



## AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA -GEOFÍSICA DAS SUBESTRUTURAS DA FERROVIA VITÓRIA – MINAS (EFVM) USANDO O RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)

Marco A. Barsottelli Botelho

Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia, IGEO/UFBA, [Botelho@cpgg.ufba.br](mailto:Botelho@cpgg.ufba.br)

Cristiano G. Jorge

Dept. de Logística Operacional, Companhia Vale do Rio Doce/EFVM, [Cristiano.Jorge@cvrd.com.br](mailto:Cristiano.Jorge@cvrd.com.br)

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract :

The application of Ground Penetrating Radar (GPR) as a Non Destructive Test (NDT) technique for the assessment of railway track bed ballast is presented in this paper. The GPR was applied on Vitória – Minas railroad (EFVM) and it allowed us to detect changes on geometry and composition of the ballast and sub-ballast which were revealed by amplitude and geometry variations of the reflectors corresponding to the air-ballast and ballast-sub-ballast interfaces. In this study, 200 MHz radar data were acquired over the ballast and wood ties. The GPR system was mounted on a hi-rail vehicle moving continuously at 20, 40 or 60 kilometers per hour with radar resolution of a few decimeters horizontally and vertically to reach depths of more than 4 meters. As a matter of fact the choice of the scan time length and the number of time samples allows a investigation with a vertical resolution of one centimeter.

The research with GPR on ten segments of the EFVM, with one kilometer each, makes possible to detect the ballast thickness variations, mud contaminated segments, and also many different structures as tubes, crossing tracks and EMVs, under and above the ballast. The direct geotechnique inspection were conduct to investigate and confirm the anomalies detected by the GPR survey.

The GPR reveals itself as a efficacious no destructive toll to analysis the substructures of a heavy traffic railroad because it isn't necessary to interrupt the traffic during the inspections.

**Introdução:** Uma parcela significativa do orçamento para a manutenção de uma ferrovia é dilapidada pela taxa de deterioração da suavidade no traçado da via férrea. A perda da suavidade é causada por movimentos, ou deformações, da

subestrutura sob a carga repetitiva gerada pela passagem dos trens. As sub-estruturas da via férrea tem forte influencia na determinação de sua performance e no potencial de demanda para interrupção dos serviços e na necessidade de diminuir a velocidade dos trens (Olhoeft e Selig, 2002). Com o tempo de utilização o lastro vai ficando contaminado por material de granulação fina e assim vai perdendo sua efetividade como suporte dos trilhos ( Jack e Jackson, 1999). Esta perda de efetividade consiste na diminuição da capacidade de resistência às forças verticais, laterais e longitudinais aplicadas aos dormentes a fim de conservar o posicionamento exigido (traçado suave) da via permanente; na diminuição da capacidade de drenagem da água precipitada sobre e ao lado da via, entre outras funções, vide Gallagher et al (1999) e Narayan et al (2001). O GPR se apresenta como uma moderna técnica não destrutiva que fornece medidas diretas das anomalias presentes no lastro, sub-lastro e subleito, bem como as interfaces entre as camadas acima citadas. Os radargramas revelam as áreas onde houve perturbação das subestruturas, seja por fluxos de lama através do lastro ou depósitos de água causados pela ação intensiva das chuvas, e pela drenagem insuficiente do subsolo, ambas situações encontradas na EFVM. Assim, os técnicos responsáveis pela ferrovia terão um recurso que irá priorizar o programa de manutenção, revelando os trechos da via onde o trabalho de recuperação é necessário.

**Aquisição dos Dados :** A aquisição dos dados de radar empregou uma antena de 200 MHz (vide Fig.1a), com o objetivo de investigar não só as subestruturas da ferrovia como também o subsolo por onde está assentada a EFVM. A antena foi acoplada a um carro ferroviário (vide Fig.1b) que vai se deslocar a velocidades constantes de 20 a 60 km/h, o que vai permitir que se mantenha o tráfego ferroviário enquanto se faz a investigação com GPR. O sistema de radar SIR SYSTEM 2000

da GSSI permite que, por exemplo, se programe a emissão dos pulsos na taxa de 64 disparos por segundo, o que associado a uma velocidade de 20 km/h, permite uma investigação horizontal com emissão de pulsos a cada 8 cm de intervalo horizontal. A amostragem vertical pode ser feita na ordem de um centímetro desde que usemos um tempo de 150 ns e um número de 1024 amostras por traço.

## Resultados :

**1) Investigação com GPR:** Foram selecionados dez trechos da Ferrovia Vitória – Minas (EFVM), todos com aproximadamente um quilometro de extensão, entre eles alguns apresentando sérios problemas de trepidações nos trens, o que obriga a ferrovia estabelecer limites de velocidades nos citados trechos, o que prejudica a eficiência da ferrovia. Sobre estes trechos testou-se a viabilidade do GPR como uma ferramenta útil para diagnóstico de problemas presentes no subsolo da ferrovia.

Entre os resultados obtidos na investigação dos dez trechos selecionados, apresentamos aqueles situados entre os quilômetros 212 e 213 da ferrovia (RH 33-34). O radargrama mostrado na Fig.2 revela um padrão de reflexão com variações laterais nas amplitudes, onde pode-se individualizar três locais suspeitos de apresentarem heterogeneidades. Vale observar que nos três pontos, situados a 265, 288 e 357,6 metros do início do radargrama, ocorre o fenômeno designado como *pull-down*, significando que o material que impregna o lastro faz com que haja uma diminuição na velocidade de propagação do pulso de radar na área afetada. Considerando que um lastro limpo é um meio bifásico (ar + brita), torna-se fácil prever, ou estabelecer as hipóteses de que, ocorreu uma inundação da via ou uma contaminação do lastro por fluxo de lama, isto porque a água com constante dielétrica 80, ou a argila úmida com constante dielétrica entre 8 e 15, vão ocupar os espaços normalmente preenchidos pelo ar (constante dielétrica 1) no lastro. Como a velocidade de propagação do pulso de radar num meio é inversamente proporcional à raiz quadrada da constante dielétrica deste meio é previsível esta diminuição na velocidade de propagação do pulso de radar em lastros contaminados ou saturados.

**2) Investigação Geotécnica Direta :** A maior anomalia encontrada no subsolo da EFVM está situada entre os km 212+942 m (ponto A) e 212 + 972 m (ponto B), vide Fig.02. A Fig.02 mostra o posicionamento das subestruturas como : lastro,

sub lastro e subleitos, bem como o ponto escolhido para se realizar um ensaio destrutivo, situado no Km 212 + 950 m, e indicado no radargrama pela linha verde dupla. No local, detectou-se visualmente, a presença de uma larga impregnação de material argiloso (lama) no lastro, a qual se estende por cerca de trinta (30) metros, confirmando precisamente tanto a extensão da heterogeneidade detectada pelo GPR quanto o posicionamento da mesma ao longo da EFVM. O que também confirma a hipótese de contaminação do lastro por material argiloso.

**Conclusões :** O GPR se revelou capaz de detectar os trechos da ferrovia onde ocorreram impregnações de argila oriundas de fluxos de lama, o que é muito importante para a manutenção preventiva da via. O lastro, que é um meio bifásico, formado pela brita e o ar dos espaços vazios, apresenta uma velocidade de propagação do pulso de radar de aproximadamente 0,16 m/ns. Nas áreas contaminadas pelos fluxos de argila, o meio se torna trifásico ou tetrafásico ( brita, argila, ar e água), e a velocidade cai para 0,9 m/ns, o que necessariamente vai afetar o padrão de reflexão e ser perceptível nos radargramas. O GPR também detectou trechos na EFVM onde ocorreram variações, mais precisamente, aumentos na espessura do lastro; detectou ferragens associadas à sistemas para mudanças de rotas, bem como zonas alagadas. A impregnação do lastro ocorreu em janeiro de 2003, segundo a gerência de manutenção, quando ocorreram fortes chuvas na região e as águas pluviais geraram fluxos de lama, a partir de taludes próximos, os quais atravessaram o lastro depositando o material argiloso. Enfim, o GPR fornece uma visão clara e dinâmica dos problemas (contaminação, alagamento, etc.) que podem estar afetando as subestruturas, e assim se tornar uma ferramenta para o controle de qualidade do lastro, sem a necessidade de interrupção do tráfego.

## Referências :

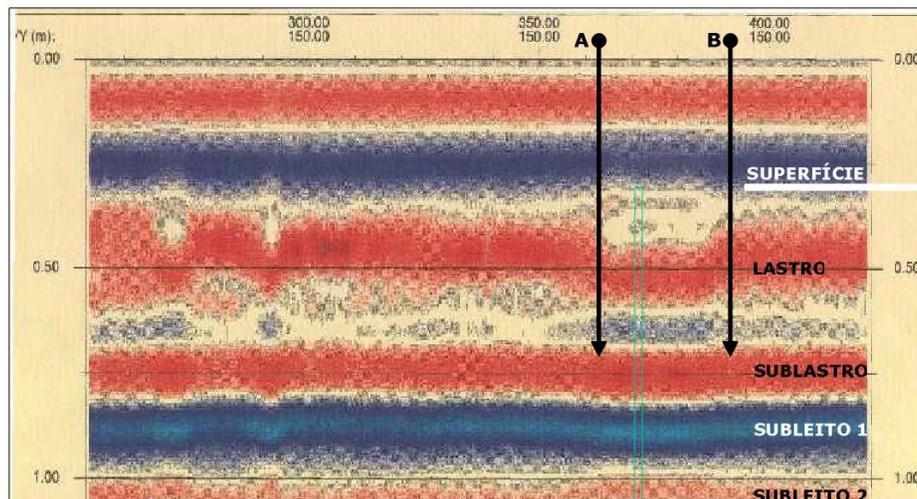
- Gallagher, G. P., Leiper, Q., Williamson, R., C , M. R. & Forde, M.C., 1999.** The application of time domain ground penetrating radar to evaluate railway track ballast. NDT&E International, **32**: 463-468.
- Jack, R. & Jackson, P., 1999.** Imaging attributes of railway track formation and ballast using ground probing radar. NDT&E International, **32**: 457-462.

Narayan, R.M., Kumke, C. J. & Li, D., 2001, Railroad track substructure monitoring using Ground Penetrating Radar (GPR). Rail International, v. 32, no.1, 28-34.

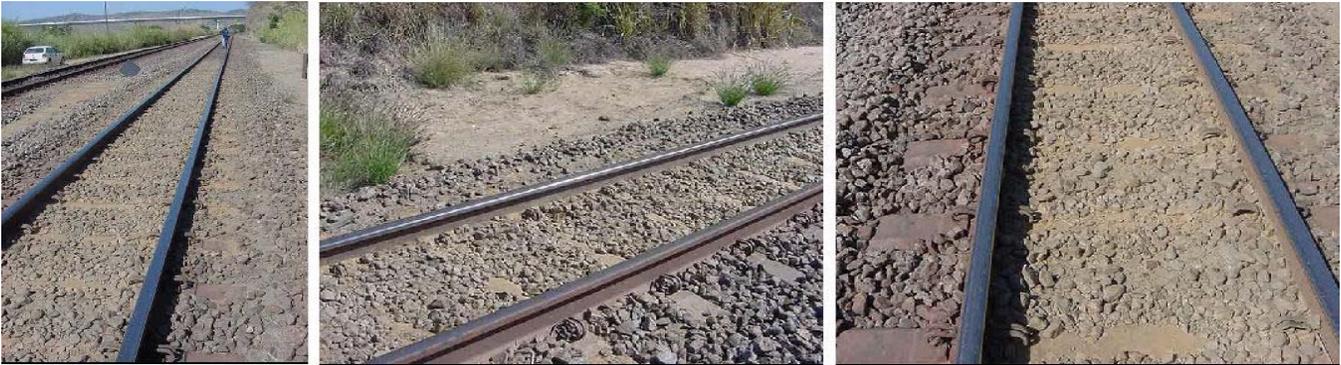
Olhoeft, G.R., & Selig, E.T., 2002. Ground Penetrating Radar Evaluation of Railway Track Substructure Conditions. Proc. of the 9<sup>th</sup> Int. Conference on Ground Penetrating Radar, 188-193.



**Figura 01** – (a) antena de 200 MHz, (b) carro ferroviário com antena acoplada e (c) vista superior mostrando o posicionamento da antena entre os trilhos e acima do lastro e dormentes.



**Figura 02** – Radargrama em profundidade enfatizando a maior anomalia (entre A e B), com 30 metros de comprimento, a qual provoca um efeito de *pull-down* nos refletores subjacentes.



**Figura 03** – (a) e (b) Vista superior da impregnação de lama no lastro da via férrea; e (c) detalhe



**Figura 04** – (a) Escavação transversal no km 212 + 950 m; (b) perfil vertical mostrando as camadas constituintes da subestrutura da ferrovia, revelando um lastro e um sub-lastro totalmente impregnado de argila.