



Contenção de Encostas – Um Roteiro para Projeto baseado na Experiência Profissional

Sérgio Murari Ludemann

Engenheiro Civil, Ludemann Engenharia Ltda, São Paulo, Brasil, sergio@ludemann.com.br

RESUMO: Através deste artigo o autor apresenta uma sugestão de roteiro para elaboração de projetos de contenção e estabilização de encostas baseado na sua experiência profissional, apresentando procedimentos e informações úteis para uma abordagem mais assertiva na elaboração deste tipo de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Encostas, Contenção, Roteiro.

ABSTRACT: Through this article, the author presents a guideline suggestion for elaboration natural slope retaining and stabilization projects based on his professional experience, providing procedures and useful information to increase assertive approach in developing this type of project.

KEYWORDS: Natural Slope, Retaining, Guideline.

1 INTRODUÇÃO

A intenção deste artigo é apresentar, baseado na experiência profissional do autor, uma sugestão de roteiro para a elaboração de projetos de contenção e de estabilização de encostas, a fim de incrementar a assertividade e minimizar as possibilidades de equívocos e insucessos.

Não é objetivo deste texto apresentar um manual para elaboração de projetos de contenção de encostas, discutir normas para elaboração deste tipo de projeto, tampouco discutir e detalhar métodos e procedimentos de dimensionamento, pois esses temas já estão disponíveis em normas e livros texto, onde são discutidos e detalhados com o rigor e profundidade necessários.

2 ATIVIDADES PRELIMINARES

2.1. Avaliação da finalidade da intervenção pretendida

É importante que o engenheiro geotécnico projetista tenha em mente a finalidade para a qual se destina a obra de contenção que estará projetando. Parece uma frase óbvia, mas chamo a atenção para esse aspecto inicial pois, para condições geotécnicas similares, algumas soluções podem ser adequadas ou não, a depender da finalidade a que se destina tal contenção. É igualmente importante avaliar inicialmente, e sempre que possível, a possibilidade de evitar ou de minimizar a contenção pretendida, avaliando-se a viabilidade de alterar as premissas de projeto que implicaram na necessidade de tal contenção.

Tome-se o exemplo de uma contenção em corte onde se pretenda adotar a técnica de solo grampeado com paramento em concreto projetado. Considerando que estejam presentes as condições geotécnicas adequadas para este tipo de contenção, tal solução pode ser adotada sem qualquer problema para conter uma encosta numa obra rodoviária e, neste caso, deve-se avaliar inicialmente a possibilidade de alterações geométricas no traçado da rodovia que possam evitar ou diminuir a altura da contenção. No entanto, esta mesma solução adotada para conter uma encosta numa área urbanizada pode ser inadequada, pois o paramento de concreto poderá funcionar como um forte irradiador de calor, prejudicando sensivelmente o conforto ambiental para os moradores do entorno. Seria preferível buscar opções de geometria de face e de dimensionamento dos grampos que pudessem viabilizar a utilização de paramento verde, onde a contenção, além de não causar desconfortos, poderia servir de elemento para compor a paisagem. É importante aproveitar a oportunidade para recomendar que projetos de consolidação geotécnica em áreas urbanas devam ser acompanhados de projetos arquitetônicos paisagísticos e urbanísticos de tais áreas, a fim de que ambas as intervenções, arquitetônica e geotécnica, sejam compatíveis entre si.

Outro exemplo onde a finalidade da contenção pode interferir na solução é o caso de uma contenção em aterro utilizando a técnica de solo reforçado com paramento composto por material granular contido por telas



metálicas. Tal solução apresenta inúmeras situações favoráveis para sua aplicação e a flexibilidade deste tipo de paramento pode ser uma vantagem técnica, a depender das características de capacidade suporte e de deformabilidade do solo de base da contenção. No entanto, há situações nas quais tal tipo de paramento flexível deve ser evitado, tais como em áreas de indústrias alimentícias, pois os vazios existentes no material granular favorecem a proliferação de animais peçonhentos e insetos. Outra restrição a esse tipo de paramento pode ocorrer em áreas onde o mesmo possa sofrer ações de vandalismo e depredação das telas metálicas, o que poderá desestruturar o paramento, colocando em risco a estabilidade da contenção.

Se a finalidade de uma contenção for a proteção de alguma infraestrutura sensível (oleoduto, gasoduto, linha de transmissão etc.), deverá ser avaliado o estado limite de serviço da contenção a ser projetada, sendo este um aspecto tão importante quanto o estado limite último. Assim, diante desta finalidade, o projetista deverá prever a necessidade de elaborar, além das estimativas de estabilidade, também estimativas de deformabilidade, buscando obter os parâmetros de resistência e deformabilidade adequados e suficientes para a elaboração do projeto.

Além dos aspectos funcionais acima citados, é importante avaliar, sempre que for cabível, as soluções tecnicamente viáveis, elaborando-se um pré-dimensionamento inicial de tais soluções e um cotejamento de vantagens, desvantagens e custos estimados, a fim de escolher com critério a solução a ser detalhada.

2.2. Visita Inicial

É indispensável, para a elaboração e um projeto adequado, visitar previamente o local da intervenção para identificar as condicionantes geológicas e geotécnicas envolvidas.

Antes da visita em si, deve-se consultar mapas geológicos regionais e cartas geotécnicas (quando disponíveis) que contemplam a região da obra, além de pesquisar registros de eventos geológico-geotécnicos históricos ocorridos no local e/ou no mesmo contexto geológico e geotécnico. Esse estudo preliminar do local permitirá um aproveitamento melhor da visita inicial, pois direcionará os olhares dos técnicos em campo aos pontos importantes a serem observados, lembrando que só se encontra aquilo que se procura.

O engenheiro geotécnico responsável pela elaboração do projeto deverá estar acompanhado de um geólogo com experiência em geologia de engenharia e ambos deverão ter observação atenta para as características geomorfológicas da encosta (formato, amplitude, declividade) e para as características geológicas e geotécnicas, sendo este o primeiro passo para a elaboração do mapeamento geológico e geotécnico do local, conforme será descrito a seguir. Deve-se atentar para a presença de cicatrizes de escorregamentos pretéritos e massas rompidas ainda depositadas sobre a encosta. Tais evidências são de grande valia na elaboração de projetos para contenção de encostas.

Durante a visita inicial será importante avaliar e, se possível, definir os limites da área de intervenção e da área de investigação na qual deverão ser solicitados posteriormente os dados necessários para a elaboração do projeto. Deve-se observar que nem sempre a área da intervenção coincide com a área necessária para investigação geológico-geotécnica. É bastante comum que mecanismos de movimento de massas tenham suas situações críticas a montante ou a jusante da área de intervenção, sendo necessário estender a campanha de investigação geológica e geotécnica para além da área da intervenção propriamente dita.

2.3. Especificar os dados necessários

Tendo o conhecimento prévio da finalidade da obra e das características do sítio no qual a mesma será implantada, deve-se especificar os dados necessários para a elaboração adequada de um projeto de contenção de encosta.

Inicialmente deve-se efetuar o mapeamento geológico local, cuja elaboração é indispensável para minimizar “surpresas”. Neste mapeamento geológico, havendo afloramentos rochosos, deverão ser anotados o tipo de rocha, as atitudes dos planos de fraqueza e descontinuidades (comparar com as informações obtidas anteriormente através do mapa geológico regional), grau de alteração, grau de fraturamento, coerência, presença ou não de material de preenchimento nas fraturas e descontinuidades, presença de água etc. Essas informações deverão ser compiladas para permitir o estabelecimento dos parâmetros geomecânicos que serão posteriormente utilizados na elaboração do projeto. Nos trechos intemperizados da encosta deve-se atentar para as características dos solos residuais e saprolíticos (tipo de rocha mãe, granulometria, cor, compacidade ou consistência, presença de estruturas reliquias etc.), espessura e grau de intemperismo (solos residuais



maduros, jovens, saprólitos), presença de corpos coluvionares e/ou corpos de tálus etc. A interpretação de imagens aéreas poderá auxiliar na identificação de materiais soltos sobre a encosta, especialmente corpos de tálus.

Igualmente indispensável é obter um levantamento topográfico planialtimétrico da encosta, com nível de detalhe suficiente na área de intervenção que permita a elaboração adequada do projeto. Nos trechos a montante e/ou a jusante da área de intervenção os dados topográficos de detalhe poderão ser complementados por levantamentos aerofotogramétricos. Tem se tornado cada vez mais comum, prático e comercialmente viável, efetuar o levantamento topográfico utilizando técnicas de imageamento remoto com o auxílio de VANT (veículo aéreo não tripulado), como por exemplo o sistema LiDAR (do acrônimo inglês *"light detection and ranging"*), o qual permite identificar a superfície do terreno, mesmo em encostas cobertas por vegetação.

De posse de uma base topográfica adequada e do mapeamento geológico, faz-se necessário planejar uma campanha de investigação geotécnica, composta por sondagens (percussivas, rotativas, mistas) e por ensaios, tanto de campo (CPTu, DMT etc.), quanto de laboratório (triaxiais, cisalhamento direto, granulometria, limites de Atterberg, umidade e densidade naturais) que permitam o traçado de perfis geológico-geotécnicos, tantos quantos forem necessários para que seja possível avaliar com representatividade as características de estratigrafia, de resistência ao cisalhamento e de deformabilidade dos materiais que compõe a encosta em estudo.

Em diversos contextos geológicos é fortemente recomendável lançar mão de técnicas de investigação geofísica para ampliar a investigação geológica da encosta. Técnicas como eletroresistividade, sísmica de refração e MASW (*Multichannel Analysis of Stress Waves*) podem ser indicadas. Para a definição das técnicas mais adequadas é indispensável a presença de um geofísico na equipe de projeto, sendo comum a utilização de duas ou mais técnicas combinadas para melhorar a interpretação dos resultados. É aconselhável que antes da execução dos ensaios geofísicos estejam disponíveis sondagens (preferencialmente mistas percussão x rotativas) para auxiliar a definição das técnicas geofísicas mais adequadas. Após o término da campanha de investigação geofísica é frequente a necessidade de complementar a campanha de sondagens para investigar os pontos de anomalias detectados nos ensaios geofísicos; de posse dessas sondagens complementares, os resultados dos ensaios geofísicos podem ser reinterpretados para que haja uma convergência de informações.

A quantidade de sondagens e de ensaios deve atender, no mínimo, às normas técnicas vigentes, especialmente a ABNT-NBR-11.682 – Estabilidade de Encostas. Frequentemente se colocam como obstáculos para os projetistas obterem campanhas adequadas de investigação geotécnica a falta de prazos e a falta de verba para a execução das sondagens e dos ensaios requeridos. Sobre estas circunstâncias, valem as seguintes reflexões: o tempo consumido numa investigação satisfatória e no planejamento adequado da obra é amplamente recompensado pela minimização de intercorrências executivas; além do que, os custos de uma campanha de investigação geotécnica devem ser encarados como investimento em segurança e qualidade construtiva, permitindo com frequência reduções expressivas de custo das obras, pois uma investigação geotécnica bem conduzida minimiza incertezas, permitindo dimensionamentos mais adequados. A falta e/ou a insuficiência de informações implica em maiores incertezas e, consequentemente, em dimensionamentos mais conservadores e mais onerosos, sendo necessários investimentos muito superiores nas obras investigadas de maneira insuficiente do que aqueles investimentos que deveriam ser feitos em campanhas adequadas de sondagens e ensaios. Portanto, uma campanha adequada de investigação geotécnica conduz frequentemente à economia de tempo e de dinheiro na execução das obras.

3 ROTEIRO DE PROJETO

Após as atividades preliminares e de posse das informações acima descritas, é possível iniciar a elaboração em si do projeto de contenção de uma encosta. Para tanto, apresenta-se como sugestão o seguinte roteiro:

3.1. Traçar os perfis geológico-geotécnicos que sejam representativos da encosta em suas especificidades. Esta é uma tarefa indispensável e que deve ser executada em conjunto entre o geólogo de engenharia e o engenheiro geotécnico, devendo estes perfis representarem adequadamente as características estratigráficas da encosta. O traçado dos perfis geológico-geotécnicos pode ser efetuado interpolando e interpretando diretamente os logs das sondagens disponíveis ou aproveitando e adaptando seções geológicas



resultantes de modelagens 3D do subsolo, sendo neste último caso fundamental o olhar atento do geólogo para validar ou sugerir adequações no modelo 3D.

- 3.2.** Analisar criticamente os parâmetros de resistência e deformabilidade, em função da morfologia e das características geológicas locais. Em fases iniciais de estudos de alternativas ou de projetos preliminares, é possível estimar parâmetros de resistência e deformabilidade a partir de dados bibliográficos, mas é de fundamental importância selecionar corretamente tais dados, de maneira que possam refletir o contexto geológico e geotécnico correto. Em fases mais avançadas de projeto (básico e executivo) é indispensável a obtenção dos parâmetros de resistência e deformabilidade através de ensaios de campo e de laboratório. Os ensaios devem ser efetuados em quantidade suficiente para permitir uma análise estatística da variação dos parâmetros e devem ser posicionados para permitir uma avaliação da variação espacial desses parâmetros. A campanha de ensaios deve permitir correlacionar as diversas camadas acusadas nos perfis estratigráficos da encosta aos seus respectivos parâmetros de resistência e deformabilidade. Deverão ser avaliados com muito critério os limites entre as diversas camadas, sendo esta tarefa de fundamental importância para a elaboração de um projeto adequado. Dada a relevância desta fase, é fortemente recomendável que os perfis estratigráficos e respectivos parâmetros de resistência e deformabilidade sejam traçados e definidos por geólogos e engenheiros geotécnicos sêniores.
- 3.3.** É possível aferir os parâmetros de resistência com base em retro análises de rupturas já ocorridas, se houver. É preciso lembrar que uma retro análise somente será representativa tomando como base a topografia que havia antes da ruptura. Para tal tarefa é importante observar o terreno ainda preservado ao lado do trecho rompido e é preciso indagar: Por que a ruptura ocorreu onde ocorreu? Quais os fatores preparatórios e quais os fatores deflagratórios do fenômeno observado? É preciso identificar em campo o tipo de mecanismo de movimento de massa ocorrido na ruptura observada e, posteriormente, deve-se utilizar modelos de cálculo que representem corretamente o mecanismo observado.
- 3.4.** Não desprezar evidências. Durante a montagem dos perfis geológico-geotécnicos é comum se deparar com dados que numa primeira vista possam parecer inconsistentes. Primeiramente deve-se avaliar a qualidade dos dados, buscando visitar os testemunhos das sondagens. Deve-se analisar os resultados dos ensaios, verificando a qualidade e eventuais limitações dos equipamentos e das condições em que tais ensaios foram efetuados. Porém, uma vez descartadas as possibilidades de ter havido falhas na amostragem, não se pode desprezar os dados “inconsistentes”, pois podem ser justamente estes dados aqueles que causarão uma ruptura ou um desempenho aquém do esperado para a obra projetada. Deve-se lembrar que as correntes sempre rompem pelos seus elos mais fracos.
- 3.5.** Identificar os mecanismos possíveis de ruptura e de movimento de massa e utilizar as ferramentas de cálculo mais adequadas a cada mecanismo para a elaboração de projetos consistentes. Os mecanismos mais frequentes são: escorregamento translacional raso, escorregamento rotacional, escorregamento em cunha, escorregamento planar em rocha, tombamento e queda de blocos de rocha e corrida de lama e/ou de detritos. O geólogo e o engenheiro geotécnico responsáveis pelo projeto deverão avaliar qual ou quais desses mecanismos poderão ocorrer, devendo ser utilizadas as ferramentas de cálculo mais apropriadas a cada um desses mecanismos. Também nesta etapa, dada a relevância da mesma, é fortemente recomendável que os possíveis mecanismos de ruptura e respectivas ferramentas de cálculo sejam estabelecidos por geólogos e engenheiros sêniores.
- 3.6.** Avaliar os resultados do dimensionamento em relação às variabilidades inerentes dos parâmetros de resistência. Um projeto de contenção e/ou de estabilização de uma encosta implica na necessidade de se considerar as variabilidades naturais inerentes aos parâmetros de resistência e deformabilidade. É muito pouco provável que se tenha na natureza um maciço homogêneo e isotrópico. As encostas normalmente são ambientes geológicos conturbados e, portanto, as heterogeneidades serão quase sempre a regra. Outra questão importante a observar é que a natureza não desperdiça esforços e, portanto, uma encosta natural dificilmente apresentará fatores de segurança satisfatórios. O engenheiro geotécnico deve ter essas questões sempre em mente para poder avaliar com critério os resultados dos dimensionamentos efetuados. É preciso considerar as variabilidades dos parâmetros de resistência de maneira que o projeto



seja seguro, mesmo frente às possíveis variações nesses parâmetros. Para tanto é possível efetuar cálculos de estabilidade por métodos de equilíbrio limite, mesmo que determinísticos, variando os parâmetros de resistência e avaliando a sensibilidade dos resultados em termos de fator de segurança. Porém, é preferível lançar mão de análises de estabilidade probabilísticas, avaliando não somente o fator de segurança, mas também a probabilidade de ruína e o índice de confiabilidade dos resultados. Por vezes, mesmo atendendo ao fator de segurança exigido por norma, a variabilidade dos parâmetros de resistência pode conduzir a resultados insatisfatórios em termos de probabilidade de ruína, exigindo revisões e adaptações no projeto para que seja possível atingir o incremento de segurança adequado.

- 3.7. É possível considerar a contribuição dos sistemas radiculares da vegetação presente numa encosta como incremento do intercepto coesivo a fim de combater escorregamentos planares rasos. Para tanto, é preciso especificar quais são as espécies vegetais mais adequadas à região, ao solo e à topografia da encosta, prevendo-se um mix de vegetação rasteira, arbustiva e arbórea que possam interagir entre si e que formem uma cobertura vegetal suficientemente densa para que seja possível obter em campo o incremento de coesão superficial desejado. A consideração da contribuição da vegetação na estabilidade da encosta é especialmente desejável nos contextos geológicos em que os solos superficiais possam apresentar perda expressiva de coesão quando saturados, ou seja, quando da ocorrência de chuvas prolongadas ou intensas. É importante especificar em projeto os cuidados que deverão ser tomados com o plantio, adubaçāo, poda e verificação periódica da saúde da vegetação especificada, sempre lembrando que plantas são serem vivas e, como tais, vão morrer. Portanto, o tipo de vegetação deverá ser planejado prevendo-se a perpetuação da cobertura vegetal. Esta etapa do trabalho requer os conhecimentos de uma equipe multidisciplinar, ressaltando-se a fundamental presença de agrônomos, biólogos, arquitetos paisagistas, geógrafos, entre outros.
- 3.8. Pensar em como executar o que se está projetando. Pode parecer óbvia esta afirmação, mas é bastante comum o engenheiro projetista pensar no que fazer, sem pensar em como fazer, ou seja, quais serão os equipamentos necessários para executar o que se está projetando e se os equipamentos disponíveis no mercado são capazes de executar da maneira que está sendo proposta. Igualmente importante é planejar as vias de acesso destes equipamentos e a sequência construtiva que seja segura aos operários. Frequentemente são necessários ajustes de projeto quando são consideradas as limitações executivas em função das características dos equipamentos disponíveis. Por outro lado, quando alterações de projeto não sejam tecnicamente satisfatórias face aos equipamentos convencionais, poderão ser necessários equipamentos especiais para viabilizar a execução da obra tal qual projetada.
- 3.9. Definir na fase de projeto a instrumentação para monitorar o desempenho da obra, durante e após a execução. Pensar no que se quer instrumentar, tendo como premissa o que se quer observar e elencar os instrumentos mais adequados. Definir a frequência a ser adotada nas leituras para um monitoramento efetivo. Definir previamente, na fase de projeto, os parâmetros de normalidade, atenção e alerta, pois sem tais parâmetros de comparação, a instrumentação é inútil. Juntamente com o plano de instrumentação, é preciso ter em mãos um plano de contingências, caso a instrumentação indique um desempenho aquém do esperado, ou seja, é preciso saber previamente o que fazer, caso a instrumentação atinja níveis de atenção ou de alerta.

4. ATO - ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DA OBRA

O serviço de ATO – Acompanhamento Técnico de Obra é de fundamental importância para identificar a necessidade de ajustes no projeto e, consequentemente, na obra. Tais ajustes de projeto podem ser motivados por intercorrências executivas ou pela constatação em campo de condicionantes geotécnicas e/ou executivas divergentes daquelas consideradas na elaboração do projeto. Vale lembrar que o projeto é normalmente elaborado com base em amostragens pontuais (sondagens e ensaios) e que durante a execução da obra podem surgir divergências importantes entre os pontos amostrados e a realidade presente na frente de obra.

Este serviço de ATO deve ser contratado prioritariamente junto à empresa projetista, pois desta maneira haverá uma linha única de responsabilidade técnica sempre que ajustes de projeto sejam necessários.



Faz parte do ATO conferir em campo os ensaios de controle de qualidade e verificar a adequabilidade dos métodos construtivos propostos e comparar com os métodos construtivos de fato empregados.

A equipe de ATO deve registrar em relatórios e desenhos todas as intercorrências e todos os ajustes efetuados.

5. RELATÓRIO FINAL APÓS A EXECUÇÃO DA OBRA

Uma vez concluída a obra, é recomendável a elaboração de um relatório final no qual deverão ser mencionadas as adequações de projeto ocorridas durante a execução e, principalmente, deverão ser indicadas as ações de manutenção preventiva, tais como: plano de limpeza e manutenção do sistema de drenagem superficial, plano de limpeza de DHP's (Drenos Horizontais Profundos) e barbacãs, verificação periódica da protensão de tirantes em cortinas atirantadas, inspeção visual periódica dos paramentos e correção de inconformidades, manutenção da vegetação para proteção superficial e/ou para reforço na estabilidade da encosta.

Especialmente sobre a questão da verificação periódica sobre a protensão de tirantes, é frequente a constatação da perda de protensão de tirantes ao longo da vida útil de uma cortina atirantada. Essa perda de protensão pode ocorrer devido a diversos fatores. Neste texto não se pretende discutir tais fatores, mas apenas chamar a atenção dos engenheiros projetistas para este fato. O importante aqui é prever em projeto um detalhe de cabeça de tirante que permita, após o corte das barras de protensão, a instalação posterior de prolongadores e dos macacos que farão a verificação da protensão e, sendo necessário, a reprotensão dos tirantes afrouxados.

Caso na fase de projeto tenha sido considerada a contribuição da vegetação na estabilidade da encosta, será necessário especificar no relatório final os cuidados com o manejo e preservação da vegetação projetada.

É recomendável prever um monitoramento contínuo para aferir o desempenho a médio e longo prazos da obra implantada. Para tanto, é preferível lançar mão de instrumentos automatizados desde as fases iniciais de monitoramento.

O relatório final poderá indicar de maneira conceitual, as ações necessárias para correção, caso seja constatado algum sinal de desempenho insatisfatório ao longo da vida útil da obra.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece o convite da comissão organizadora para a apresentação deste artigo e sua palestra correspondente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11.682. *Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro.

Lopes, J. A. U (2024) *Encostas – Evolução, Equilíbrio e Condições de Ocupação*, 2^a edição, Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil, 320 p.

Wolle, C. M. (1980) *Taludes Naturais – Mecanismos de Instabilização e Critérios de Segurança*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/ POLI-USP.