



1º  
EN  
CON  
TRO

FERROVIAS  
UMA NOVA  
VISÃO

22  
MAIO  
2018

Cidade  
Universitária  
Prédio de  
Administração  
da POLI

Apoio:



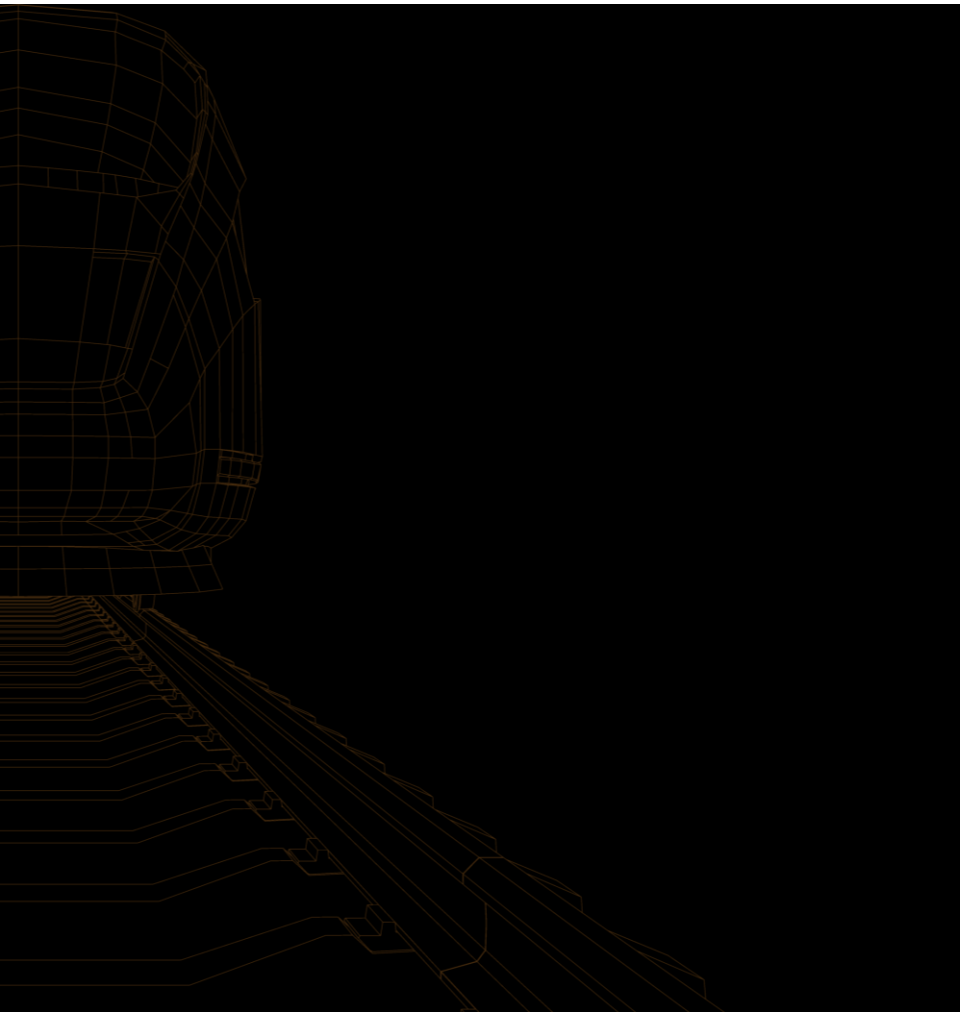
Realização:

Muniz & Spada

engenheiros consultores ltda.



# Avaliação do pavimento ferroviário com GPR e TQI



*de Almeida – VLI Logística*

*Silva – MunizSpada*

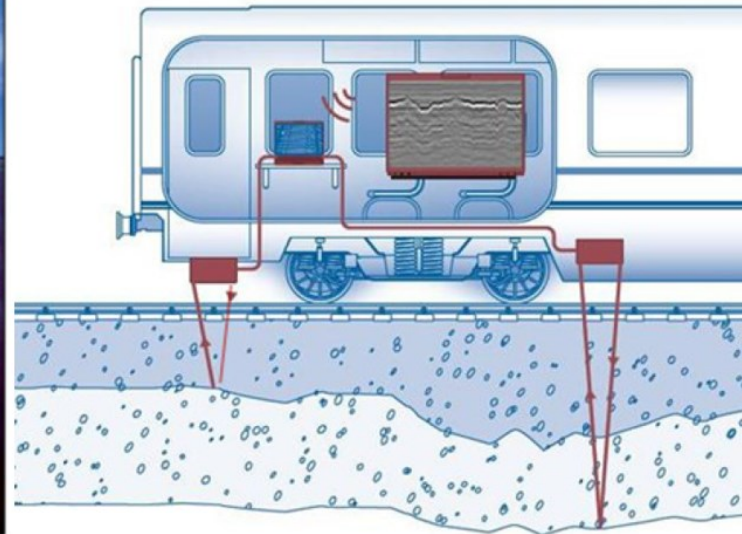
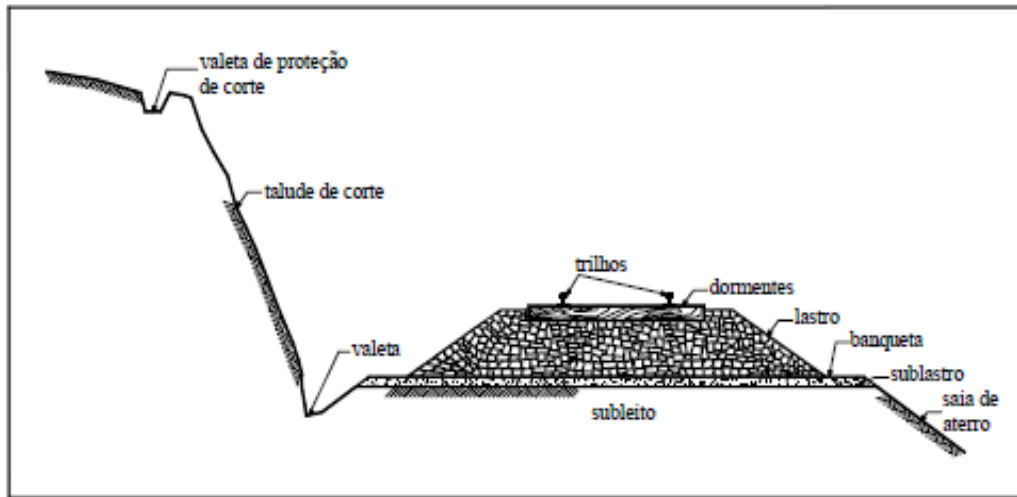
*es - Technicontrol*

*uito – MunizSpada*

*o - IDS*

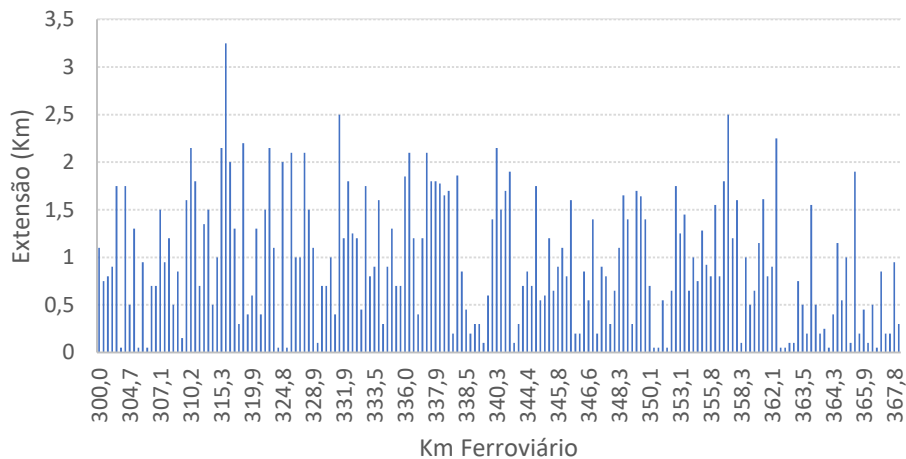


# Contextualização

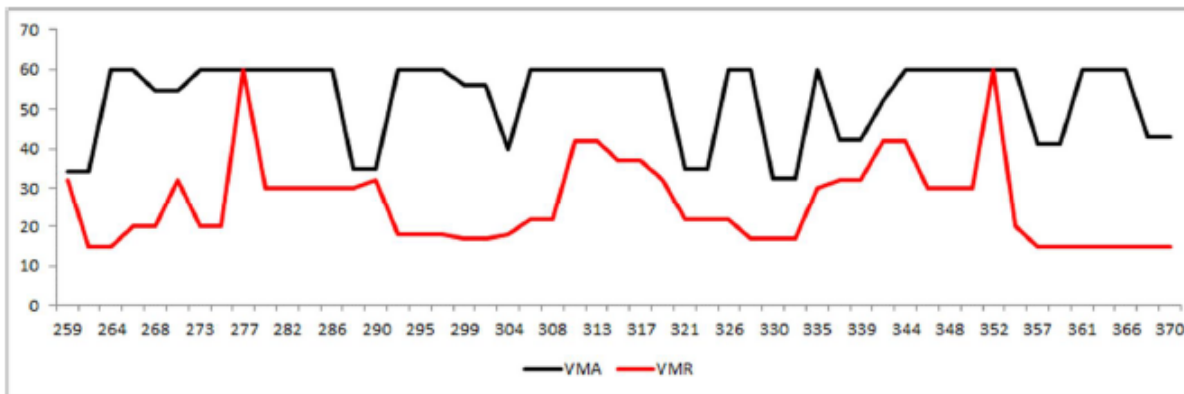
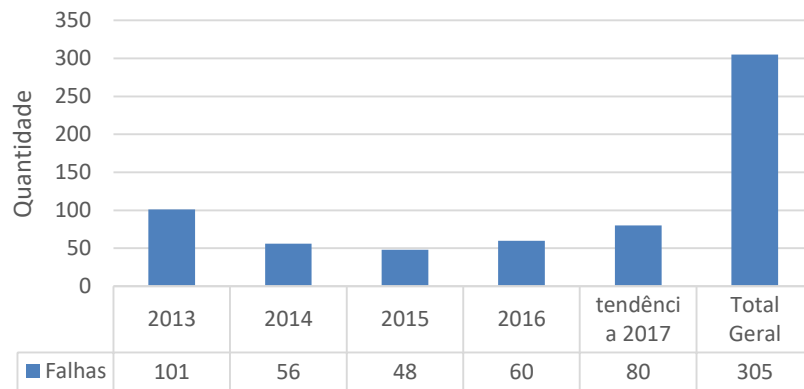


# Identificação do Problema

Serviços de socaria 2015 a 2017 - Aguaí

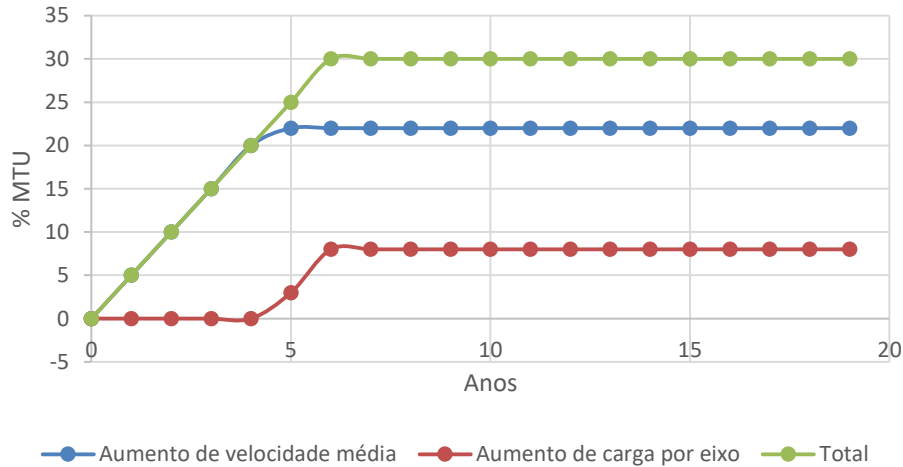


Falhas de VP no corredor CS

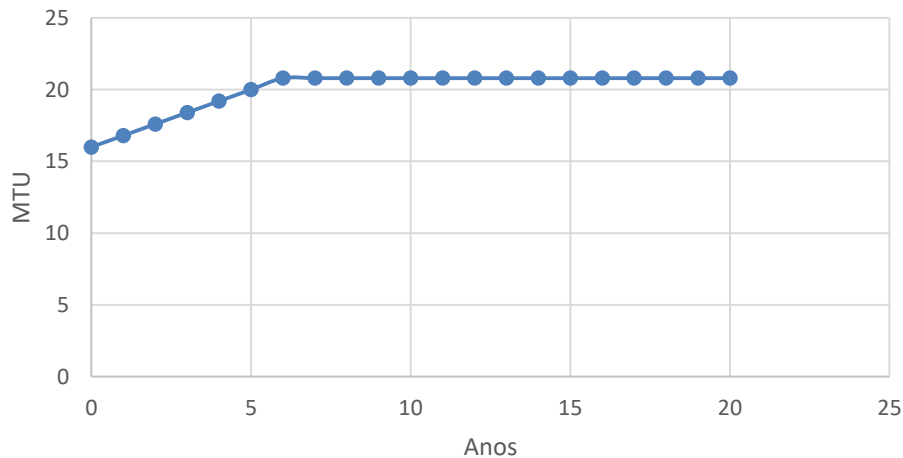


# Indicador Tonelada Útil Transportada (TU)

## Fatores para aumento de capacidade



## Aumento de capacidade no corredor CS Paulista



# Objetivo



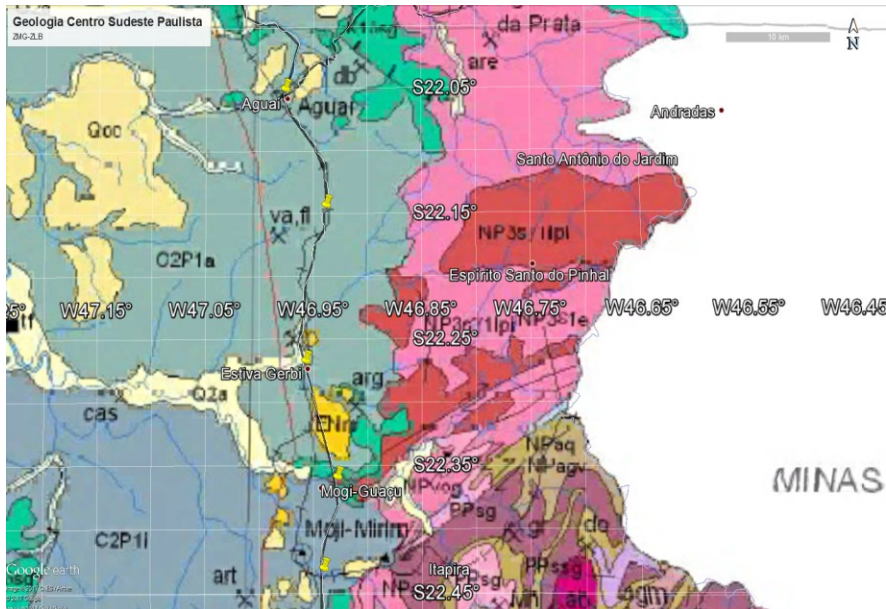
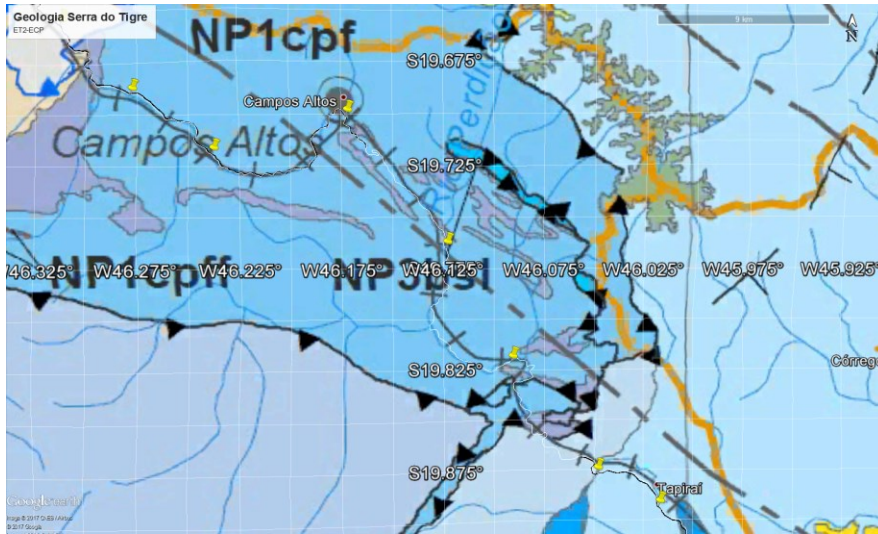
Apresentar o estudo desenvolvido para avaliação da aplicabilidade do GPR com foco na mecânica dos pavimentos ferroviários dos Corredores Centro-Leste e Centro-Sudeste na Ferrovia Centro Atlântica (FCA).

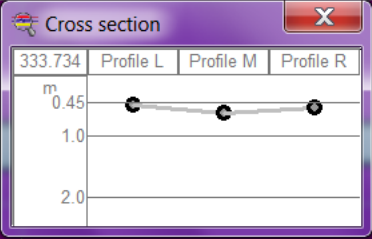
## Objetivos específicos

- Verificar se os resultados são aplicáveis na priorização de trechos a serem desguarnecidos.
- Identificar correlações entre os resultados do GPR e a degradação da via permanente (TQI).
- Levantar trechos que requerem manutenção e melhorias nos seus sistemas de drenagem.
- Calibrar os resultados de GPR com ensaios de DCP.



# Metodologia







KM/M	Tendência	000-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
356	→									1,003	0,287
357	→	0,303	1,621	0,313	0,345	1,543	0,313	0,522	0,268	0,330	0,063
358	→	0,085	0,072								
ZMQ-ZAI [358,113 - 368,851] 17/03/2017 Ciclo 2											
KM/M	Tendência	000-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
358	→		0,065	0,071	0,145	0,105	0,922	0,433	0,707	0,303	0,262
359	→	0,252	0,407	0,131	0,193	0,314	0,432	0,388	0,443	0,540	0,304
360	→	0,455	0,463	0,130	0,414	0,294	0,331	0,395	0,173	0,278	0,149
361	→	0,092	0,331	0,220	0,635	0,487	0,403	0,382	0,365	0,412	0,489
362	→	0,529	1,241	1,083	0,939	0,838	1,402	1,030	1,094	0,778	1,742
363	→	0,951	0,442	0,477	0,787	0,983	0,641	0,644	0,504	0,734	0,862
364	→	1,438	0,728	0,463	0,330	0,532	0,928	0,225	0,163	0,141	0,448
365	→	1,416	0,300	0,297	0,239	0,562	0,608	0,546	1,038	1,086	0,638
366	→	0,233	0,608	1,174	0,392	0,561	0,544	0,516	1,231	2,129	1,383
367	→	1,066	1,167	0,628	1,382	0,534	0,453	0,583	0,852	0,225	0,328
368	→	0,948	0,868	0,436	0,557	0,490	0,667	0,380	0,129	0,045	
ZAIP [368,851 - 370,001] 17/03/2017 Ciclo 2											
KM/M	Tendência	000-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
368	→									0,286	0,295
369	→	0,292	0,332	0,269	0,611	0,305	0,357	0,612	0,094	0,036	0,051
370	→	0,000									

### Limites inferiores da faixa de TQI-IRC

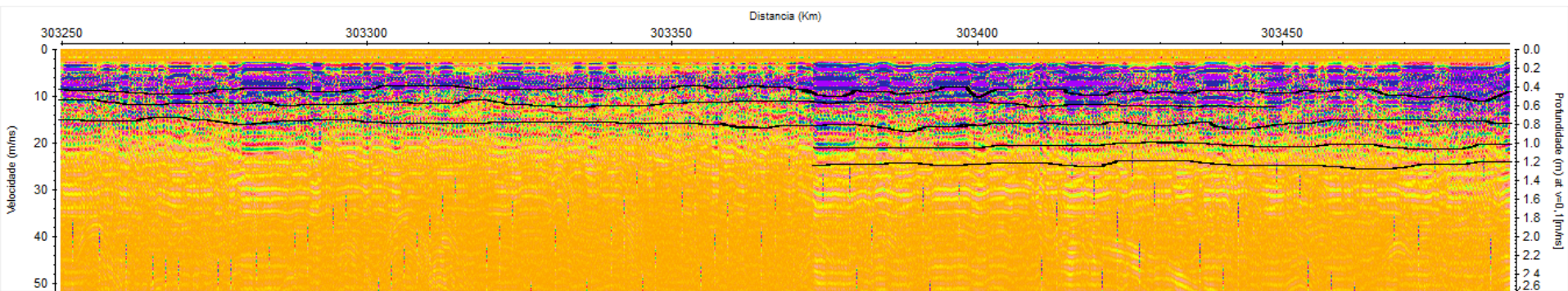
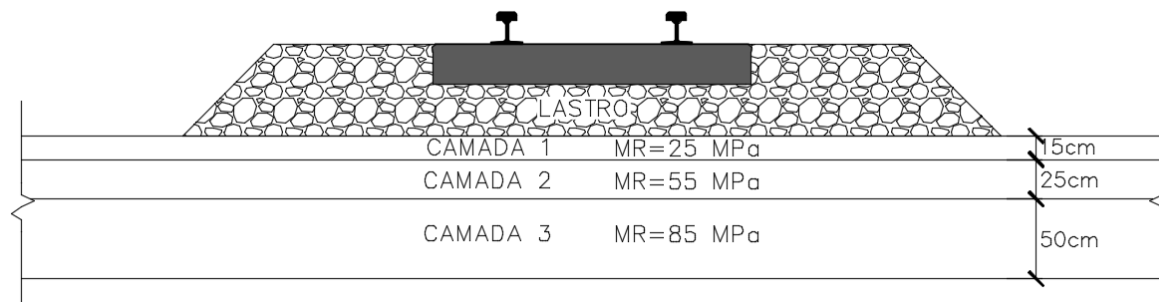
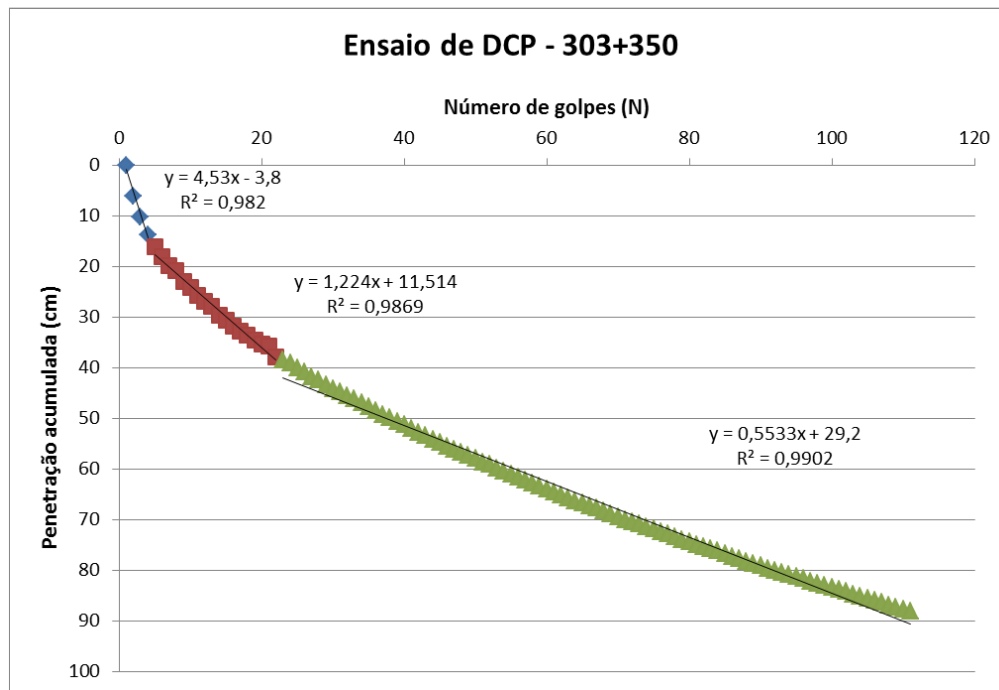
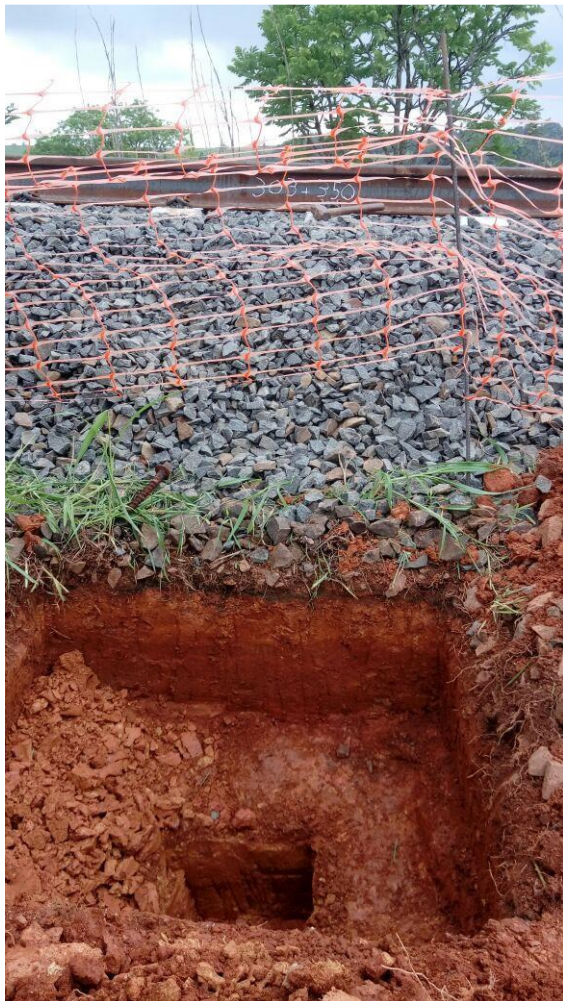
Grandeza	Bom	Regular	Ruim	Crítico
Bitola aberta	0,000	0,900	1,500	2,000
Torção Curta	0,000	0,900	1,500	2,000
Torção Longa	0,000	0,900	1,500	2,000
Superelevação	0,000	0,900	1,500	2,000



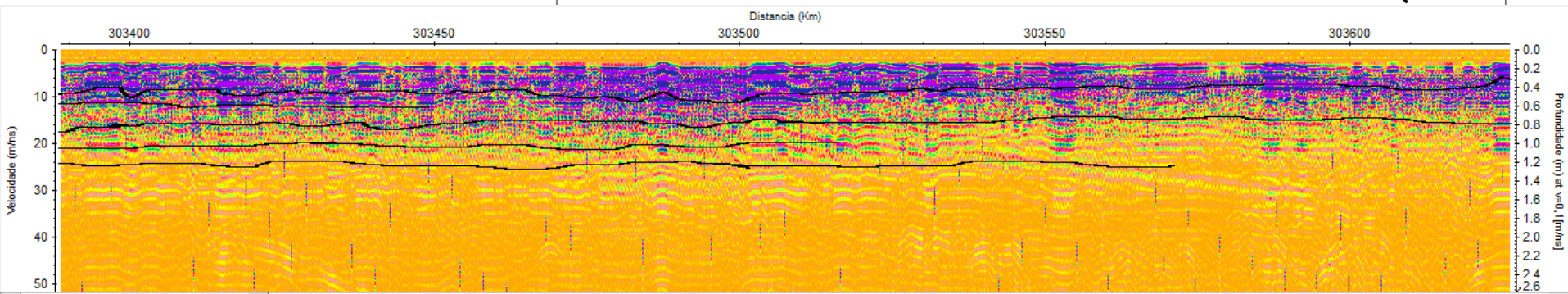
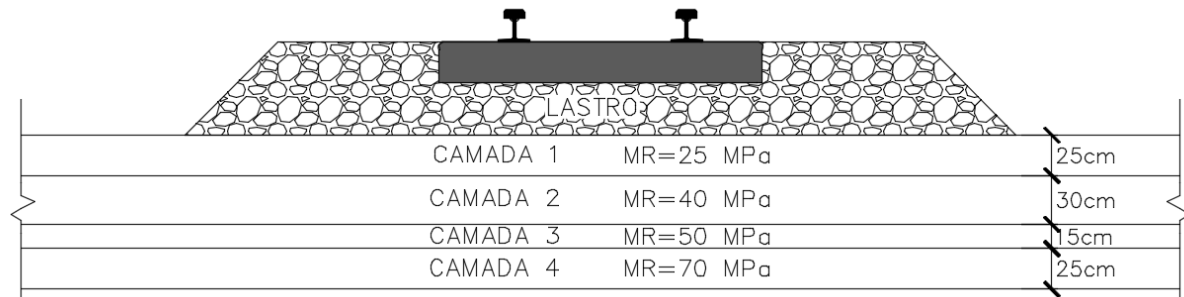
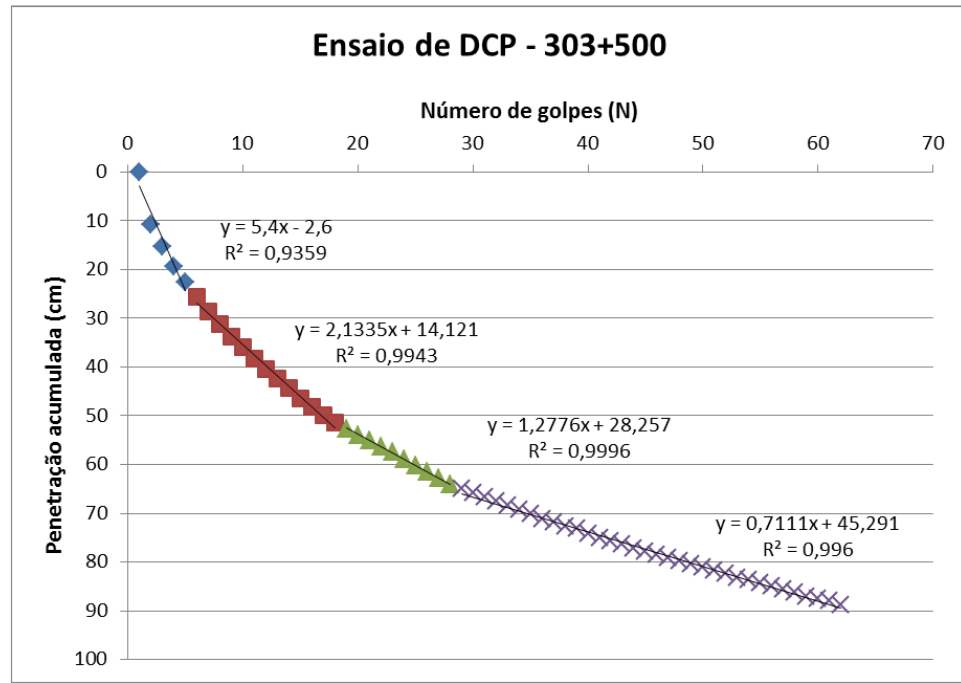
# Resultados

GPR	Bom	Regular	Ruim	Crítico
Umidade plataforma	1%	6%	44%	49%
Umidade do lastro	0%	6%	45%	49%
Ondulação	0%	99%	1%	0%
Colmatação	0%	0%	0%	100%

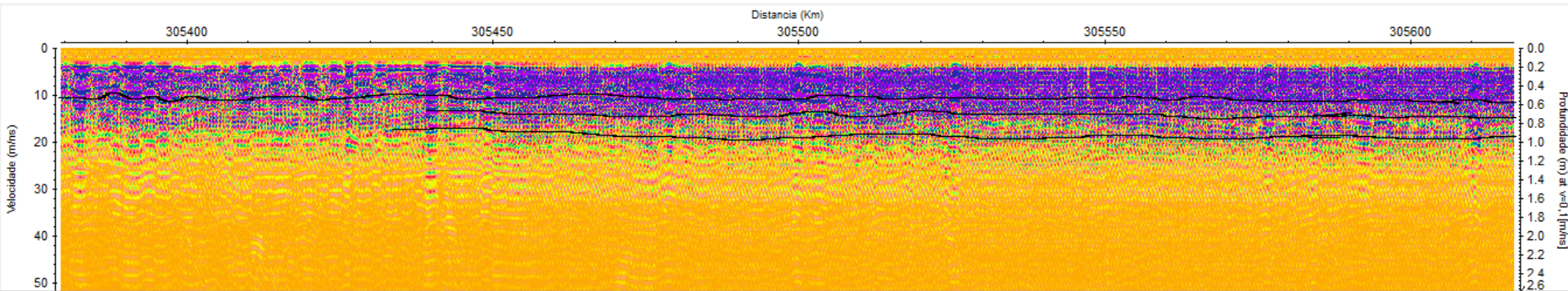
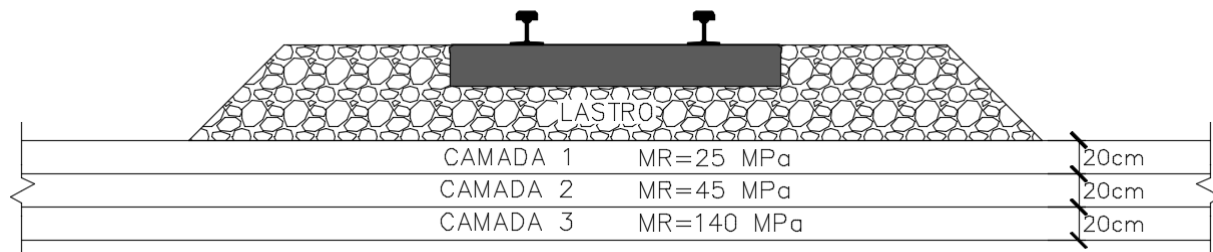
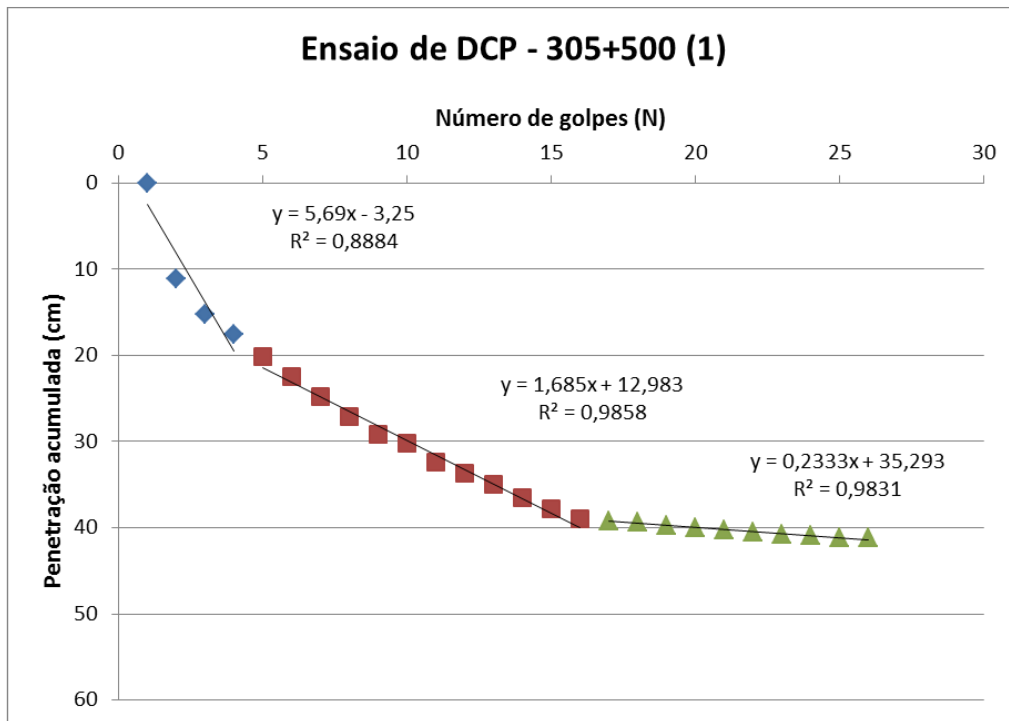
TQI	Bom	Regular	Ruim	Crítico
Empeno	90%	7%	1%	2%
Torção	62%	27%	4%	7%
Superelevação	61%	29%	5%	5%
Bitola	91%	5%	1%	3%



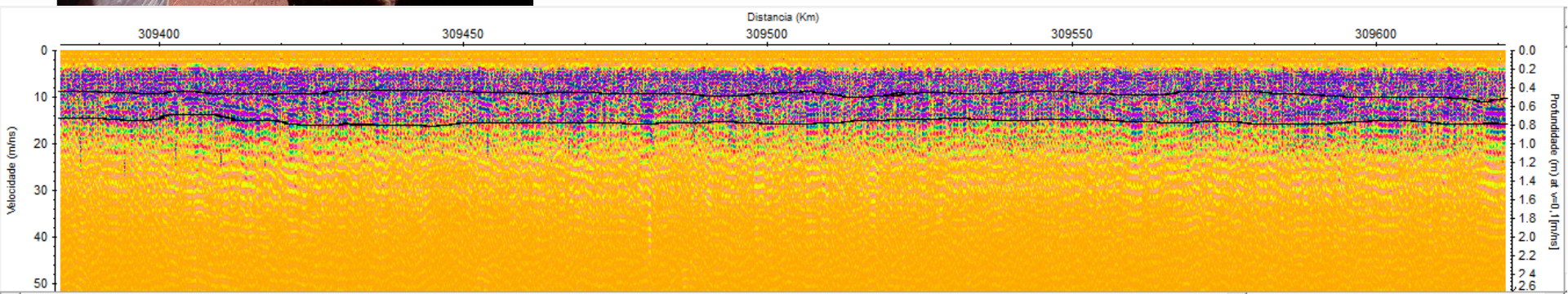
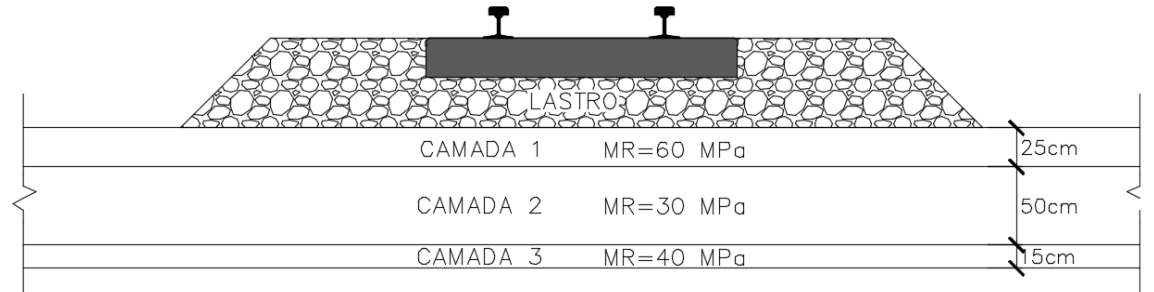
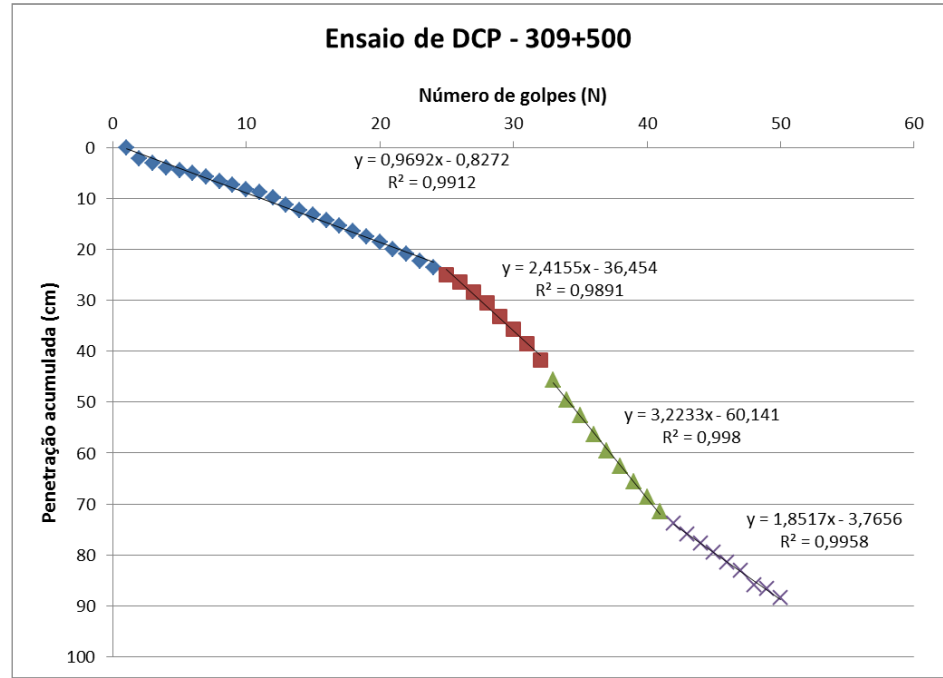
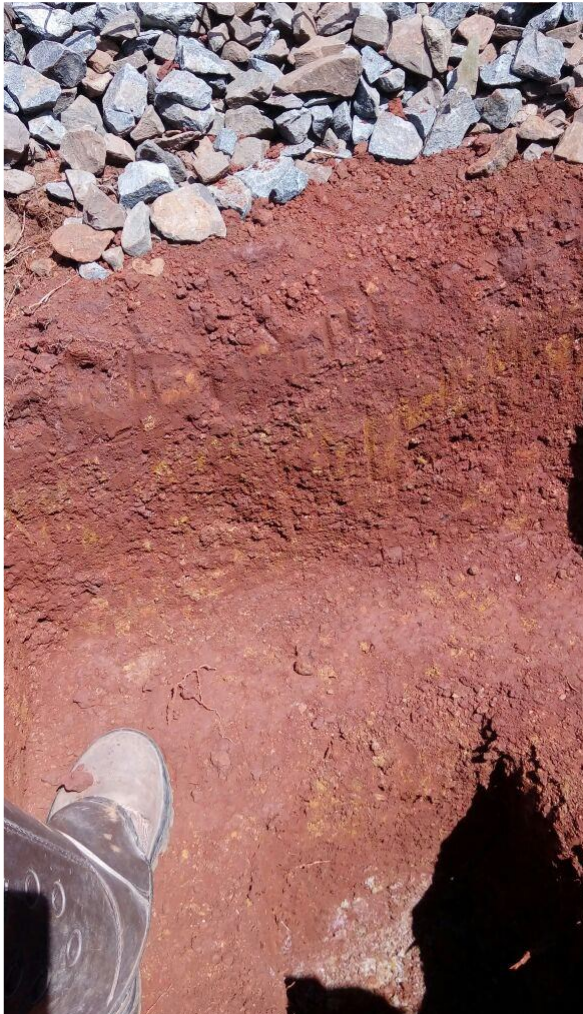




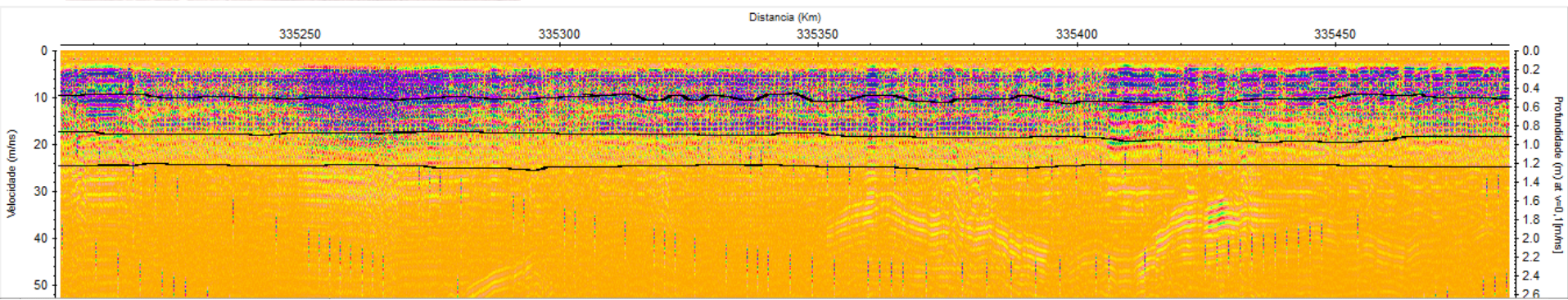
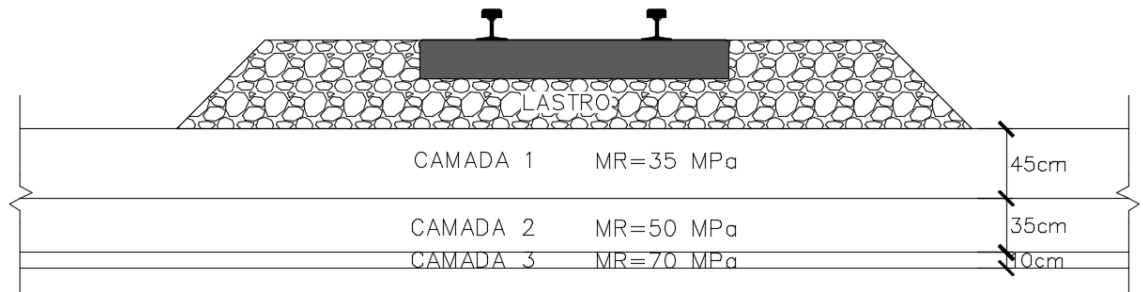
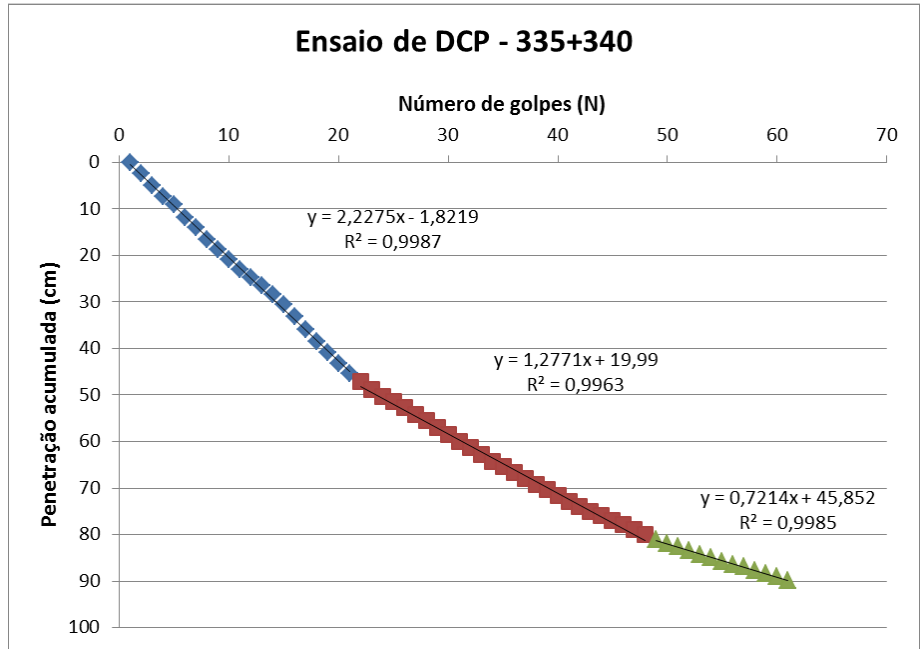








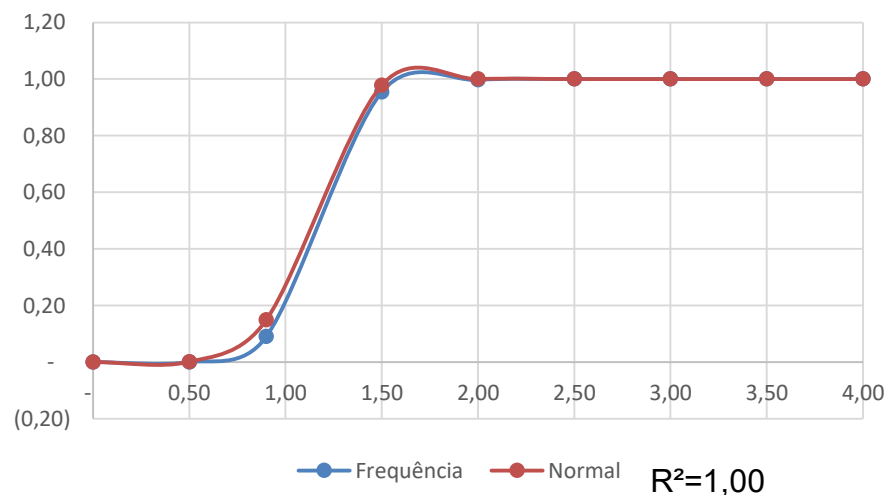




Método	DCP		TQI						GPR						Priorização	
Local	MR	H	Empen o	Torção	Supere lev.	Bitola	TQI Pond.	TQI Média	W plata	W lastro	Ondula ção	Colmat ação	GPR Pond.	GPR média	Médias	Prioriz ação
Km 303+350	25	15	0,39	1,07	1,06	0,22	0,68	0,68	7,00	6,00	4,00	4,00	1,75	1,75	1,22	1,22
Km 303+500	25	25	0,24	1,50	1,44	0,45	0,91	0,91	7,00	7,00	4,00	4,00	1,80	1,83	1,37	1,35
Km 305+500	25	20	0,32	0,89	0,84	0,71	0,69	0,69	7,00	7,00	5,00	4,00	1,85	1,92	1,30	1,27
Km 309+440	30	30	0,62	1,28	1,14	0,41	0,86	0,86	7,00	7,00	4,00	4,00	1,80	1,83	1,35	1,33
Km 314+100	30	25	1,35	1,66	2,17	0,33	1,38	1,38	7,00	7,00	4,00	4,00	1,80	1,83	1,60	1,59
Km 309+500	60	25	0,62	1,43	1,47	0,81	1,08	1,08	7,00	7,00	4,00	4,00	1,80	1,83	1,46	1,44
Km 321+400	55	25	0,30	0,90	0,55	0,28	0,51	0,51	6,00	7,00	4,00	4,00	1,65	1,75	1,13	1,08
Km331+400	40	70	0,32	0,56	0,69	0,36	0,48	0,48	6,00	7,00	4,00	4,00	1,65	1,75	1,12	1,07
Km 339+000	40	30	0,05	0,09	0,13	0,12	0,10	0,10	6,00	6,00	4,00	4,00	1,60	1,67	0,88	0,85
Km 335+340	35	45	0,44	0,91	0,80	0,25	0,60	0,60	5,00	5,00	4,00	4,00	1,40	1,50	1,05	1,00
<b>Ponderação</b>			1,00	1,00	1,00	1,00			3,00	1,00	1,00	1,00				
<b>Correlações TQI</b>	-12%	-31%	85%	95%	98%	48%	100%	100%	60%	42%	-4%		57%	51%	97%	97%
<b>Correlações GPR</b>	-22%	-52%	31%	54%	55%	59%	57%	57%	97%	80%	36%		100%	97%	74%	76%
<b>Correlações TQI+GPR</b>	-17%	-41%	77%	92%	95%	57%	97%	97%	78%	58%	8%		76%	70%	100%	100%

Probabilidade acumulada TQI+GPR

Correlações	Média
TQI	0,65
GPR	0,63
TQI+GPR	0,71



	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000
KM/M	000-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
301,000										
302,000	1,8476	1,6632	1,6124	1,7542	1,844	1,4566	1,604	1,8993	1,9624	2,00922
303,000	1,0882	1,0615	1,0654	1,2101	1,3048	1,2119	1,3526	1,1663		
304,000	1,0981	1,1634	1,0409	1,1683	1,1994	1,2561	1,1357	1,0744	1,0819	1,35394
305,000	1,0835	1,0653	1,1682	1,0777	1,1136	1,1823	1,0834	1,0623	0,9973	1,00856
306,000	1,0099	1,0069	1,1567	1,0308	1,1866	1,7036	1,3737	1,1634	1,3401	1,51878
307,000	1,2793	1,1945	1,0973	1,1379	1,0844	1,0513	1,1728	1,1143	1,0741	1,15561
308,000	1,0791	1,1411	1,2127	1,0437	1,2185	1,1156	1,0732	1,0972	1,1843	1,24283
309,000	1,2743	1,0339	1,4471	1,2567	1,3501	1,3566	1,4311	1,2337	1,1103	1,12917
310,000	1,2497	1,1381	1,0531	1,0168	1,0756	1,0563	1,1398	1,0373	1,0306	1,26256
311,000	1,2295	1,0816	1,0896	1,0496	1,0863	1,1309	1,0737	1,1991	1,028	1,00861
312,000	1,2474	1,0959	1,1494	1,2386	1,0834	1,1583	1,0667	1,1767	1,1168	1,29939

Limite máx.	Quantidade	Frequência	Acumulada	Decrescente	Prioridade	Comprimento (km)
-	0	-	-	1,00		0,000
0,50	0	-	-	1,00	4	0,000
0,90	59	0,09	0,09	1,00	3	5,900
1,50	567	0,86	0,95	0,91	2	56,700
2,00	28	0,04	1,00	0,05	1	2,800
2,50	2	0,00	1,00	0,00	0	0,200
3,00	0	-	1,00	-	0,00	0,000
3,50	0	-	1,00	-	0,00	0,000
4,00	0	-	1,00	-	0,00	0,000
4,50	0	-	1,00	-	0,00	0,000
<b>Total</b>	656	1,00				65,600

# Gestão de manutenção do pavimento ferroviários

Cenário	C1	C2	C3	C4
Trilho	TR 57	TR 68	TR 68	TR 68
Dormente	Madeira	Concreto	Concreto	Concreto
Carga por eixo	25t	25t	25t	27,5t
Desguarnecimento	Não	Não	Sim	Sim
Reforço	Não	Não	Não	Sim
Preventiva (infra)	Não	Não	Sim	Sim
GPR	Não	Não	Não	Sim

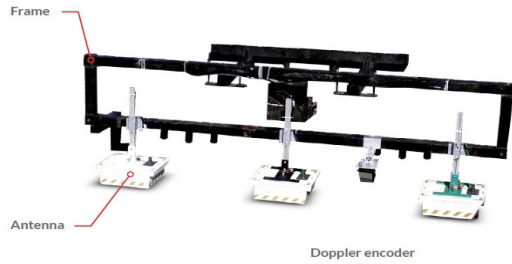
  

Cenário	C1	C2	C3	C4
Investimentos	0	1	3	2
Custos de Manutenção	3	3	1	1
Risco operacional	3	3	1	1
Somatório	6	7	5	4





# Gestão de manutenção do pavimento ferroviários



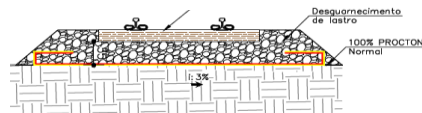
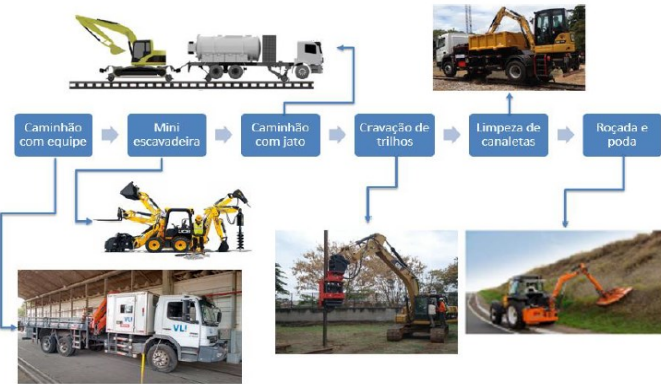
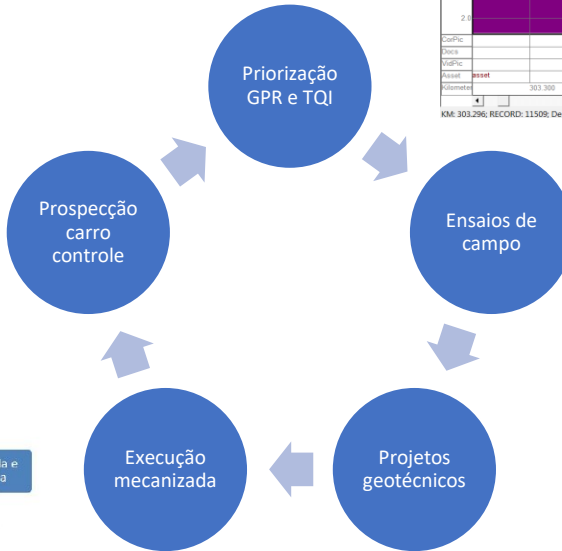
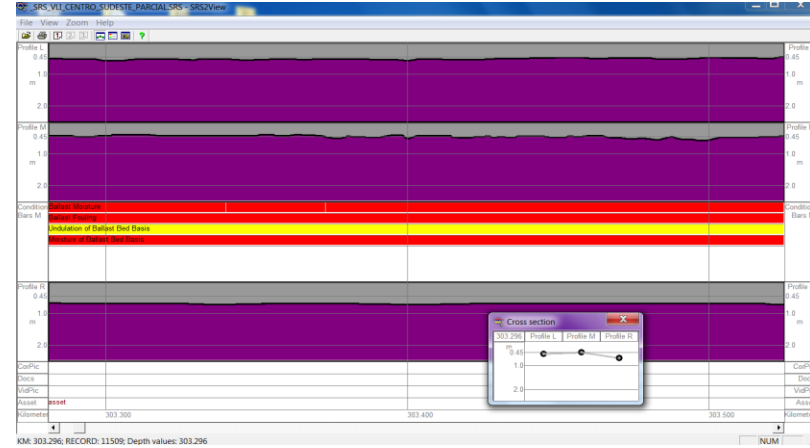
Doppler encoder



Data logger



SRS Radar control unit



DETALHE — GEOTÊXTIL E GEOGRELHA

ESC. 1:50



# Conclusão

## Aprendizados obtidos

- Pavimentos ferroviários são a base da ferrovia
- Seu desempenho está relacionado à degradação da geometria de via
- Possui um alto potencial de ganho para manutenção de via permanente

## Estudos futuros

- Obter módulos de resiliência e deformação permanente
- Correlações com módulo de via
- Realizar testes com antenas de 2 GHz
- Desenvolver um sistema de gestão dos pavimentos para VLI
- Avaliar sua aplicação em todos corredores da empresa



# Referências

- AL-QADI, Imad L.; XIE, Wei; ROBERTS, Roger. Scattering analysis of ground-penetrating radar data to quantify railroad ballast contamination. **NDT & E International**, v. 41, n. 6, p. 441-447, 2008.
- AREMA, American Railway Engineering and Maintenance of Way Association: “**Manual for Railway Engineering**”. Lanham, USA, 2013.
- BRASTAM, Tecnologia Ferroviária Ltda. Manual de operação e manutenção. **Veículo de Inspeção de Geometria de Via Permanente SolidTrack**. São Paulo, 2013.
- BRINA, Helvécio Lapertosa. Estradas de Ferro-Vol. 1. **Rio de Janeiro, RJ, Livros Técnicos e Científicos Editora S/A**. Belo Horizonte, 1983.
- CARVALHO, Saint Clair. **Estradas de Ferro**. Central do Brasil, 1929.
- CERATTI, J. A. P & GONÇALVES, F. P. “Utilização do Ground Penetrating Radar na Avaliação de Pavimentos”. **31ª Reunião Anual de Pavimentação**, São Paulo-SP. Anais. Volume 1. Pág. 390-404. 1998.
- CLARK, M R, GILLESPIE, R, KEMP, T, MCCANN, D M & FORDE, M C. Electromagnetic properties of railway ballast. **NDT & E International**, 34: 305–311. 2001.
- CPRM–Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Mapa Geológico de Minas Gerais. **Belo Horizonte: CPRM/COMIG**, 2014.
- CPRM–Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. **Ministério de Minas e Energia–Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília**, 2006.
- DANIELS, David J. Surface-penetrating radar. **Electronics & Communication Engineering Journal**, v. 8, n. 4, p. 165-182. London, 1996.
- DAVIS, J.L. & ANNAN, A.P. Ground Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, 37: 531-551. 1989.
- DOGNETON, P. Axial and lateral track ballast resistance. **Railroad Track Mechanics and Technology, Pergammon Press, New York**, 1978.
- ERIKSEN, Asger; GASCOYNE, Jon; FRASER, Ron. Ground penetrating radar as part of a holistic strategy for inspecting trackbed. **Australian Geomechanics Society**. Adelaide, Austrália. 2011.
- FREITAS, R. G. Aplicação e teste de geogrelhas aplicadas em trecho ferroviário da EFVM. Engenharia Ferroviária. Vale. 2015.



- GÖBEL, C.; HELLMANN, R.; PETZOLD, H. Georadar-model and in-situ investigations for inspection of railway tracks. In: **Fifth International Confidential on Ground Penetrating Radar**. Kitchener, Canada, 1994.
- HAY, William W. **Railroad engineering**. John Wiley & Sons. Urbana, Illinois, USA, 1982.
- HYSLIP, J P, SMITH, S S, OLHOEFT, G R & SELIG, E T. **Assessment of railway track substructure condition using ground penetrating radar**. Paper presented at AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association) International Conference, 5–7 October, Chicago. 2003.
- HYSLIP, J.; TROSINO, M.; CRAFT, M. Substructure maintenance management: A two-decade update. Proc. **11th International Heavy Haul Railway Conference, International Heavy Haul Association**, Cape Town, South Africa, 2017.
- KISH, Andrew. On the fundamentals of track lateral resistance. **American Railway Engineering and Maintenance of Way Association**. Lanham, USA, 2011.
- LOPES, O. A.; MOTTA, L. M. G.; FRITZEN, M. A. Aplicação do GPR (Ground Penetrating Radar) em Pavimentos – Um Estudo Associado a Intervalos de Deflexão. **Associação Brasileira de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2009.
- MUNIZ DA SILVA, Luiz Francisco. **Fundamentos teórico-experimentais da Mecânica dos Pavimentos Ferroviários e esboço de um sistema de gerência aplicado à manutenção da via permanente..** Tese de Doutorado–COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2002.
- NCHRP. National Cooperative Highway Research Program- NCHRP Synthesis 255 – “**Ground Penetrating Radar for Evaluating Subsurface Conditions for Transportations Facilities**”. Transportation Research Board. 1998.
- PAIVA, C. E. L.; Souza, J. L. A. O.; ALMEIDA, L. C.; AGUIAR, P. R.; CORREIA, L. F. M. Stresses Analysis on a Rail Part. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 7, n. 8, p. 964. Brasil. 2013.
- PEREIRA DE ALMEIDA, Rodrigo. **DT VIA 7988 - Avaliação do sistema SRS para análises de lastro e plataforma**. Biblioteca da VLI, Belo Horizonte, 2016.
- PIRES, D. C. F. DT VIA 12719 – Metodologia de análise e retirada de restrição. Biblioteca da VLI. Belo Horizonte, Brasil. 2017.
- ROBINSON, S. MICHAUD, Y. Ground penetrating radar. In: **Handbook of Geophysical Techniques for Geomorphic and Environmental Research**. Gilbert, B. Editor, Open file 3731, Geological Survey of Canada. 1999.
- RODRIGUES, Carlos Alceu. **Contribuição ao planejamento da manutenção preditiva da superestrutura ferroviária**. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia de Transportes–PET-COPPE–UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.
- ROGHANI, Alireza; HENDRY, Michael T. Quantifying the Impact of Subgrade Stiffness on Track Quality and the Development of Geometry Defects. **Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems**, v. 143, n. 7, p. 04017029, Canada, 2017.

- SAARENKETO, Timo. **Electrical properties of road materials and subgrade soils and the use of ground penetrating radar in traffic infrastructure surveys**. Department of Geosciences, University of Oulu : Oulu Press Finlândia: 2006.
- SANTOS, Raulison. **DT VIA 1583 – Estruturação do processo de input de manutenção de via permanente com base nos dados de inspeção do carro controle**. Biblioteca da VLI, Belo Horizonte, 2014.
- SELIG, Ernest Theodore; WATERS, John M. **Track geotechnology and substructure management**. Thomas Telford, England, 1994.
- Selig, E. 1997. Substructure Maintenance Management. Proc. **6th International Heavy Haul Railway Conference, International Heavy Haul Association**, Cape Town, South Africa, April.
- SILVAST, M, LEVOMAKI, M, NURMIKOLU, A, & NOUKKA, J. NDT techniques in railway structure analysis. Proceedings, **7th World Congress on Railway Research**, 4 – 8 June, Montreal, Canada, p 12. 2006.
- SILVAST, M. et al. An inspection of railway ballast quality using ground penetrating radar in Finland. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit**, v. 224, n. 5, p. 345-351, Finlândia, 2010.
- SUSSMAN, T R, SELIG, E T & HYSLIP, J P. Railway track condition indicators from ground penetrating radar. **NDT & E International**, 36(3): 157–167. 2003.
- TALBOT, A. N. (1918). Stresses in railroad tracks. Report of the Special Committee on Stresses in Railroad Track, American Railway Engineering Association (AREA).
- VOGELSANG, D. Environmental Geophysics, **A Pratical Guide**, Alemanha, Springer-Verlag, 173 p. 1995.
- VORSTER, Daniel Jacobus; GRÄBE, P. J. The use of ground-penetrating radar to develop a track substructure characterization model. **Journal of the South African Institution of Civil Engineering**, v. 55, n. 3, p. 69-78, Pretoria, 2013.
- ZAREMBSKI, Allan M. Implementation of a Track Substructure Support System to Address Track Supports Problems on Amtrak's' High Speed Northeast Corridor. In: **Transportation Research Board Annual Meeting**. New York, 2013.
- ZAREMBSKI, Allan M.; GRISSOM, G. T.; EUSTON, T. L. Use of ballast inspection technology for the prioritization, planning and management of ballast delivery and placement. In: **American Railway Engineering Association Annual Conference, Indianapolis, IN**, 2013.
- ZAREMBSKI, Allan M.; GRISSOM, Gregory T.; EUSTON, Todd L. On the Use of Ballast Inspection Technology for the Management of Track Substructure. **Transportation Infrastructure Geotechnology**, v. 1, n. 1, p. 83-109, New York, 2014.



# OBRIGADO

Nome: Rodrigo Pereira de Almeida

E-mail: [rodrigo.almeida@vli-logistica.com.br](mailto:rodrigo.almeida@vli-logistica.com.br)

Ramal: (31) 3279-5919