1), 3 para a idade de 7 dias (corpos nº 2, 3 e 4), 3 para a idade de 14 dias (corpos nº 5, 6 e 7), 3 para a idade de 28 dias (corpos nº 8, 9 e 10) e 3 para a idade de 90 dias (corpos nº 11, 12 e 13).

Na 2ª fase foram moldados 6 corpos, distribuídos em: 2 para a idade de 7 dias (corpos nº 1 e 2), 2 para a idade de 14 dias (corpos nº 3 e 4) e 2 para a idade de 28 dias (corpos nº 5 e 6).

Na Tabela 1, estão indicadas as quantidades de lodo, cimento e água utilizadas nas moldagens das pastas de lodo/cimento.

Tabela 1. Quantidades de água, cimento e lodo utilizadas nas moldagens dos CPs de lodo/cimento.

Massa (g)	Dosagens							
	1ª Fase				2ª Fase			
	0%	10%	15%	20%	0%	10%	20%	30%
Cimento	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
Água	150,0	102,0	79,1	55,5	150,0	102,0	55,5	8,2
Lodo	0,0	50,0	75,0	100,0	0,0	50,0	100,0	150,0

Os moldes utilizados nesta etapa são constituídos de metal, de forma cilíndrica com dimensões (50,0 ± 0,1) mm de diâmetro interno, (100,0 ± 0,2) mm de altura e espessura 3 mm, com base roscada e sempre foram lubrificados com óleo mineral antes da moldagem. As moldagens foram realizadas logo após a preparação das pastas e foram realizadas em quatro camadas de mesma altura, cada uma recebendo 30 golpes uniformes com o soquete homogeneamente distribuídos. O excesso de pasta foi retirado e o topo dos corpos foi alisado com a espátula.

Os corpos de prova foram curados inicialmente ao ar (câmara úmida por 24 horas e cobertos com placas de vidro planas) e por um período de cura final em água saturada de cal, pois a presença de cal na água de cura impede que o cálcio e seus compostos presentes na pasta sejam solubilizados. Foi medido o pH da água de cura durante o tempo em que os corpos permaneceram imersos na água. A cura foi feita em água, ou seja, desde o segundo dia a contar da data de moldagem, até a data de ruptura, em um período máximo de 90 dias.

Resistência à compressão. Este ensaio consiste em submeter a mistura solidificada a cargas de compressão aplicadas no sentido longitudinal do corpo. Após os corpos permanecerem 24 horas na estufa, foram medidas suas dimensões, suas massas

e foram capeados com pasta de enxofre para regularização das bases. Os corpos de prova foram rompidos nas idades de três, sete, quatorze, vinte e oito e noventa dias, segundo a norma NBR 7215 (ABNT, 1987) – Cimento Portland (Determinação da resistência à compressão).

Lixiviação. Este ensaio consiste em uma adaptação da norma NBR 10005 – Lixiviação de Resíduos. O agitador, demonstrado na Figura 1, consta de quatro recipientes de 2.000 mL onde as amostras, contendo fase sólida e líquida, devem ser colocadas. Cada recipiente do agitador deve receber cerca de 100 g do material sólido moído mecanicamente ($\leq 9,5$ mm) e 1.600 mL de água destilada e deionizada.

Inicia-se o ensaio de lixiviação com a agitação em 30 rpm e controla-se o valor do pH em $(5,0 \pm 0,2)$ pela adição de ácido acético 0,5 N em intervalos de 15 minutos até sua estabilização. Após a estabilização do pH dentro da faixa de $(5,0 \pm 0,2)$ em intervalo de 15 minutos, procede-se da mesma forma com intervalo de 30 minutos e finalmente com intervalo de 1 hora. Estabilizado o valor de pH em qualquer intervalo de tempo ou ultrapassada a quantidade máxima de 400mL de ácido acético adicionada desde o início do teste, encerra-se a adição de ácido. O período total de agitação deve ser de 24 horas. Encerrada a etapa de lixiviação, o lixiviado deve ser filtrado em papel de filtro de $0,45\mu\text{m}$ e a fase líquida conservada na geladeira para posterior análise dos seguintes metais: Al, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Na, Si e Zn. Para a análise dos metais, utilizou-se o procedimento de abertura de amostra descrito pela Cetesb (2000), na qual utiliza-se os ácidos nítrico e clorídrico e o peróxido de hidrogênio. Fez-se todo o procedimento anterior para cada amostra da pasta de lodo/cimento nas várias dosagens de lodo/cimento (0%, 10%, 20% e 30% de lodo em relação ao cimento).



Figura 1. Esquema do agitador utilizado na lixiviação fragmentada.

Resultados e discussão

Caracterização físico-química do lodo. O lodo proveniente do tanque de decantação, apresentava uma coloração azul escura, devido principalmente aos corantes utilizados nos processos de tingimento. Após sua coleta, o lodo passou por uma caracterização quanto à demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais, fixos e voláteis, teor de sulfetos, umidade, densidade e pH. Os resultados destes parâmetros são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Características físico-químicas do lodo da lavanderia industrial.

Característica	Resultado
Sólidos Totais	42899 (mg/L)
Sólidos Fixos	21386 (mg/L)
Sólidos voláteis	21513 (mg/L)
DQO	39326 (mg/L)
pH	4,46
Densidade	1,09 (g/cm ³)
Teor de umidade	94,52%
Teor de sulfetos	62,6 (mg/L)

Conforme se observa na Tabela 2, a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais é maior que 50%, indicando uma quantidade de matéria orgânica superior a 50%.

Os resultados mostram que o lodo é um material de baixa densidade. O valor baixo da densidade pode estar associado à grande quantidade de água presente no lodo.

O baixo valor de pH pode ser justificado pela mistura de produtos que são utilizados durante o processo de tingimento e lavagem na lavanderia industrial, bem como no processo de tratamento do efluente.

A alta DQO para o lodo e a grande quantidade de sólidos voláteis caracterizam uma grande proporção de matéria orgânica no lodo.

Quanto ao teor de sulfetos presentes, é devido ao tratamento do efluente durante a etapa de coagulação/floculação com sulfato de alumínio. O pH do lodo bruto manteve-se constante durante o período de monitoramento.

Determinação de metais no lodo bruto. Para a caracterização quanto à presença de metais, o lodo foi seco, descomplexado dos metais, diluído e filtrado. Foram analisados 3 tipos de abertura de amostras para os seguintes metais: sódio, alumínio, magnésio, cálcio, cromo, cobalto, cobre, ferro, manganês, estanho e zinco. Considerando o desvio-padrão das concentrações médias, foram escolhidos os melhores métodos de abertura que estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Concentrações dos metais presentes no lodo bruto.

Elemento	Conc. Média (ppm)	Melhor Método de Abertura
Al	7689,5	APHA (1980)
Ca	25,567	GRYEPINK (1984)
Co	23,13	APHA (1980)
Cu	1,564	CETESB (2000)
Fe	186,78	CETESB (2000)
Mg	27,004	CETESB (2000)
Na	316,997	GRYEPINK (1984)
Si	381,5	GRYEPINK (1984)
Zn	14,318	GRYEPINK (1984)

A alta concentração do alumínio no lodo pode ser justificada pela adição de sulfato de alumínio como agente floculante na estação de tratamento dos efluentes.

A concentração do sódio pode ser justificada pela adição de hidróxido de sódio como controlador de pH da água de lavagem no processo de lavagem da lavanderia e também no tratamento do efluente.

Os outros elementos provêm dos produtos utilizados nos processos de tingimento e lavagem. Um exemplo são os corantes que podem ter metais em sua parte constitutiva, como, o cobre, cromo e cobalto. Entre os metais analisados, notou-se uma maior concentração de alumínio, sódio e ferro, também verificado por May (1992), citado por Prim (1998), ao estudar um lodo de uma indústria têxtil.

Caracterização do processo de solidificação/estabilização

Determinação do módulo de finura do cimento. A massa de cimento retida na peneira após o tempo de 15 minutos de agitação foi menor que

1,25 g em todos os ensaios. Assim, todo o cimento está na forma adequada para o trabalho, conforme a norma especializada NBR 11579-ABNT (1991).

Determinação da consistência e tempo de pega nos CPs de lodo/cimento. Os valores de consistência e tempo de pega obtidos durante a moldagem das pastas de lodo/cimento estão indicados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Índices de consistência e tempos de pega da 1ª fase da moldagem dos cps de lodo/cimento.

Dosagem	Índice de consistência (mm)	Início de pega (min)	Fim de pega (min)
Branco (0%)	239,2	65	127
10%	258,5	87	195
15%	226,9	78	215
20%	242,6	-----	-----

Tabela 5. Índices de consistência e tempos de pega da 2ª fase da moldagem dos cps de lodo/cimento.

Dosagem	Índice de consistência (mm)	Início de pega (min)	Fim de pega (min)
Branco (0%)	277,3	205	360
10%	277,5	310	450
20%	265,9	370	510
30%	232,6	450	615

De acordo com os resultados, a consistência da massa, que é medida pelo índice de consistência, diminuiu com o aumento da quantidade de lodo, o que é evidenciado pelo aumento deste índice.

Nota-se que, de um modo geral, a presença do lodo influenciou o início da pega, retardando-o, mas não alterou o tempo decorrido entre o início e o fim da pega.

Análise do pH da água de cura. Acerca da análise do pH da água de cura, tem-se que: o pH foi analisado durante o período em que a cura dos CPs de lodo/cimento foi feita em água, ou seja, desde o segundo dia, a contar da data de moldagem, até a data de ruptura, em um período máximo de 90 dias para a 1ª fase e de 28 dias para a 2ª fase.

Nas Figuras 2 e 3 da 1ª fase apresenta-se o comportamento típico de evolução do pH, que se repete na segunda fase. Analisando-as, percebe-se que o pH passa por um máximo e decresce até a estabilização.

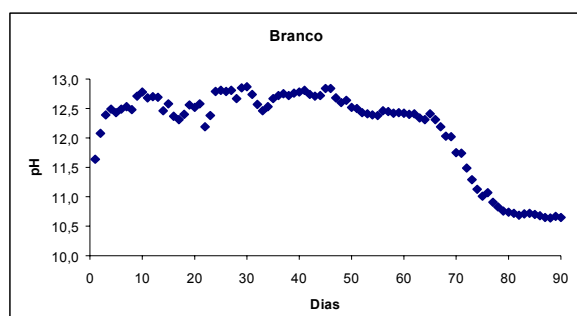


Figura 2. Evolução do pH da água de cura dos corpos brancos na 1ª fase da Moldagem.

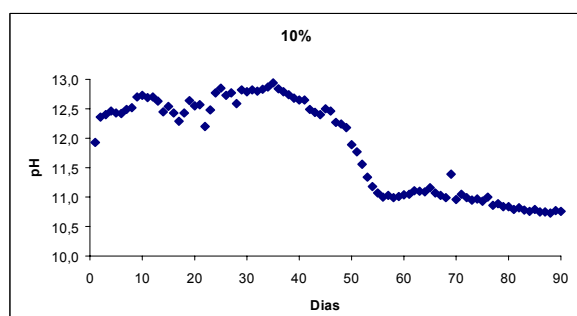


Figura 3. Evolução do pH da água de cura dos corpos de dosagem 10% na 1ª fase da moldagem.

Conforme Sloom (1991), a lixiviabilidade de produtos estabilizados com cimento é fortemente influenciada pela alcalinidade da matriz e a maioria dos íons tem lixiviação mínima na faixa de pH 7 a 10. Como o pH na água de cura dos CPs de L/C tenderam para esta faixa de pH (10), provavelmente este foi um dos fatores que podem ter contribuído para a retenção dos elementos químicos nas matrizes solidificadas de L/C.

Resistência mecânica à compressão dos corpos de prova

Os resultados de resistência mecânica obtidos estão indicados nas Tabelas 6 e 7 e ou em forma de gráficos, Figuras 4 e 5.

Tabela 6. Resistências mecânicas à compressão dos corpos de prova na 1ª fase da moldagem.

Idade (dias)	Resistência mecânica à compressão(MPa)			
	Branco	10%	15%	20%
7	59,01	51,90	48,74	49,72
14	61,97	53,11	58,98	55,91
28	57,73	49,58	52,73	54,57
90	43,74	39,84	59,59	34,61

Tabela 7. Resistências mecânicas à compressão dos corpos de prova na 2ª fase da moldagem.

Idade (dias)	Resistência mecânica à compressão(MPa)			
	Branco	10%	20%	30%
7	42,79	39,76	38,42	30,31
14	39,85	43,98	37,27	36,48
28	40,25	25,85	34,84	38,40
90				

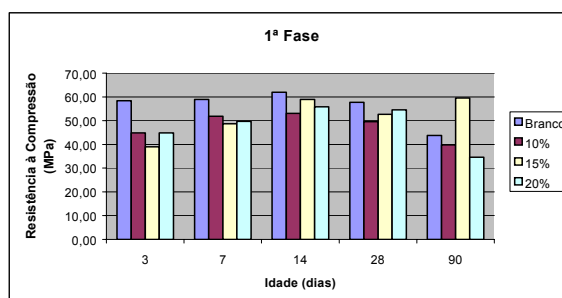


Figura 4. Resistências mecânicas à compressão dos corpos de prova na 1ª fase da moldagem.

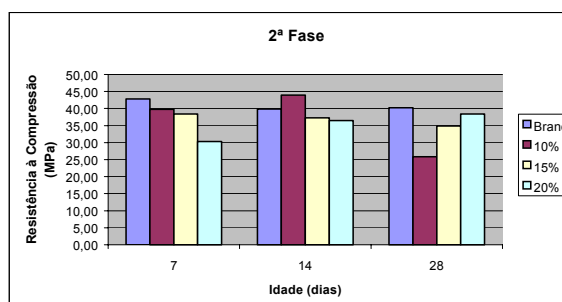


Figura 5. Resistências mecânicas à compressão dos corpos de prova na 1ª fase da moldagem.

Observa-se que a presença no lodo interfere na matriz solidificada, com o lodo interferindo negativamente na estrutura, mas não de forma crítica, pois as pastas contendo lodo apresentam resistência da mesma ordem de grandeza que o branco (pasta de água/cimento).

De um modo geral, como se observa nas Figuras 4 e 5, todos os CPs apresentaram resistência superior à 10 MPa, o que permite a aplicação dos traços para diferentes finalidades. Para tijolos maciços, os valores mínimos de resistência variam de 1,5 MPa a 4,0 MPa, dependendo da classe, de acordo com a (NBR 7170) Para o bloco vazado de concreto simples, para alvenaria estrutural, de 4,5 MPa a 16,0 MPa (NBR 6136).

Lixiviação. A lixiviação se dá com a amostra contendo 30% de lodo em relação ao cimento na forma granular, em monoextrações, utilizando a água desmineralizada como solvente porque é mais simples, barato e de fácil obtenção em laboratório. Os resultados da lixiviação aos 28 dias, apresentados na Tabela 8, são comparados com a listagem 7 da NBR 10004 – Classificação de resíduos, a fim de verificar, conforme a norma brasileira, se em condições extremas (estratificação dos CPs, passando em peneira de 9,5 mm, em contato com água, sob agitação constante por 24h, a pH 5,0), se encontram elementos no lixiviado acima do permitido pela norma.

Tabela 8. Concentrações obtidas na lixiviação fragmentada em amostras com 30% de lodo.

Elemento	Quantidades obtidas (mg/L)	NBR 1004 Listagem 7 Lixiviação
Alumínio	70,2	—
Cálcio	5639,0	—
Cobalto	5,46	—
Ferro	15,52	—
Magnésio	18,337	—
Sódio	65,896	—
Zinco	8,792	—

Pelos resultados apresentados na Tabela 8, pode-se observar que nenhum dos elementos presentes no lixiviado dos CPs de Lodo/cimento na dosagem de 30% em relação ao cimento, consta da listagem da norma brasileira. Conforme a ABNT, estes materiais seriam considerados inertes, pelo menos para os elementos analisados, mas é claro que para classificá-lo efetivamente seriam necessárias outras análises. Por outro lado, a quantidade de lodo têxtil gerada por dia nas lavanderias industriais é da ordem de 500 kg/dia, ocasionando um excesso desses metais no solo, que mesmo não sendo tóxicos pela ABNT, poderiam vir a ser pela quantidade em excesso a ser depositada.

Conclusão

O pH do lodo manteve-se constante em 4,46, o que indica um resíduo ácido.

A Massa Específica determinada foi de 1,090 g/mL a 23°C, muito próxima à da água.

A DQO determinada foi bastante alta, igual a 39326 mg O₂/L.

O lodo apresentou alto Teor de Sólidos Totais, cerca de 42899 mg/L, sendo 49,85% destes sólidos fixos e 50,15% sólidos voláteis. Assim, não é indicado um tratamento a altas temperaturas utilizando este material.

O lodo apresentou cerca de 94,52% de Umidade, fato que justifica em parte a densidade ser parecida à da água.

Quanto ao Teor de Sulfetos, aproximadamente 62,6 mg de S²⁻/L estão presentes no lodo.

Isto poderia ser um agravante, pois poderia ocorrer a formação do gás sulfídrico que é tóxico. Mas como o pH manteve-se constante não houve a formação de H₂S.

Os elementos presentes no lodo bruto foram: Al, Ca, Co, Fe, Mg, Na, Si e Zn. O Al apresentou alta concentração, o que é justificada pelo emprego como agente floculante na etapa de tratamento de efluentes da lavanderia. O Na também apresentou alta concentração, que é justificada pela sua adição à água de lavagem para controlar o pH. Os demais elementos são oriundos dos produtos utilizados no tingimento e na lavagem.

De uma forma geral, a presença do lodo na matriz sólida da pasta de lodo/cimento altera de forma negativa a estrutura da mesma, mas não de forma crítica. Isto pode ser evidenciado pelos resultados de resistência à compressão, tempo de pega e consistência em que os resultados estão dentro das faixas previstas, de acordo com as normas especializadas para produtos da construção civil, tais como: tijolos, blocos vazados simples e com função estrutural.

Conclui-se que a incorporação do lodo têxtil ao cimento é um bom método para solidificar/estabilizar o resíduo para futuras aplicações na construção civil.

Referências

- APHA-AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA. Methods for the examination of water and waste water, EUA, 1980.
- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Amostragem de Resíduos - Procedimentos: NBR 10007, São Paulo, ABNT, 1987.
- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland - Determinação da Finura por meio da Peneira 75 µm (nº 200): NBR 11579, São Paulo, ABNT, 1991.
- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland - Determinação dos Tempos de Pega: NBR 11581, São Paulo, ABNT, 1991.
- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de Cimento Portland: NBR 7215, São Paulo, ABNT, 1987.
- CETESB-COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Resíduos Sólidos Industriais: ASCETESB. Série ATAS da CETESB, volume 1, pág. 32 a 43. São Paulo, 1995.
- GRIEPINK, B. *et al.* Certification of the contents of some heavy metals (Cd, Co, Cu, Mn, Hg, Ni, Pb and Zn) in three types of sewage sludge. *Fresenius Z Anal. Chem.*, Belgian, 1984.
- PIETROBON, C.L.R. Gestão Ambiental: Auditoria Ambiental em uma Lavanderia Industrial em Maringá, IX ENTAC, 2002-Foz do Iguaçu-Pr.
- PIETROBON, C.L.R. *et al.* Levantamento de Resíduos Sólidos Industriais na cidade de Maringá. In ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11, 2002, Maringá. *Anais...* Maringá: Universidade Estadual de Maringá/CNPq, 2002.
- PRIM, E.C.C. *Reaproveitamento de lodo têxtil e da cinza pesada na construção civil: aspectos tecnológicos e ambientais* 1998. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- SLOOT, H. A. VAN DER. *Quick techniques for evaluating the leaching properties of waste materials: their relation to decisions on utilization and disposal*, Elsevier Science B. V., p.298-310, 1998.

Received on January 30, 2004.

Accepted on June 22, 2004.

