



## Aspectos geológico-geotécnicos na concepção de traçados viários visando redução de impactos ambientais

A.L.C.F. Gallardo<sup>1</sup> & L.E. Sánchez<sup>2</sup>

1 Dr.<sup>a</sup>. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas. Laboratório de Recursos Hídricos e Avaliação Geoambiental. Av. Prof. Almeida Prado, 532, prédio 59. São Paulo. SP. CEP: 05508-901. amacafi@ipt.br

2 Dr. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. Av. Prof. Mello Moraes, 2373. São Paulo. SP. CEP: 05508-900. lsanchez@usp.br

**Abstract** The expansion of the biggest Brazilian cities has exerted strong pressure on sensitive environments, whose integrity is essential to assure life quality. The knowledge of the geologic context of these environments can contribute to avoid the impacts and risks associate with enterprises and others initiatives. The case of the descending roadway of the Imigrantes highway, whose construction ended in December 2002 in a highly sensitive environment – Serra do Mar features steep slopes covered by Atlantic rainforest –, illustrates this issue. The knowledge of the geological and geotechnical characteristics has contributed to adjust the project to the Serra do Mar features. The most significant modification was to reroute the road alignment, thus reducing vegetation removal, exposure of naked soil to erosion and potential landslides and protecting water resources. This case shows how the knowledge of the geological and geotechnical characteristics can help to developmental stages of project that decreases harmful impacts. Lessons learned through this case provide some conclusions that can be used and adapted to similar projects in different Brazilian cities.

**Palavras-chave:** Impacto ambiental, rodovia dos Imigrantes, aspectos geológico-geotécnicos, túnel, Serra do Mar.

A expansão dos grandes centros metropolitanos brasileiros tem exercido forte pressão sobre áreas de grande importância ambiental, cuja integridade é essencial para assegurar qualidade de vida. Na Região Metropolitana de São Paulo estão presentes assentamentos irregulares em áreas de preservação de mananciais e em áreas com fragmentos florestais protegidos por lei. Aos impactos ambientais diretos causados por esses assentamentos associam-se, também, os desencadeados pela expansão, mal-planejada, do sistema viário que os serve. Por outro lado, grandes projetos de engenharia também interferem em áreas de relevância ambiental periurbanas, a exemplo do trecho sul do anel viário de São Paulo, que atravessa os dois principais reservatórios para abastecimento público municipal, cuja licença prévia foi aprovada pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado em fevereiro de 2006.

No campo do planejamento e desenvolvimento urbano, o entendimento do arcabouço geológico pode contribuir tanto na mitigação de impactos e recuperação de áreas degradadas associadas a esses empreendimentos e iniciativas não-formais, quanto, para auxiliar o processo de tomada de decisão sobre a viabilidade ambiental de novos empreendimentos.

Nesse contexto, o caso da pista descendente da rodovia dos Imigrantes é exemplar quanto ao reconhecimento dos aspectos do meio físico de sua área de inserção, o que foi decisivo para o desenvolvimento de um projeto de engenharia que reduziu o potencial do empreendimento de causar impactos ambientais significativos.

A maior parte do traçado da rodovia dos Imigrantes (Fig. 1) insere-se no Parque Estadual da Serra do Mar (PESM) formado por remanescentes da Mata Atlântica de elevada biodiversidade. Esse modelado de relevo caracteriza-se por encostas de altas declividades, em média superiores a 30%, suportadas por rochas migmatíticas, com perfil de manto residual descontínuo e não-uniforme, sendo típicos os depósitos de talus nas bases dessas vertentes. A feição tectônica regional mais importante refere-se à zona de cisalhamento de Cubatão (NE-SW). Essas características geológicas, geomorfológicas e pedológicas associadas às climáticas, ao regime das águas de superfície e de subsuperfície e à cobertura vegetal condicionam o desenvolvimento dos processos de movimentos de massa.



*Figura 1. Rodovia dos Imigrantes, em primeiro plano a pista descendente e em segundo, a ascendente*

A não-indução desses processos pela execução de obras, bem como a proteção das obras concluídas contra a ação desses processos são preocupações constantes no desenvolvimento de projetos viários na Serra do Mar. Em período anterior à consolidação da legislação ambiental no país essas apreensões eram basicamente de cunho econômico, buscando-se evitar custos devidos à interrupção das vias e de recuperação dos trechos afetados por esses processos. Para se ter dimensão da magnitude desses prejuízos monetários na atualidade cita-se que a Secretaria dos Transportes gastou R\$ 4,5 milhões ([www.saopaulo.sp.gov.br](http://www.saopaulo.sp.gov.br)) na recuperação da Estrada Caminho do Mar (Fig. 2), em 2003/2004, que devido às características técnicas do seu traçado possuía vários trechos comprometidos pela incidência de escorregamentos. Além dessa estrada, a grande corrida de massa que afetou o km 42 da Via Anchieta (Figs. 3 e 4), em 1999/2000, embora com valores não divulgados, causou grandes deseconomias ao poder público e à concessionária responsável pela sua operação, dadas as obras de estabilização realizadas e o tempo de interrupção da via, em plena época de feriado de fim de ano.



*Figura 2. Estrada Caminho do Mar. Canto direito: corrida de massa ocorrida em meados da década de 1990, a recuperação da pista pela construção de uma ponte ocorreu, em 2003/2004. Foto cedida por Álvaro R. Santos*



*Figura 3. Grande deslizamento na Serra do Mar, ocorrido em dezembro de 1999. Em primeiro plano, pista ascendente da rodovia dos Imigrantes e vale do rio Pilões*



*Figura 4. Detalhe desse deslizamento – km 42 da Via Anchieta. No canto direito da foto – remanejamento do traçado e retaludamento da encosta*



O entendimento dos aspectos geológico-geotécnicos no projeto de transposições de áreas serranas por obras lineares contribui não somente na redução de custos com manutenção e recuperação de obras, como na minimização de impactos ambientais. A evolução do projeto da pista descendente da rodovia dos Imigrantes reflete a internalização da variável ambiental em projetos de engenharia como reflexo da progressiva introdução de requisitos ambientais no país.

A preparação desse projeto pode ser dividida em quatro períodos (Gallardo 2004, Gallardo & Sánchez 2004, Sánchez & Gallardo 2005): (1) projeto inicial (a

pista ascendente da rodovia dos Imigrantes foi projetada no final da década de 60 e concluída em 1976; o projeto inicial da pista descendente é contemporâneo ao da ascendente); (2) projeto apresentado no Estudo de Impacto Ambiental (EIA), de 1988; (3) projeto submetido à obtenção da licença de instalação (LI), de 1999; (4) projeto executivo, também de 1999. A Tabela 1 apresenta as principais características técnicas desses projetos, problemas geológico-geotécnicos associados e soluções empregadas para atenuar os impactos diretos e indiretos relacionados.

Projeto	Características técnicas	Problemas geológico-geotécnicos	Soluções para minimização de impactos
Inicial (1960/70)	<ul style="list-style-type: none"><li>- 18 viadutos e 11 túneis</li><li>- viadutos com vãos pequenos</li><li>- túneis de pequena extensão</li><li>- traçado paralelo à pista ascendente em cotas inferiores</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- instabilidade de encostas</li><li>- grande número de emboques de túneis e pilares de viadutos</li><li>- maior necessidade de vias de acesso às frentes de obra</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- alteração na diretriz do traçado (porção interna da encosta de melhor qualidade geomecânica)</li><li>- aumento da extensão dos túneis</li><li>- menor número de viadutos</li></ul>
EIA (1988)	<ul style="list-style-type: none"><li>- 11 viadutos e 5 túneis</li><li>- viadutos com vãos entre os pilares pequenos</li><li>- túneis de maior extensão</li><li>- traçado em maciço de melhor qualidade geomecânica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- viaduto atravessando corpo de talus</li><li>- pilar de viaduto próximo a grande escorregamento</li><li>- grande número de pilares</li><li>- 2 viadutos a montante de captação pública</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- ajuste no traçado para retirada do viaduto em trecho de talus</li><li>- mudança de projeto, retirando o pilar das proximidades desta instabilização e recuperação geotécnica da mesma</li><li>- aumento do vão entre os pilares dos viadutos</li><li>- aumento da extensão de 1 túnel para suprimir 1 viaduto a montante de captação</li></ul>
LI (1999)	<ul style="list-style-type: none"><li>- 7 viadutos e 4 túneis</li><li>- viadutos com vãos maiores entre os pilares</li><li>- emboques dos túneis próximos à estrada de serviço existente</li><li>- túneis de maior extensão</li><li>- menor número de emboques, de pilares e conseqüentemente de novos acessos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- túnel atravessando maciço de baixa qualidade geomecânica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- junção de 2 túneis, aumentando sua extensão e projetando o túnel em maciço de melhor qualidade geomecânica</li></ul>
Executivo (1999)	<ul style="list-style-type: none"><li>- 6 viadutos e 3 túneis</li><li>- redução da extensão do viaduto sobre a captação pública</li><li>- 3 túneis de grande extensão</li></ul>	Ver nota de rodapé	Ver nota de rodapé

*Tabela 1. Síntese dos aspectos geológico-geotécnicos associados às várias etapas do projeto da pista descendente da rodovia dos Imigrantes (modificado de Gallardo 2004)*

**Nota:** o traçado do projeto executivo minimizou sobremaneira os impactos ambientais associados, como problemas geológico-geotécnicos, apenas pequenas instabilizações de emboques e/ou de acessos às fundações de pilares de viadutos poderiam ser assinaladas. Entretanto, durante a execução das obras constatou-se que com o incremento dos túneis houve aumento do aporte de água, com conseqüente contaminação dos recursos hídricos superficiais, sendo considerada como o principal impacto da fase de construção deste empreendimento, conforme destacado em Gallardo (2004) e Sánchez & Gallardo (2005). Para mitigação deste impacto foram construídas estações de tratamento de água.



A análise da Tabela 1 permite constatar que as alterações sucessivas no traçado proporcionaram:

- adequar critérios de projeto às características intrínsecas da Serra do Mar;
- retirar a pista de regiões críticas no tocante à construção e manutenção de obras (corpos de tálus; locais mais sujeitos à deflagração de processos do meio físico; maciços de baixa qualidade geomecânica);
- reduzir a intervenção direta em área com vegetação nativa, concentrando os trabalhos em áreas já degradadas, de modo a minimizar o corte arbóreo e a perturbação da fauna, e

- proteger recursos hídricos, como resultado das ações anteriores.

Uma revisão das características técnicas do projeto demonstra que a evolução do traçado dessa pista foi um processo dinâmico marcado pela substituição gradativa dos segmentos em viadutos e em terrapleno por túneis (Tabela 2) (Figs. 5 e 6), colaborando para a minimização de impactos ambientais. A utilização do espaço subterrâneo para transposição de áreas serranas reflete uma tendência mundial, sobretudo em áreas com vegetação expressiva, como é o caso do PESM.

	Projetos da Pista descendente							
	Inicial (1960/70)		EIA (1988)		LI (1999)		Executivo (1999)	
	extensão (m)	(%)	extensão (m)	(%)	extensão (m)	(%)	extensão (m)	(%)
túneis	3.925	26	5.570	39	7.455	51	8.239	56
viadutos	7.990	52	4.920	34	3.180	22	2.596	18
terraplenagem	3.385	22	3.850	27	3.855	27	3.761	26
Totais	15.300	100	14.340	100	14.490	100	14.596	100

*Tabela 2. Evolução dos traçados da rodovia dos Imigrantes (modificado de Gallardo 2004)*



*Figura 5. Emboques dos túneis denominados TD-1 e TD-2 e viaduto VD-4 da pista descendente da rodovia dos Imigrantes. Detalhe viaduto de pequena extensão entremeado a túneis longos para transposição da Serra do Mar*



*Figura 6. Emboque do túnel TD-2 e viaduto VD-5/6 da pista descendente da rodovia dos Imigrantes. Detalhe idem Figura 5*

Desse modo, a atenuação de impactos ambientais manifesta-se como uma reação em cadeia. A opção por túneis longos, com redução da quantidade de viadutos (que projetados com vãos maiores, Fig. 7, resultam em diminuição do número de pilares) implica menor número de vias de acesso. A localização dos emboques dos túneis e das fundações dos pilares dos viadutos – frentes de obra – próxima à estrada de serviço existente, também reduz a abertura de novos acessos. Essa associação de fatores resulta em proteção ambiental. Ao mesmo tempo em que decresce a probabilidade de desencadear novos

processos de dinâmica superficial pela menor movimentação de terra, restringe-se a supressão vegetal, o que também corrobora para o não-desencadeamento desses fenômenos e consequentemente para a proteção de recursos hídricos.

Situações similares aos problemas ambientais (instabilidade de encostas e comprometimento da qualidade de recursos hídricos por processos de movimentos de massa, dentre outros) decorrentes desse projeto rodoviário nesse meio de inserção podem ser encontradas em muitas cidades brasileiras,



na implantação de obras lineares diversas. Considera-se assim que o aprendizado obtido no desenvolvimento deste projeto, no tocante à investigação geológico-geotécnica e à proposição de

soluções para equacionamento dos problemas encontrados, pode ser aproveitado para o planejamento de empreendimentos de características análogas, contribuindo ao planejamento urbano.



*Figura 7. Comparação do espaçamento entre os vãos dos pilares da pista descendente (primeiro plano) e ascendente (ao fundo) da rodovia dos Imigrantes*

### Referências

- GALLARDO A.L.C.F. 2004. *Análise das práticas de gestão ambiental da construção da pista descendente da rodovia dos Imigrantes*. 2004. 295p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- GALLARDO A.L.C.F. & SÁNCHEZ L.E. 2004. Follow-up of a road building scheme in a fragile environment. *Environmental Impact Assessment Review*, New York, **24**:47-58.
- SANCHEZ L.E. & GALLARDO A.L.C.F. 2005. On the successful implementation of mitigation measures. *Impact Assessment and Project Appraisal*, Guildford, Surrey - UK, **23**(3):182-190.