

Introdução

As primeiras ferrovias se desenvolveram no final do século XVIII, com o início da Revolução Industrial. No Brasil, sua construção se iniciou no Período Imperial, durante o Segundo Reinado, em 1854, ligadas principalmente ao escoamento da produção cafeeira e de outros produtos agrícolas. A importância que as ferrovias tiveram para a economia nacional e mundial no início do século XX bem como sua crescente importância para o cenário atual dos transportes justificam um estudo relacionado ao comportamento do lastro em situações de contaminação. Neste trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica a respeito do comportamento do lastro ferroviário, bem como suas fontes de contaminação. Além disso, foram realizados ensaios de granulometria e permeabilidade para lastro contaminado com solo, a fim de entender como o mesmo se comporta sob essas condições. O conceito principal da pesquisa originou um artigo que foi publicado no congresso Railway Engineering 2013, realizado em Londres.

Objeto de Estudo

O lastro utilizado para o estudo foi colhido num segmento ferroviário, localizado próximo a Campinas, que abrangia as especificações necessárias ao estudo. O solo utilizado para o ensaio foi obtido dentro do Campus da Unicamp, localizado em Campinas (SP), para as profundidades entre 0,50 e 2 m. Na tabela 1 são apresentadas a classificação de acordo com a carta de plasticidade, um resumo dos índices físicos e limites de consistência.

Tabela 1. Classificação, índices físicos e limites de consistência para a amostra

Grupo		Nome Típico									
ML		Silte inorgânico de mediana compressibilidade									
Profundidade (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	w (%)	e	n (%)	S_r (%)	LL (%)	LP (%)	LC (%)	IP (%)
2	14,2	30,8	11,1	27,9	1,78	64	48,4	44,3	31,8	24,4	12,5

*Valor obtido no momento da coleta em campo

Resultados

Figura 1. Distribuição granulométrica para lastro contaminado 10% com solo (curva abaixo), distribuição granulométrica para lastro contaminado 25% com solo (curva acima)

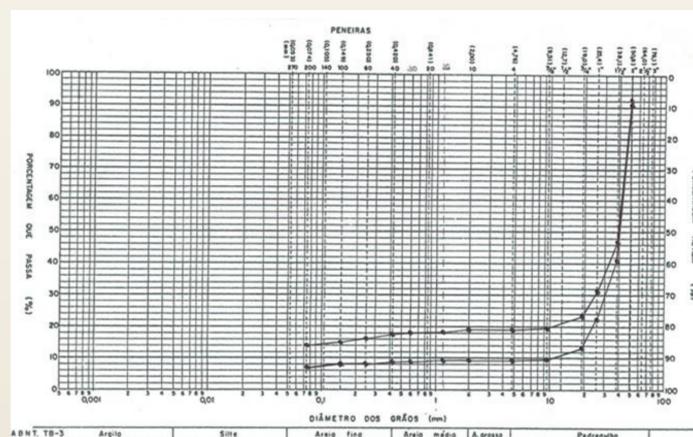


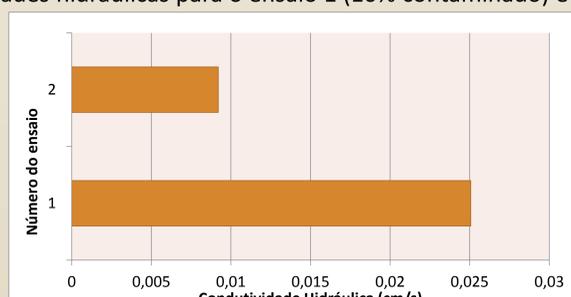
Tabela 2. Contaminação segundo índice proposto por Selig e Waters

Lastro	F_v (%)	Classificação
10% solo	16 %	Lastro moderadamente limpo
25% solo	33 %	Lastro contaminado

Tabela 3. Contaminação segundo índice proposto pela South-African railway Spoomet

Lastro	F_v (%)	Conclusão
10% solo	52,87	Não é necessário limpar o lastro
25% solo	102,60	Necessário limpar o lastro

Figura 2. Condutividades hidráulicas para o ensaio 1 (10% contaminado) e 2 (25% contaminado)



Metodologia

Na realização deste trabalho dois ensaios foram realizados: ensaios de granulometria e ensaios de permeabilidade de forma a caracterizar a redução da permeabilidade de lastros sujos em relação a uma camada de lastro limpo. Para melhor comparação de resultados, o nível de contaminação do lastro foi avaliado de acordo com dois índices, um proposto por Selig e Waters [1994] e outro proposto pela South-African railway Spoomet [2005].

Ensaio de granulometria

Realizou-se um ensaio de peneiração com a peneira de abertura 0,075 mm e utilizou-se a quantidade de solo que passou pela mesma. No ensaio foram utilizadas as peneiras com aberturas (em mm) de: 0.075, 0.18, 0.25, 0.425, 0.6, 1.18, 2, 4.75, 9.2, 19, 25, 38 e 50 para o lastro. Após a passagem pelas peneiras e das massas retidas e acumuladas foi traçado um gráfico da distribuição granulométrica para a combinação de lastro e solo.

Ensaio de Permeabilidade

Foram realizados ensaios com permeômetro de carga constante para o lastro contaminado com solo em 10% e 25% em volume. Foram realizadas três montagens idênticas do ensaio para maior confiabilidade dos valores obtidos, com cada montagem lida cinco vezes. Após a montagem do experimento, deixou-se a água circulando pelo permeômetro por algumas horas até que a leitura fosse realizada.

Os resultados para os ensaios de granulometria, para o lastro contaminado em 10% e 25%, estão expostos na figura 1. Com as distribuições granulométricas obtidas foi possível identificar os níveis de contaminação. Seus resultados estão expostos nas tabelas 2 e 3.

Finalmente, de posse dos dados obtidos do ensaio de permeabilidade calculou-se os valores para a condutividade hidráulica do lastro para cada um dos ensaios, apresentados na figura 2.

Conclusão

Através dos resultados obteve-se uma noção bastante clara a respeito da importância do estudo da permeabilidade do lastro em função da sua contaminação. No estudo foram utilizadas duas proporções de contaminação por solo no lastro: lastro contaminado com solo 10% em volume e lastro contaminado com solo 25% em volume. Com dois lastros distintos, um abrangendo lastro limpo e outro abrangendo lastro contaminado, foi possível ter um panorama dos comportamentos de diferentes lastros à contaminação. Observando os resultados obtidos fica bastante claro que a contaminação do lastro é um efeito extremamente prejudicial para que o mesmo desempenhe corretamente suas funções, lembrando que o lastro limpo apresenta permeabilidade de 30 cm/s. [INDRATNA, B.; NIMBANLAKAR, S. S.; TENNAKOON, N., 2010]

Dessa forma, o trabalho revelou a importância de se manter o lastro de uma ferrovia sempre limpo ou o mais próximo possível da contaminação nula. Mesmo para valores consideravelmente baixos de contaminação o lastro pode desempenhar de maneira muito aquém àquela esperada.

Referências

- Indrarnatna, B.; Nimbalkar, S. S.; Tennakoon, N. The Behaviour of Ballasted Track Foundations: Track Drainage and Geosynthetic Reinforcement – GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling & Design, 2010
- Lichtberger, B. (2005), Track Compendium: Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics, Eurailpress, Hamburg.
- de Paiva, C. E. L. Superestrutura ferroviária: estudo dos elementos componentes. Campinas, SP, 2012 5ª edição
- Selig, E.T.; Waters, J.M. Track Geotechnology and Substructure Management. London, Thomas Telford Services Ltd, 1994