

Geologia (de engenharia) de dutos terrestres nas regiões serranas do Rio de Janeiro.

Isabela Tenório Araújo¹ e Claudio Amaral^{1,2}

¹ Faculdade de Geologia – Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), ² Centro de Ciência e Tecnologia do Centro Universitário Serra dos Órgãos.

Engineering Geological Aspects linked to pipelines crossing mountainous regions in Rio de Janeiro.

Abstract: *The vast majority of the professional works relating to deformation and rupture of onshore pipelines is developed on the scope of Civil and Mechanical Engineering, with little to no emphasis on Geology. The present work intends to help fulfilling this gap in presenting and describing pipelines' engineering geology real case studies in mountainous areas of Rio de Janeiro.*

Key words: pipelines, geotechnical problems, mountainous areas.

Resumo: *A maior parte dos trabalhos que tratam da deformação e da ruptura de dutos terrestres é desenvolvida no âmbito das Engenharias Mecânica e Civil, com pouca participação da Geologia. O presente trabalho busca auxiliar no preenchimento desta lacuna ao apresentar e descrever estudos de caso reais da Geologia de Engenharia de dutos que atravessam as regiões serranas do Estado do Rio de Janeiro.*

Palavras chave: dutovias, acidentes geológicos, áreas serranas.

Introdução

As dutovias são obras de engenharia lineares, superficiais, que podem alcançar centenas de quilômetros de extensão e ultrapassar diversos domínios geotécnicos, envolvendo horizontes de solo e rochas com diferentes graus de alteração e fraturamento. Com essa variedade de domínios, vários processos geológicos podem pôr em risco a integridade dos dutos, especialmente daqueles que atravessam regiões serranas, onde escorregamentos e processos de erosão hídrica superficial intensa são muito frequentes.

Uma grande parte dos trabalhos acadêmicos e profissionais que tratam da deformação e da ruptura de dutos terrestres é desenvolvida, contudo, no âmbito das Engenharias Mecânica e Civil, com pouca participação da geologia de engenharia, como é o caso do trabalho de Bruno (2008). O presente trabalho tem seu foco na análise geológica dos materiais presentes em regiões onde existem dutovias, estudados para o trabalho de conclusão de curso da autora, na Faculdade de Geologia da UERJ (Tenorio, 2018); ele também aponta os problemas decorrentes da implantação de dutos em solos e maciços rochosos “complicados” ou sujeitos à ocorrência de processos geológicos destrutivos, que são normais e particularmente típicas das regiões serranas.

Metodologia de Estudo

O trabalho original foi dividido em três etapas, a saber:

- (i) Revisão de Casos Estudados contemplando projetos de pesquisa ou serviços especializados que envolveram pelo menos um dos autores. Neste quesito, incluem-se um aqueduto que atravessa terrenos constituídos por depósitos de corridas de massa de detritos em Angra dos Reis, e um oleoduto instalado numa encosta afetada por um escorregamento profundo, afetando solo residual, na região de Mangaratiba;
- (ii) Mapeamento de campo para avaliação dos problemas geotécnicos em obras de manutenção e operação de dutos. Neste item, incluem-se um túnel escavado para a implantação de um gasoduto, em Cachoeiras do Macacu, e a malha de dutos que atravessa o rio Soberbo, na subida da Serra de Teresópolis, junto à entrada de Guapimirim;
- (iii) Realização de entrevistas com engenheiros geotécnicos experientes em projetos de construção e manutenção de dutos. O time de experts foi composto pelo Engenheiro, M.Sc. Álvaro Viana, da ALTA Geotecnia; o Professor, PhD. José Tavares Araruna, do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da PUC-Rio; e o Engenheiro Guilherme Isidro, Consultor da COBA. O objetivo das entrevistas foi levantar as críticas e os desafios impostos à engenharia de dutos em regiões serranas.

Resultados

Revisão de Casos Estudados.

Aqueduto atravessando depósitos de corridas de massa, em Angra dos Reis.

Os dutos do sistema de abastecimento d'água à Usina Nuclear de Angra dos Reis, cruzam encostas com declividade acima de 30°, compostas por espessos depósitos de tálus e colúvio dispostos a jusante de escarpas rochosas verticais. Durante a execução de estudos detalhados visando à redução do risco ao qual estão expostos os dutos, entre a usina nuclear e as captações d'água no Rio do Frade (Amaral et al., 2010), foram identificados diversos pontos sujeitos à ocorrência de escorregamentos destrutivos e definidas as medidas estruturais necessárias para a eliminação do risco de acidentes para o duto.

Dentre os setores mais críticos destacava-se um ponto de duto aéreo (suspensão a partir de estruturas de concreto) (Figura 1), que cruza um anfiteatro com 4m de largura, preenchido por blocos rochosos de 1m³ a 4m³ de volume, a maior parte deles imersos em material coluvionar, o que caracteriza um típico depósito de corrida de massa pretérita. Como o potencial de remobilização é significativo, recomendou-se a elevação do duto a uma altura superior a 3m, e a construção de muros de gravidade ao longo das margens dos canais de drenagem naturais.



Figura 1: Vista do duto suspenso por estruturas de concreto. Fonte: Amaral et al, 2010.

Oleoduto em área afetada por escorregamento, em Mangaratiba.

O oleoduto ORBIG, da TRANSPETRO, cruza um trecho da Serra do Mar na região de Mangaratiba, a montante da rodovia BR-101. Uma passagem rotineira do PIG (Pipeline Inspection Gauge) – instrumentação utilizada para inspeção geral -, numa seção do km 48, acusou uma deformação severa no oleoduto. De pronto, a TRANSPETRO procedeu à exumação do duto e à sua substituição, e, também, deu início a uma extensiva campanha de investigação e monitoramento geotécnicos, inclusive com a instalação de inclinômetros e piezômetros. A campanha revelou, simplificadamente, tal como discutido por Amaral et al. (2005), que:

(i) O trecho é caracterizado por uma sucessão de patamares estruturais definidos por falhas e fraturas tectônicas. Enquanto nas escarpas rochosas ocorrem afloramentos da rocha sã e fraturada, nos patamares, onde está instalado o duto, ocorrem perfis de intemperismo espessos capeados por colúvio. A rocha fraturada exhibe valores de RQD da ordem de 63% e a transição do colúvio para o solo residual de gnaiss migmatítico, é evidenciada pelo aumento abrupto do valor do N_{SPT} ;

(ii) O nível piezométrico no perfil de intemperismo é recarregado pela infiltração d'água no patamar estrutural localizado a montante do paredão rochoso (figura 2a), que é comprovado pelo surgimento de nascentes nos períodos de chuva, e corroborado pelos valores de condutividade hidráulica obtidos em ensaios de infiltração por perda d'água, no campo e de permeabilidade por carga constante, no laboratório, da ordem de $2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ para a rocha fraturada, de $3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ para o solo residual e de $8 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ para o colúvio;

(iii) O mecanismo de ruptura da encosta, que provoca deformações continuadas do duto, com velocidades dependentes da pluviometria e/ou da subida do nível piezométrico, está

associado à elevação da poro-pressão na camada de solo residual jovem, tal como mostrado na figura 2b, o que provoca a superação da sua resistência ao cisalhamento, que é definida por valores de atrito de de 21° a 28° e de coesão de 0 a 15 kPa, definidos por ensaios resistência ao cisalhamento direto;

(iv) Para a redução das velocidades de deslocamento e deformações adotou-se uma rede de drenos com extensão para além da profundidade das camadas de colúvio e solo residual, ou seja, de forma a atingir o horizonte de rocha fraturada, na qual o nível piezométrico é recarregado bem a montante dos dutos, e não pela chuva que precipitação sobre a faixa.

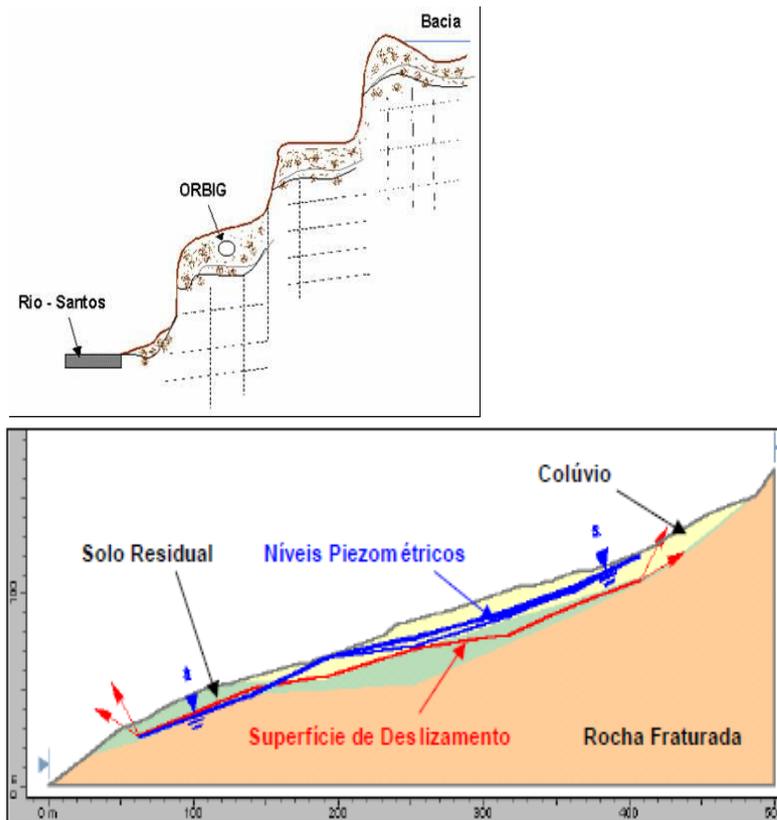


Figura 2: a) Perfil esquemático da situação na área do escorregamento. b) Esquema do mecanismo de ruptura na encosta. Há um retardo entre as precipitações e subidas de nível piezométrico, da ordem de 25 dias. (Fonte: Amaral et al, 2005)

Casos Estudados no Campo

Gasoduto instalado no interior de um túnel na região de Cachoeiras de Macacu

O túnel, de 4km, escavado em rocha, já com oito anos de operação, atravessa zonas de intenso faturamento, diques básicos e alcalinos, zonas ricas em mica ou de intenso cisalhamento onde estão presentes minerais hidrotermalizados. Por conta disto, a despeito da execução de tratamentos de estabilização nas suas paredes e abóboda, o túnel continuava a exibir diversos problemas localizados de instabilidade, que impunham um risco de acidentes associados ao impacto de lascas e blocos rochosos para o duto de gás instalado junto a uma das laterais do túnel.

O trecho mais problemático era o da Estaca 140. Nele, na parede (do túnel) oposta à do duto, onde já haviam ocorrido dois deslizamentos afastados de 15m, se processou de maneira espetacular e perigosa, um deslizamento de uma grande lasca de rocha alterada, junto com o revestimento de CPRF (concreto projetado), com volume aproximado de 15m³, unindo as duas línguas de deslizamento numa só cicatriz (figura 3).

O deslizamento foi controlado pelo plano de fratura (paralelo ao eixo NE-SW do túnel) extremamente bem polida, com cor esverdeada (de argilominerais expansivos) e mergulho para dentro do túnel (inclinação de 65°-70). A massa deslizada em parte se chocou com as cambotas metálicas instaladas há algum tempo (parte de uma obra de estabilização prevista), as deformou e, ou permaneceu apoiada nas mesmas, continuando a deformá-las, ou se projetou sobre a massa deslizada anteriormente, formando um cone na metade da pista de circulação de veículos existente dentro do túnel. Mais preocupante do que o material deslizado, contudo, foi a constatação da “criação” de uma verdadeira “caverna” atrás de uma “lança” de rocha alterada e CPRF que se projeta sobre o túnel. Ela antecipava a ocorrência de novos deslizamentos no futuro, provavelmente envolvendo parte da abóboda do túnel, o que ampliou significativamente o risco para o duto.



Figura 3: Deslizamento de lasca na parede do túnel. (Fonte: Tenorio, 2018).

Travessia de dutos no Rio Soberbo, em Guapimirim.

Próximo ao número 1530 da Avenida Dedo de Deus, a 1km da entrada pelo Portal de Guapimirim, o rio Soberbo (figura 4), importante curso d'água que desce a serra de Teresópolis, é atravessado por dutos aéreos para abastecimento d'água do distrito sede. Embora não haja registros recentes de fluxos torrenciais (as famosas cabeças d'água), identificou-se um risco de acidentes para os dutos (e para a adjacente ponte da rodovia), associado à ocorrência de corridas de massa de detritos ou fluxos hiperconcentrados, envolvendo o “mar de blocos rochosos” e os sedimentos dispostos no leito e nas margens do rio, desde o seu alto curso, quando da ocorrência de chuvas extremas. Uma solução adequada, ainda não adotada no local, é a implantação de dutos em arco, fazendo com

que a altura de uma eventual corrida de massa destrutiva tenha que ser muito maior para afetar os dutos.



Figura 4: Detalhe dos blocos rochosos, médios e grandes, dispostos ao longo do rio Soberbo no trecho de interesse. (Fonte: Tenorio, 2018)

Entrevistas com Geotécnicos Especialistas

As entrevistas com os três engenheiros geotécnicos especialistas mostraram que as principais preocupações em relação aos projetos de construção e manutenção de dutos, englobam:

- (i) A necessidade de ampliar o conhecimento acerca da distribuição e das propriedades dos diferentes tipos de materiais geológicos atravessados pelos dutos, que, na verdade, nas obras antigas ainda conseguia ser maior do que nas obras atuais;
- (ii) O desejo de que as polêmicas envolvendo as interferências impostas pela existência de núcleos urbanos, os riscos associados ao vandalismo e o custo envolvido nas eventuais desapropriações não imponham, no futuro, a definição de traçados cada vez mais perigosos.

Discussão

Os estudos de caso envolveram diferentes problemas geotécnicos afetando dutovias, já em operação, que cruzam as regiões serranas do Rio de Janeiro, De uma forma geral, os riscos atuais para os dutos, associados aos processos geológicos potencialmente destrutivos, não são pequenos, o que amplia a importância da adoção de medidas apropriadas de gestão do risco, com destaque para o constante monitoramento

do seu comportamento, a partir de mapeamentos rotineiros de superfície e de campanhas de investigação geotécnica em seus trechos mais críticos.

O caso estudado mais crítico é o do túnel escavado em maciço rochoso metamórfico de alto grau, com descontinuidades litológicas, estruturais e de alteração, cuja operação e manutenção certamente enfrentarão um quadro muito adverso ao longo da vida útil do túnel, ditado pelas prováveis modificações do comportamento do maciço rochoso como resultado do relaxamento de tensões e do intemperismo dos minerais formados por hidrotermalismo.

Esta e outras preocupações quanto à manutenção dos dutos já instalados foram manifestadas também pelos geotécnicos especialistas, inclusive em relação à possível e necessária ampliação da malha de dutos no sudeste do Brasil. Fica claro que os problemas detectados não podem se reproduzir em função da falta de um entendimento sobre as limitações do meio físico.

Conclusão

O artigo técnico tratou dos problemas geotécnicos que afetam quatro dutovias que atravessam maciços rochosos e solos “complicados”, ou zonas sujeitas a processos geológicos destrutivos, nas regiões serranas do Rio de Janeiro.

Conclui-se que a diminuição dos recursos dispendidos para a devida caracterização do meio físico no qual os dutos são instalados, ditada pela Lei das Licitações (Lei 8.666/93), continuará a implicar numa quantidade significativa de acidentes.

Referências

- Amaral, C., Saré, A. (2005) Mecanismo de Ruptura de Encosta. In: Adequação dos sistemas de drenagem do km48 do ORBIG. Relatório Técnico Empresa LPS, 12p.
- Amaral, C.; Portocarrero, H; Antunes, F.S.; Campos, T.M.P; Viana, A.F. (2010) Estudos Geológico-Geotécnicos de superfície referentes à faixa marginal da adutora do Sistema de Abastecimento de Água Doce – SAAD das unidades 1,2 e 3 de Central Nuclear. Relatório Técnico da ALTA Engenharia. Rio de Janeiro, 39 p.
- Bruno, P. (2008) Sistema de classificação de maciços naturais para implementação de dutos. Monografia de Graduação – Faculdade de Geologia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 75p.
- Tenório, I.A.2018. Geologia de Dutos Terrestres. Monografia de Graduação – Faculdade de Geologia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 56 p.