



Estudo das características físicas e mecânicas de blocos de concreto para pavimentação fabricados com incorporação parcial de lodo galvânico

**Juliana Guerra Sgorlon¹, Pollyanna Perecim², Janaína de Melo Franco³,
Célia Regina Granhen Tavares⁴**

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Universidade Estadual de Maringá
(juliana.sgorlon@yahoo.com.br)

² Universidade Estadual de Maringá (pollyannaperecim@hotmail.com)

³Universidade Estadual de Maringá (janydemelo@gmail.com)

⁴Universidade Estadual de Maringá (celia@deq.uem.br)

Resumo

O objetivo do presente trabalho pautou-se no estudo da viabilidade de incorporação de diferentes teores de lodo de galvanoplastia na fabricação de blocos de concreto por meio da avaliação das características físicas e mecânicas das peças produzidas. O resíduo foi coletado e caracterizado utilizando-se ensaios de granulometria a laser, fluorescência de raios-x e determinação de metais. Os pavimentos foram fabricados com diferentes teores de resíduo (2% a 10%) em substituição ao agregado miúdo do concreto e posteriormente foram submetidos a ensaios de absorção de água e resistência à compressão. Os resultados obtidos mostraram a possibilidade de incorporação de até 4% de lodo galvânico na fabricação dos blocos de concreto para pavimentação sem acarretar em perdas significativas na qualidade e durabilidade das peças. O lodo de galvanoplastia surge como material alternativo passível de utilização como matéria-prima na indústria da construção civil.

Palavras-chave: Lodo galvânico. Blocos de concreto. Incorporação.

Área Temática: Resíduos Sólidos

Study of physical and mechanical characteristics of concrete paving blocks made with partial incorporation of electroplating sludge

Abstract

The aim of this work was supported by a study of the feasibility of incorporating different levels of electroplating sludge in the manufacture of concrete blocks through the evaluation of physical and mechanical properties of the blocks produced. The residue was collected and characterized using laser granulometry tests, x-ray fluorescence and metal determination. The blocks were made with different amounts of residue (2% to 10%) in replacement of fine aggregate concrete and were subsequently tested for water absorption and compressive strength. The results showed the possibility of incorporating up to 4% of galvanic sludge in the manufacture of concrete block paving without causing significant losses in quality and durability of the blocks. The electroplating sludge arises as an alternative material able to be used as raw material in the construction industry.

Key words: Electroplating sludge. Concrete blocks. Incorporation.

Theme Area: Solid Waste



1 Introdução

O lodo de galvanoplastia ou lodo galvânico, é o resíduo sólido gerado após o tratamento dos efluentes líquidos, provenientes da etapa de pré-tratamento e tratamento químico das peças galvanizadas. As águas provenientes dos banhos químicos são encaminhadas para a estação de tratamento de efluentes das indústrias, onde ocorre o tratamento das mesmas, com a geração de um lodo ou lama que contém principalmente altas concentrações de metais pesados, tais como níquel, cobre, zinco, ferro, cromo, entre outros (CHANG, 2011; OLIVEIRA, 2007).

O lodo é o resíduo gerado em maior quantidade pelas indústrias do setor galvanotécnico, é um material muitas vezes pastoso com grande quantidade de água em sua composição. Segundo Borgo (2005), na composição desse resíduo, além de metais pesados podem estar presentes compostos químicos em diferentes formas, tais como, hidróxidos, óxidos hidratados, sais dos metais das linhas de tratamento superficial em questão, sais solúveis de metais pesados, além de carbonatos, sulfatos e fosfatos de cálcio.

Por ser considerado um resíduo sólido perigoso devido a sua composição, o lodo galvânico deve ser disposto em aterros para resíduos industriais perigosos. A sua disposição inadequada representa riscos de contaminação do solo, lençol freático e águas superficiais.

Com o crescimento da exigência de implantação de políticas ambientais pautadas no gerenciamento adequado de rejeitos, as indústrias estão cada vez mais interessadas em maneiras de minimizar os resíduos gerados, assim como no desenvolvimento de meios viáveis para o reaproveitamento e estabilização dos mesmos, para a disposição final de forma segura.

A construção civil é um setor que tem se mostrado promissor na utilização de resíduos industriais por meio do desenvolvimento de novos materiais para seu próprio consumo. Diversos estudos já foram e estão sendo realizados com o objetivo de desenvolver técnicas e tecnologias limpas e viáveis para a reutilização desses rejeitos.

Grande parte desses estudos visam a incorporação de diversos resíduos industriais como matérias-primas para a fabricação de concretos, os quais podem ser incorporados como adições minerais ou em substituição parcial dos agregados ou do aglomerante. Estudos sobre a utilização de resíduos galvânicos, pó de vidro, lodos contendo metais pesados, areia de fundição e restos de mármore na fabricação de concretos foram estudados por pesquisadores como Ismail (2009); Chen *et al.* (2011); Kaur (2013); Park (2004); Topçu (2004), Ahmadi (2001), Chidiac (2011); Gencel *et al.* (2012) e Tavares e Franco (2012), com o intuito de diminuir o impacto ambiental gerado pela grande quantidade de resíduos disponíveis, bem como diminuir a demanda de recursos naturais explorados pelo setor da construção civil, juntamente com a possibilidade da estabilização/solidificação dos contaminantes presentes nos resíduos junto às matrizes de cimento.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo o estudo das características de blocos de concreto para pavimentação fabricados com substituição parcial do agregado miúdo (areia) por lodo galvânico. Foram investigadas as propriedades do resíduo, bem como as características físicas e mecânicas dos blocos fabricados à luz da norma ABNT NBR 9781 (2013).

2 Metodologia

O lodo utilizado para a fabricação dos blocos de concreto para pavimentação foi coletado em uma empresa galvânica situada na região de Maringá – PR, foi seco em estufa, peneirado e acondicionado em bombonas plásticas até sua utilização.

A caracterização do lodo foi feita por meio dos seguintes ensaios:



- Granulometria integrada utilizando-se peneiras BERTEL entre as malhas *mesh* 8 e 80 e granulômetro a laser Cilas 1064 entre 0,04 e 500 μm ;
- Fluorescência de raios-x utilizando-se espectrômetro de raios-x Rigaku, modelo ZSX Mini II;
- Determinação de metais após digestão ácida (EPA 3052, 1996) com leitura da concentração em espectrômetro de absorção atômica Varian - SPECTRAA-240FS.

Após a caracterização do lodo, deu-se a fabricação dos blocos de concreto na fábrica de artefatos de Universidade Estadual de Maringá. Para a fabricação do concreto para os blocos foi utilizado como aglomerante o cimento CP V – ARI (alta resistência inicial), como agregado miúdo a areia média (0,2 a 0,6 mm), como agregado graúdo o pedrisco (2,4 a 9,5 mm), água, além de diferentes proporções de lodo galvânico (2%, 3%, 4%, 5% e 10%) em substituição a areia média. A Tabela 1 apresenta as diferentes composições utilizadas na fabricação dos blocos.

Tabela 1 – Composição dos blocos de concreto para pavimentação fabricados com lodo galvânico

Substituição	A/G	Cimento	Areia	Resíduo	Pedrisco
Referência	0,40	1,00	2,50	0,00	1,35
2%	0,40	1,00	2,48	0,02	1,35
3%	0,40	1,00	2,47	0,03	1,35
4%	0,40	1,00	2,46	0,04	1,35
5%	0,40	1,00	2,45	0,05	1,35
10%	0,40	1,00	2,35	0,10	1,35

Referência – corpos de prova sem adição de resíduo

A/G – relação água/aglomerante

A moldagem dos blocos foi feita em uma vibro-prensa pneumática com desforma sobre paletes e cura em câmara úmida a 25°C por 28 dias. Os pavimentos produzidos tinham dimensões de 100 mm (largura) x 200 mm (comprimento) x 80 mm (altura).

Após a cura, os blocos foram submetidos a caracterização física e mecânica aos 28 dias de cura. A caracterização física se deu por meio dos ensaios de absorção de água que foram baseados na metodologia descrita na norma ABNT NBR 9781 (2013) – Peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio, utilizando-se 2 corpos de prova para cada teor de substituição. A caracterização mecânica foi realizada por meio dos ensaios de resistência à compressão com posterior cálculo da resistência característica à compressão. Esses ensaios também foram baseados na metodologia prevista pela norma supracitada. Foram utilizados 6 corpos de prova para cada teor de resíduo.

Os resultados obtidos para a caracterização dos blocos de concreto foram submetidos à análise estatística por meio da análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação múltipla das médias dos tratamentos.

3 Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta a composição granulométrica do lodo utilizado na fabricação dos blocos.

Para o lodo galvânico, a análise granulométrica permitiu classificar suas partículas em tamanhos que variam de 0,0001 mm a 0,053 mm, com um diâmetro médio de 0,0092 mm ou 9,2 μm . Esse resíduo pode ser considerado muito fino pois cerca de 100 % de suas partículas encontrando-se abaixo de 0,075 mm (ORTIGÃO, 2007). O lodo também como pode ser classificado de acordo com a International Society of Soil Mechanics and Foundation



Engineering (ISSMFE) na faixa granulométrica entre a argila (com 12,38% das partículas com diâmetro menor que 0,002 mm) e o silte (0,002 a 0,06 mm).

Tabela 2 – Análise granulométrica do lodo de galvanoplastia

Malhas (Tyler)	Abertura de Peneiras (mm)	Retido (%)	Retido acumulado acima (%)	Retido acumulado abaixo (%)
270	0,053	0,06	0,06	99,94
325	0,043	1,01	1,07	98,93
400	0,036	2,56	3,63	96,37
500	0,028	6,42	10,05	89,95
635	0,020	10,79	20,84	79,16
	0,010	24,95	45,79	54,21
	0,006	17,91	63,70	36,30
	0,003	18,13	81,83	18,17
	0,001	11,76	93,59	6,41
	Menor 0,001	6,41	100,0	0,00

A Tabela 3 mostra os resultados dos ensaios de fluorescência de raios-x e determinação de metais feitas em amostras do resíduo estudado.

Tabela 3 – Composição química do lodo galvânico

Compostos		Elementos	
Composição química	(% massa)	Metais	Concentração (mg.kg ⁻¹)
Al ₂ O ₃	0,26	Al	9.088,50 ± 0,2
SiO ₂	4,35	Ba	996,00 ± 1,3
P ₂ O ₅	45,81	Cd	2,85 ± 0,0
K ₂ O	0,03	Pb	16,35 ± 0,0
CaO	0,44	Cu	22,55 ± 0,0
Fe ₂ O ₃	39,29	Cr	34,25 ± 0,0
ZnO	9,38	Fe	88.867,45 ± 2,3
SO ₃	0,08	Mn	163,40 ± 0,0
Cl	0,36	Ag	19,95 ± 0,0
		Na	12.334,45 ± 1,3

A fluorescência de raios-x detectou altos teores de P₂O₅ (45,81%) e Fe₂O₃ (39,29%) na composição do lodo galvânico. A presença de pentóxido de fósforo (P₂O₅) no lodo, pode ser atribuída à sua utilização como agente de limpeza das peças de galvanoplastia após os tratamentos químicos. O óxido de ferro (Fe₂O₃) detectado, muito provavelmente, é proveniente da composição das peças galvanizadas, bem como o óxido de zinco (ZnO).

Foi possível verificar que ferro (Fe), sódio (Na), alumínio (Al) e bário (Ba) foram os metais que apresentaram concentrações significativas em peso seco na matriz digerida do lodo de galvanoplastia. As concentrações de ferro, alumínio e bário estão relacionadas com a composição dos banhos eletrolíticos durante o processo de galvanoplastia, já o sódio pode estar relacionado com o hidróxido de sódio (NaOH) presente nos banhos de decapagem (retirada de óxidos e gorduras das peças), bem como estar presente na composição do detergentes utilizados na limpeza final das peças.

A Figura 1 e a Tabela 4 apresentam os valores médios de resistência à compressão para os blocos fabricados com lodo galvânico e a (ANOVA) das médias dos resultados, respectivamente.



Figura 1 – Resistência à compressão aos 28 dias de cura dos blocos fabricados com lodo galvânico

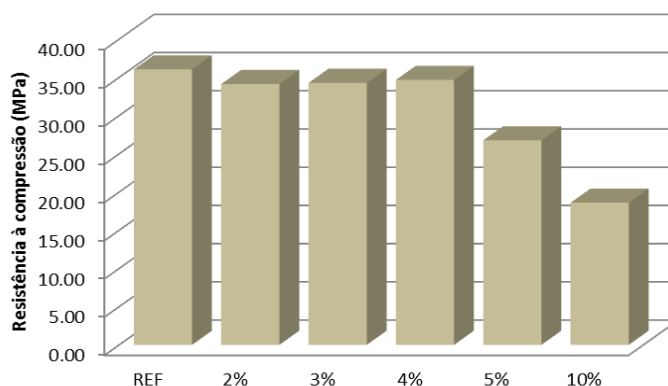


Tabela 4 – Tabela ANOVA para a resistência à compressão dos blocos fabricados com lodo galvânico

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média quadrática	F	Pvalor
Tratamentos	5	1382,13	276,42	12,466	0,000*
Erro residual	30	665,21	22,17		
Total	35	2047,34			

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade (Pvalor < 0,01)

Por meio da análise de variância (ANOVA) foi possível observar que existem diferenças significativas entre as médias de resistência à compressão ao nível de 1% de probabilidade, pois o Pvalor mostrou-se (<) menor que $\alpha = 0,01$.

Por meio da aplicação do teste de Turkey (Tabela 5) que faz a comparação entre as médias dos tratamentos, os valores médios da resistência à compressão dos blocos com 2%, 3% e 4% de lodo galvânico apresentaram valores similares entre si e em relação a média dos blocos referência, com um intervalo de confiança de 99%. Já os blocos com 5% e 10% de lodo galvânico apresentaram médias inferiores e significativamente diferentes das demais, porém estatisticamente iguais entre si.

Tabela 5 – Teste de Tukey para a resistência à compressão dos blocos fabricados com lodo galvânico

Tratamento	Média (MPa)
Referência	36,03 a
2%	34,12 a
3%	34,28 a
4%	34,65 a
5%	26,76 b
10%	18,60 b

Notas: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste de Tukey

Blocos fabricados com teores de 5% e 10% de lodo galvânico apresentaram uma redução na resistência de 26% e 48%, respectivamente, em relação ao referência.

Esses resultados indicam que a substituição de até 4% de agregado miúdo por lodo galvânico não prejudicará as características de resistência mecânica dos blocos de concreto para pavimentação fabricados.

A Tabela 6 mostra um resumo dos valores médios obtidos para a resistência à compressão (F_p) dos blocos fabricados com o resíduo, bem como a resistência média característica (F_{pk}) obtida para os mesmos e calculada de acordo com a norma ABNT NBR 9781 (2013).



Tabela 6 – Resistência à compressão e resistência característica à compressão dos blocos de concreto fabricados com lodo galvânico

Teor de substituição	Lodo galvânico	
	F_p (MPa)	F_{pk} (MPa)
Referência	36,03	33,60
2%	34,12	30,36
3%	34,27	29,09
4%	34,66	31,59
5%	26,75	23,32
10%	18,59	11,92

Segundo a norma supracitada, a resistência mínima característica exigida para os blocos de concreto a serem utilizados na pavimentação de vias para tráfego de veículos leves deve ser \geq (maior ou igual) a 35 MPa. Por meio da Tabela 6 verifica-se que a resistência característica dos blocos fabricados com teores de até 4% de lodo galvânico apresentaram valores muito próximos aos estipulados pela normativa aos 28 dias de cura, esses valores de resistência ainda tendem a aumentar com o aumento do tempo de cura dos blocos.

Esses resultados vem ratificar o exposto anteriormente de que, com relação a resistência mecânica, 4% é o teor ideal de substituição de agregados miúdos por lodo de galvanoplastia na fabricação de concreto para blocos intertravados.

A absorção de água é outra característica de grande importância na qualidade dos blocos intertravados de concreto, pois quanto maior a absorção de água dos blocos menor a sua durabilidade e maior a possibilidade de lixiviação de contaminantes para o ambiente. A Figura 2 mostra os resultados médios de absorção de água para os blocos referência, bem como para os blocos de concreto fabricados com lodo de galvanoplastia. A Tabela 7 apresenta a análise de variância dos resultados obtidos.

Figura 2 – Absorção de água, aos 28 dias de cura, dos blocos fabricados com lodo galvânico

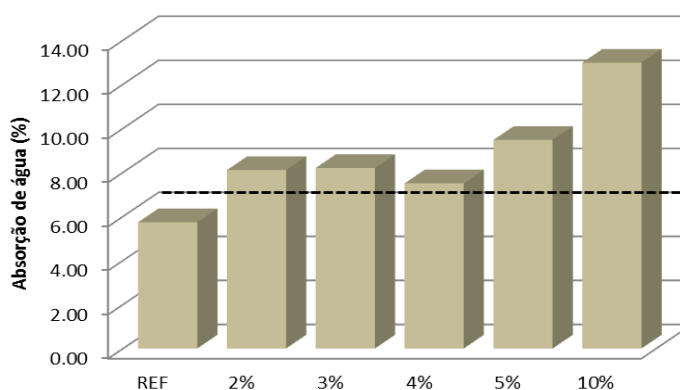


Tabela 7 – Tabela ANOVA para a absorção de água dos blocos fabricados com lodo galvânico

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média quadrática	F	Pvalor
Tratamentos	5	59,5604	11,9121	9,4049	0,0083*
Erro residual	6	7,5995	1,2666		
Total	11	67,1599			

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade (Pvalor < 0,01)

Na Tabela 7 os resultados indicam que há diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade entre os tratamentos. O Pvalor foi (<) menor que α ($0,0083 < 0,01$) indicando que é válido afirmar que as médias são diferentes entre si.

Para confirmar essa indicação foi realizado o teste de Tukey de comparação múltipla das médias (Tabela 8). O resultado do teste de Tukey mostrou que as médias que realmente



diferem estatisticamente entre si com 99% de confiança são as médias de absorção de água dos blocos referência e dos blocos fabricados com 10% de lodo galvânico, este último apresentando valores de absorção superiores aos demais. Os resultados mostram que a substituição de 10% do agregado miúdo por lodo galvânico pode acarretar num aumento de até 126% na absorção de água dos blocos.

Tabela 8 – Teste de Tukey para a absorção de água dos blocos fabricados com lodo galvânico

Tratamento	Média (MPa)
Referência	5,73 a
2%	8,11 a b
3%	8,20 a b
4%	7,50 a b
5%	9,47 a b
10%	12,98 b

Notas: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste de Tukey

Observa-se por meio da Figura 2, que os bloco fabricados com lodo galvânico também apresentaram valores de absorção de água acima de 6%, que é o valor mínimo estipulado pela legislação brasileira (ABNT NBR 9781, 2013).

4 Conclusão

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram delinear algumas considerações.

O lodo galvânico é um resíduo muito fino, com grande parte de sua composição associada ao agente de limpeza pentóxido de fósforo e com grande concentração de metais, principalmente ferro, sódio, alumínio e bário.

Com relação às características mecânicas, foi possível substituir até 4% de areia por lodo sem acarretar em perdas significativas da resistência à compressão dos blocos. No que diz respeito às características físicas, a incorporação de teores de até 5% de resíduo na fabricação dos blocos não alteraram significativamente os valores de absorção de água, mantendo assim, a durabilidade necessária para os pavimentos.

Portanto, conclui-se que com relação ao atendimento tanto das características mecânicas quanto físicas para a fabricação de blocos de concreto para pavimentação é possível substituir até 4% do agregado miúdo do concreto por lodo de galvanoplastia, sem ocasionar em problemas de perda de qualidade das peças. O lodo também apresentou-se como um resíduo passível de ser utilizado como matéria-prima na indústria da construção civil.

Porém, além do atendimento das exigências estipuladas pela normativa, análises para a verificação da lixiviabilidade e solubilidade do resíduo presente nas matrizes cimentícias também são de extrema importância, principalmente para garantir uma eficiente imobilização dos contaminantes, redução da periculosidade e minimização de impactos ambientais.

5 Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NRB 9781**: Peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

AHMADI, B.; AL-KHAJA, W. “Utilization of paper waste sludge in the building construction industry”. **Resources, Conservation e Recycling**, v. 32, 2001, pg. 105-113.



BORGIO, S. C. **Minimização e reciclagem de lodo galvanico e poeira de jateamento**. 2005. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CHANG, J. *et al.* “Hydration and leaching characteristics of cement paste made from electroplating sludge”. **Waste management**, n.31, 2011, pg. 1357-1363.

CHEN, Y.; KO, M.; LAI, Y.; CHANG, J. “Hydratation and leaching characteristics of cement paste made from electroplating sludges”. **Waste Management**, v. 31, 2011, pg. 1257-1363.

CHIDIAC, S. E.; MIHALJEVIC, S. N. “Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates”. **Cement and Concrete Composites**, v. 33, 2011, pg. 855-863.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3052**: Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices, 1996.

GENCEL, O.; OZEL, C.; KOKSAL, F.; ERDOGMUS, E.; MARTÍNEZ-BARRERA, G.; BROSTOW, W. (2012), “Properties of concrete paving blocks made with waste marble”. **Journal of Cleaner Production**, v.21, 2012, pg. 62-70.

ISMAIL, Z. Z.; AL-HASHMI, E. A. “Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete”. **Waste Management**, v.29, 2009, pg. 655-659.

KAUR, G.; SIDDIQUE, R.; Rajor, A. (2013), “Micro-structural and metal leachate analysis of concrete made with fungal treated waste foundry sand”. **Construction and Building Materials**, v. 38, 2013, pg. 94-100.

OLIVEIRA, J. M.; CUNHA, C. O. M. **Dossiê Técnico – Minimização de efluentes e resíduos na indústria galvânica**. SENAI/CNTL. 2007.

ORTIGÃO, J. A . R. **Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos**. 3ª ed. Terratek, 2007.

PARK, S. B.; LEE, B. C.; KIM, J. H. (2004), “Studies on mechanical properties o concrete containing waste glass aggregate”. **Cement and Concrete Research**, v. 34, 2004, pg. 2181-2189.

TAVARES, C. R. G.; FRANCO, J. M. (2012), “Production of concrete paving blocks (CPB) utilising electroplating residues – Evaluation o mechanical and micro-structural properties”. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 9999, 2012, pg. 1-10.

TOPÇU, I. B.; CANBAZ, M. (2004), “Properties o concrete containing waste glass”. **Cement and Concrete Research**, v. 34, 2004, pg. 267-274.