

A importância da realização de ensaios geotécnicos para elaboração de Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas

Letícia Rodrigues Pimentel Magalhães

Mestre em Ambiente Construído, UFJF, Juiz de Fora, Brasil, leticia.rodrigues@engenharia.ufjf.br

Sumáya Karla Faria Neves

Mestre em Engenharia Civil, UFJF, Juiz de Fora, Brasil, sumaya.neves@engenharia.ufjf.br

Jonathas Batista Gonçalves Silva

Docente, UFJF, Juiz de Fora, Brasil, jonathas.silva.ufjf@gmail.com

Tatiana Tavares Rodriguez

Docente, UFJF, Juiz de Fora, Brasil, tatiana.rodriguez@ufjf.edu.br

RESUMO: Uma área degradada é aquela que perdeu a sua resiliência, podendo ser caracterizada como um ecossistema que não é capaz de repor as perdas de matéria orgânica do solo, nutrientes, biomassa e banco de sementes. Para recuperação dessas áreas, são elaborados Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) que, em sua maioria, não consideram as características intrínsecas do solo. Esta pesquisa avaliou a importância da utilização de ensaios geotécnicos para elaborar um PRAD. Como estudo de caso, foram observadas duas áreas degradadas com formação de voçorocas, uma localizada em Juiz de Fora, e a outra em Lagoa Dourada (Minas Gerais). Foram feitas coletas de amostras de solo para realização dos ensaios de caracterização física e química, ensaio de cisalhamento direto, desagregação, dispersão e Inderbitzen. Através dos ensaios e das visitas de campo foi possível compreender a origem do processo de erosão, fazer a análise de estabilidade dos taludes e propor as técnicas de recuperação. Foram indicadas técnicas edáficas, vegetativas e mecânicas apropriadas para o controle da erosão, além de identificar o ângulo adequado para o retaludamento, atendendo ao fator de segurança. Por fim, confirmou-se a importância dos ensaios para a elaboração de um PRAD conceitual de melhor qualidade, mais econômico, direcionado e bem fundamentado com justificativas geotécnicas para recuperação plena das áreas degradadas.

PALAVRAS-CHAVE: Área degradada, projeto de recuperação, voçoroca, ensaios geotécnicos.

ABSTRACT: A degraded area is the one has lost its resilience and can be characterized as an ecosystem that is not capable of replacing the losses of soil organic matter, nutrients, biomass and seed bank. To recover these areas, Degraded Area Recovery Plans (DARP) are drawn up, which, for the most part, don't consider the intrinsic characteristics of the soil. This research evaluated the importance of using geotechnical tests to prepare a DARP. As a case study, two degraded areas with the formation of gullies were observed, one located in Juiz de Fora, and the other in Lagoa Dourada (Minas Gerais). Soil samples were collected to carry out physical and chemical characterization tests, direct shear tests, disaggregation, dispersion and Inderbitzen. Through tests and field visits it was possible to understand the origin of the erosion process, analyze the stability of the slopes and propose recovery techniques. Appropriate edaphic, vegetative and mechanical techniques were indicated for erosion control, in addition to identifying the appropriate angle for retouching, taking into account the safety factor. Finally, the importance of the tests for the development of a better quality, more economical, targeted and well-founded conceptual DARP with geotechnical justifications for the full recovery of degraded areas was confirmed.

KEYWORDS: Degraded area, recovery project, gully, geotechnical tests.

1 INTRODUÇÃO

A expansão de áreas degradadas tem chamado atenção de grupos técnicos e científicos, visto que mais de 30% dos solos do mundo estão degradados (DIAS, 2016). Estima-se que a cada cinco segundos, uma

superfície de terra equivalente a um campo de futebol é degradada. Se permanecer nesse ritmo, mais de 90% de todos os solos do planeta podem estar desgastados até 2050 (AGÊNCIA EFE, 2019).

Dentre os principais fatores de degradação, destaca-se a erosão hídrica, que pode ocorrer de forma acelerada devido ao uso e manejo inadequado do solo (PRUSKI, 2009). Como resultados, podem ser citados diversos impactos ambientais, como perda de fertilidade do solo, assoreamento dos cursos d'água, espécies da fauna e flora ameaçadas em extinção e mudanças climáticas (MARTINS, 2013), que acabam provocando outros graves problemas de ordem econômica e social, como riscos de desabamentos em encostas, prejuízos na produção agropecuária e disponibilidade de alimentos.

Com isso, admite-se a necessidade e urgência em promover ações de conservação dos solos e recuperação das áreas degradadas. Atualmente, existem técnicas edáficas, vegetativas e mecânicas, que são escolhidas de acordo com as especificidades de cada situação. No Brasil, essas propostas são definidas a partir da elaboração de um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), que deve seguir as orientações da legislação vigente, mas que não consideram as características intrínsecas do solo. Esta pesquisa pretende, portanto, avaliar a importância da realização de ensaios geotécnicos para a elaboração de um PRAD, por meio de um estudo de caso de duas voçorocas em Minas Gerais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Áreas degradadas e PRAD

A área degradada é aquela que perdeu a sua resiliência, isto é, a capacidade de suportar perturbações ambientais e retornar a sua tendência sucessionária, mantendo sua estrutura e padrão geral de comportamento (ICMBIO, 2014). Assim, a área degradada pode ser caracterizada como um ecossistema que não é capaz de repor as perdas de matéria orgânica do solo, nutrientes, biomassa e banco de sementes, além de possuir parte de sua vegetação e fauna destruída, removida ou expulsa, com perdas da camada fértil de solo e alterações do sistema hídrico. Tal degradação ameaça a produtividade de alimentos e a qualidade das águas (IBAMA, 1990).

O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) deve conter informações, diagnósticos, levantamentos e estudos que permitam a avaliação da degradação e a consequente definição de medidas adequadas à recuperação da área. Os métodos e técnicas a serem empregados variam de acordo com as peculiaridades de cada local, podendo atuar de forma isolada ou conjunta, de preferência os que possuem eficácia já comprovada (ICMBIO, 2014).

A Instrução Normativa nº 4 (IBAMA, 2011) estabelece as exigências mínimas, as principais diretrizes e orientações técnicas para nortear a elaboração do PRAD, que deve seguir o modelo do Termo de Referência. Também deve-se apresentar planilhas com o detalhamento dos custos e cronogramas de todas as atividades previstas, relatórios semestrais de monitoramento, vistorias e avaliações para verificar a efetividade da recuperação.

2.2 Erosões e voçorocas

Em regiões com predominância de clima tropical e alto índice pluviométrico, o tipo de erosão mais ocorrente é causado pela ação da água da chuva, recebendo o nome de erosão pluvial, que é um dos tipos mais comuns no Brasil. Pode-se diferenciar a erosão hídrica em interna e superficial. As erosões internas são causadas devido ao elevado gradiente hidráulico, podendo ser em forma de *piping* ou esqueletização. Já as erosões superficiais ocorrem devido ao impacto da chuva e ao escoamento da água (MASCARENHA *et al.*, 2015). Os quatro tipos de erosão, em ordem crescente de gravidade são: erosão laminar, erosão em sulcos, erosão por ravinamento e erosão por voçorocamento.

As voçorocas, portanto, são o estágio mais avançado e complexo da erosão, podendo ser definidas como ravinas de grandes dimensões, que surgem a partir da grande concentração de fluxo devido, principalmente, a atividades antrópicas, conforme Martins (2013). As principais causas são o uso incorreto do solo, sem a adoção de técnicas de conservação do mesmo e a ineficácia do sistema de drenagem para conter o escoamento. Com alto poder destrutivo, além da erosão superficial e interna do solo, podem também ocasionar solapamentos, desabamentos e escorregamentos no terreno. Para avaliar a erodibilidade de um solo, podem ser realizados ensaios diretos e/ou indiretos em laboratório.

3 LOCAL DE ESTUDO

O estudo de caso foi realizado em áreas degradadas de duas localidades, a saber: a voçoroca 1, situada no Jardim Botânico da UFJF, em Juiz de Fora; e a voçoroca 2 em uma área degradada decorrente da instalação da Ferrovia do Aço, em Lagoa Dourada, ambas em Minas Gerais (Figura 1).



Figura 1. Voçoroca 1 (Juiz de Fora – MG) e Voçoroca 2 (Lagoa Dourada – MG).

O solo da voçoroca 1 já havia sido alvo de estudos de erodibilidade por Carvalho *et al.* (2022). Pelo ensaio de caracterização física, o solo predominante de formação da voçoroca foi classificado como areia siltosa e pelos ensaios de desagregação e dispersão, o solo apresentou comportamento moderadamente dispersivo. Em levantamento altimétrico feito em Magalhães (2021) com drone, foram constatadas as seguintes medições: profundidade de 4 m, extensão longitudinal de 16,5 m e extensão transversal variando de 0,5 m a 4,5 m. O perímetro foi calculado em 40,08 m e a área (em projeção horizontal) de 36,9 m², sendo identificada como uma voçoroca de pequeno porte e profundidade média, segundo a classificação de Tavares *et al.* (2008).

A voçoroca 2, por sua vez, compreende uma área degradada adjacente à ferrovia, que foi estudada por Neves (2019). O solo predominante da feição erosiva foi classificado como areia silte-argilosa. A causa da degradação se deve às obras de infraestrutura necessárias para o atendimento dos critérios de projeto para a construção da linha férrea. Essas obras compreendem as atividades de terraplenagem e a implantação de um sistema de drenagem superficial que teve dimensionamento inadequado, além da falta de manutenção e a supressão de vegetação nativa, que agravou o escoamento superficial. Ainda observou-se que se o processo erosivo não for controlado há risco da voçoroca atingir a encosta que se encontra à beira da ferrovia, podendo comprometer sua segurança e ocasionar prejuízos ambientais, sociais e econômicos.

4 METODOLOGIA

Como mencionado, o solo da voçoroca 1 já havia sido analisado quanto à caracterização física, dispersão e desagregação em pesquisas anteriores. Assim, para dar continuidade a sua análise, foram coletadas amostras deformadas para sua caracterização química; 16 amostras indeformadas utilizando anéis metálicos de 6 cm de diâmetro e 2 cm de altura, para realizar o ensaio de cisalhamento direto; e 5 amostras de blocos indeformados de aresta de 10 cm e altura 5 cm para o ensaio de Inderbitzen modificado.

Para voçoroca 2, foram coletadas 7 amostras deformadas do solo para caracterização física, 5 amostras indeformadas para o ensaio de dispersão, 7 amostras indeformadas para o ensaio de desagregação e 2 amostras indeformadas para o ensaio de cisalhamento direto.

A caracterização química foi feita conforme o Manual de Métodos de Análises de Solo (EMBRAPA, 2017), a partir da análise dos seguintes parâmetros: matéria orgânica, capacidade de troca catiônica efetiva e potencial, soma de bases, saturação por alumínio e por bases, teores trocáveis de Ca, K, Mg e disponível de P.

A caracterização física consistiu na determinação da massa específica, da granulometria e dos limites de consistência. A análise granulométrica com defloculante seguiu as orientações da NBR 7181 (ABNT, 2016).

O ensaio de cisalhamento direto, feito com base na norma americana D3080-98 (ASTM, 1998), baseia-se diretamente no critério de Mohr-Coulomb, onde aplica-se uma tensão normal em uma amostra de solo e verifica-se a tensão cisalhante que provoca a ruptura. Com os resultados obtidos é possível traçar a envoltória de resistência e, assim, determinar os parâmetros de interesse: intercepto coesivo (c) e ângulo de atrito (ϕ).

Esses parâmetros foram utilizados para identificar qual o ângulo máximo de inclinação do talude na análise de estabilidade, realizada através do programa SLOPE/W.

O ensaio de dispersão seguiu as orientações da NBR 13601 (ABNT, 1996) em solução 0.001 N de NaOH e também em água destilada. O ensaio de desagregação seguiu o proposto por Santos e Camapum (1998 *apud* RODRIGUEZ, 2005).

O ensaio de Inderbitzen é composto por fonte de gotejamento, rampa gradeada e recipientes para coleta. Com o resultado em valores de perdas de solo, é possível estimar o fator de erodibilidade, avaliando a erosão superficial do solo. O procedimento seguiu as instruções de Grandó (2011) e o equipamento utilizado em Vieira *et al.* (2017).

Por fim, o PRAD conceitual para ambas áreas degradadas foi elaborado seguindo os capítulos X, XI e XII do Termo de Referência contido na Instrução Normativa nº 4 (IBAMA, 2011), que abordam as técnicas de implantação, manutenção e monitoramento do projeto de recuperação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Voçoroca 1

Pelo ensaio de caracterização química, identificou-se uma acidez elevada do solo, baixos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e, principalmente, de matéria orgânica, além do alto índice de saturação por alumínio. A correção dessas deficiências pode ser feita por meio de um tratamento do solo com calagem e adubação, que vão prepará-lo para receber posteriormente a cobertura vegetal.

Dentre as 16 amostras que foram coletadas, 13 foram aptas para o ensaio de cisalhamento direto, obtendo-se o gráfico da envoltória de resistência (Figura 2) e os parâmetros médios, conforme os dados de Magalhães (2021). O intercepto coesivo foi nulo, como esperado para solo areno-siltoso (não argiloso) e o coeficiente angular a reta ajustada foi de 0,7674, que corresponde ao ângulo de atrito de $37,5^\circ$.

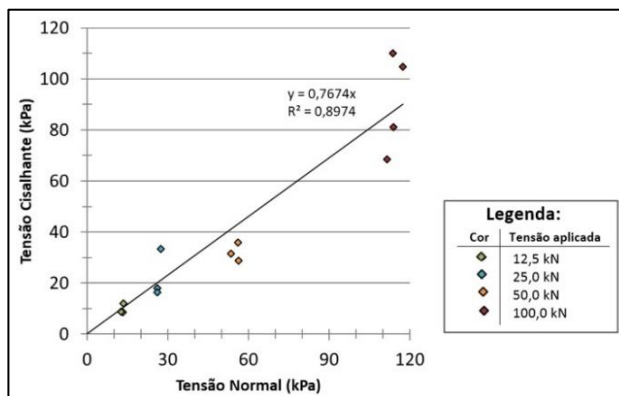


Figura 2. Envoltória de resistência para voçoroca 1.

Utilizando esses parâmetros na análise de estabilidade, por meio do Método Morgenstern e Price e fixando o fator de segurança em 1,2, foi obtido geometricamente o ângulo de estabilidade do talude de $32,4^\circ$, como pode-se observar na Figura 3. De acordo com esta análise, o objeto de estudo tende a ruptura superficial planar, que pode ser corrigido por meio do revestimento com cobertura vegetal.

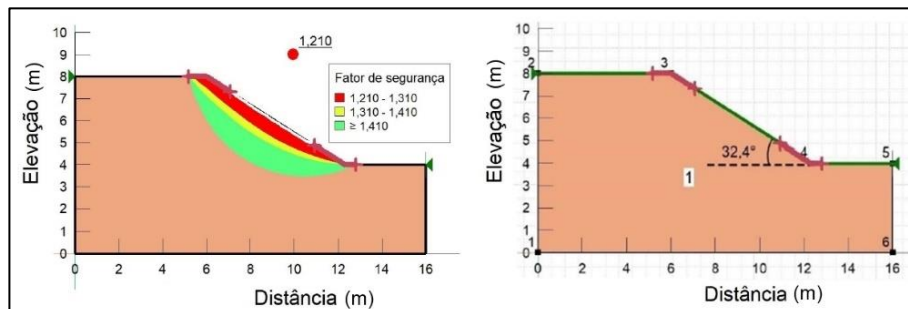


Figura 3. Análise de estabilidade do talude da voçoroca 1.

No ensaio de Inderbitzen modificado, realizado em rampa com inclinação de 32° , o solo apresentou tendência de ser erodido rapidamente, logo nos primeiros instantes de gotejamento. As velocidades atingiram valores muito altos, com picos no primeiro minuto variando entre $273 \text{ g/cm}^2/\text{h}$ e $405 \text{ g/cm}^2/\text{h}$. A velocidade final, aos 3 minutos de ensaio, variou de $141 \text{ g/cm}^2/\text{h}$ a $175 \text{ g/cm}^2/\text{h}$. Logo, todas as amostras foram classificadas na faixa menos resistente à erosão.

Considerando os resultados das análises físicas, químicas, de erodibilidade e resistência ao cisalhamento realizadas em laboratório, foram elaboradas as propostas de intervenção para recuperação da área.

Após as etapas iniciais de cercamento da área, construção de aceiros contra queimadas, combate a formigas e limpeza do terreno, tem-se então a etapa de terraplanagem (corte e aterro). De acordo com a análise de estabilidade, a reconformação do terreno deve atender a inclinação do talude de no máximo 32° , de forma que a altura máxima das paredes da voçoroca seja reduzida para 3 metros. Na Figura 4 observa-se uma ilustração do perfil longitudinal do terreno e as áreas de corte e aterro, com valores aproximados.

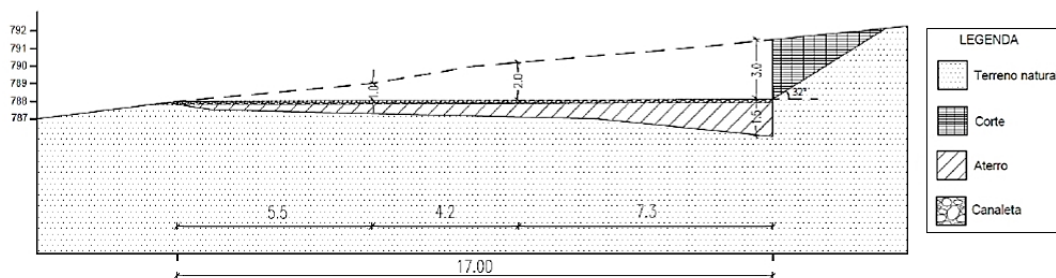


Figura 4. Esboço do perfil do terreno com as áreas de corte e aterro para voçoroca 1.

Em seguida, devem ser feitas as obras de drenagem, que consistem em: uma canaleta ao fundo do talude para redirecionar as águas que, eventualmente, passarem pela feição erosiva; uma canaleta de crista à montante da voçoroca, para diminuir o fluxo de água na região; e uma terceira canaleta que atuaria como uma descida d'água, seguindo o caimento da água da chuva. À jusante, poderia ser conectada uma bacia de dissipação e uma barreira viva de capim vetiver associada aos biorretentores de sedimentos.

A etapa seguinte consiste no preparo do solo com adubação e calagem, de forma a reduzir sua acidez e aumentar sua fertilidade para permitir o desenvolvimento da vegetação. Primeiramente, realiza-se a semeadura do mix de sementes que, em geral, contempla de 6 a 8 espécies, de preferência uma associação entre gramíneas e leguminosas. Além disso, recomenda-se o plantio de espécies arbóreas e arbustivas, tanto na região à montante da voçoroca, formando uma barreira vegetativa, como no seu entorno, ao longo da face do talude, a fim de promover o reflorestamento da área. Enquanto as espécies não se desenvolvem, recomenda-se a utilização de biorretentores de sedimentos associados ao capim vetiver, e a colocação de biomanta para proteção imediata do talude. A Figura 5 apresenta um esboço (ilustrativo) em planta, das técnicas escolhidas para o projeto de recuperação.

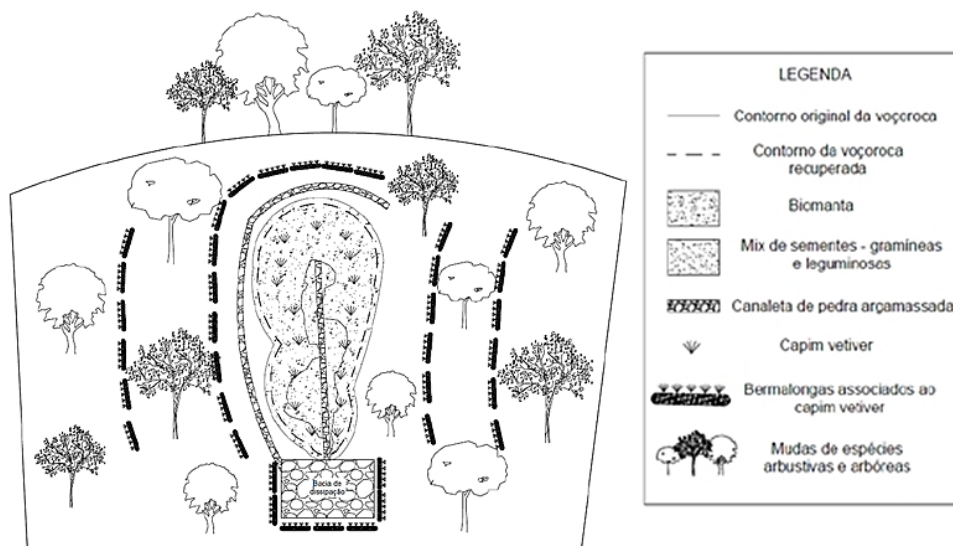


Figura 5. Croqui com as técnicas de recuperação escolhidas para voçoroca 1.

5.2 Voçoroca 2

Conforme os resultados obtidos por Neves *et al.* (2020), a voçoroca 2 apresenta: solo superficial com teores de areia acima de 65% (predomínio de areia grossa), além de silte e argila, sendo classificando como areia-silte-argilosa; solo sub-superficial siltoso com alto teor de argila, cerca de 31%, parâmetro considerado como resistente à erosão para a maioria dos autores, devido ao seu efeito agregador, classificando-se como silte-argilo-arenoso.

Pelo ensaio de dispersão, 3 amostras apresentaram susceptibilidade à erosão por abatimento e fraturamento parcial, de forma que os fenômenos observados durante o ensaio foram similares aos observado em campo, enquanto 2 amostras permaneceram sem resposta ao longo do ensaio.

Pelo ensaio de desagregação, somente 1 amostra foi considerada de comportamento não-dispersivo, enquanto 5 amostras apresentaram comportamento moderadamente dispersivo e 1 obteve comportamento fortemente dispersivo. O comportamento dispersivo da argila indica que esta se comporta como colóide na presença de água e é facilmente carregada com o escoamento superficial, contribuindo para a evolução da erosão. Com o ensaio de cisalhamento direto foi possível construir a envoltória de ruptura do solo (Figura 6) e assim determinar o ângulo de atrito e o intercepto coesivo para a condição saturada. Estes valores foram de $31,1^\circ$ e 6,4 kPa.

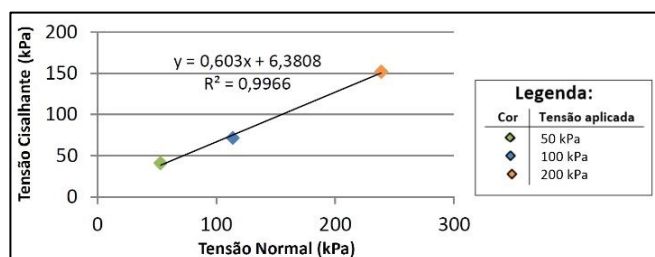


Figura 6. Envoltória de resistência para voçoroca 2.

Para essa área, o ângulo de inclinação adotado para os taludes foi de 30° , proposto de acordo com o valor do ângulo de atrito obtido com os resultados do ensaio de cisalhamento direto. Foi realizada a análise de estabilidade para a geometria proposta, conforme mostra a Figura 7. O valor do fator de segurança foi acima de 1,8 para ambas as faces, atendendo ao mínimo de 1,5 exigido pela norma da NBR 11.682 (ABNT, 2009).

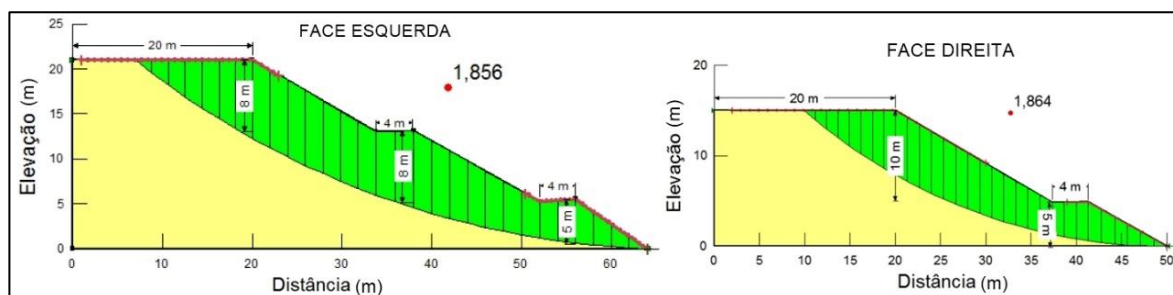


Figura 7. Análise de estabilidade do talude da voçoroca 2.

A partir dos resultados dos ensaios, foram então planejadas as medidas de minimização da ação dos agentes erosivos e de recuperação ambiental do sítio degradado. As etapas iniciais consistem no isolamento da área, abertura de aceiros, controle de espécies invasoras e formigas, microcoveamento, correção do pH e adubação do solo. isolamento da área e abertura de aceiros, controle de espécies invasoras e de formigas, microcoveamento, correção do pH e adubação do solo.

Quanto aos dispositivos de drenagem, para desviar as águas de chuva à montante, recomenda-se a abertura uma canaleta verde, revestida por biomanta, a uma distância de 10 m acima da voçoroca. Acima da canaleta verde recomenda-se o plantio de espécies arbustivas e arbóreas, herbáceas leguminosas e gramíneas para reduzir a energia cinética do escoamento superficial, o impacto das gotas de chuva e o volume de água que chega. As canaletas verdes também devem ser implantadas ao longo de cada berma, para captar e conduzir o escoamento superficial à escada hidráulica. Na parte central do talude pode-se implantar um dissipador de energia constituído de geogrelha e geocomposto antierosivo, que conduzirá a água até o ribeirão, que dista cerca de 220 m do final do conjunto de voçorocas.

O retaludamento deve seguir a inclinação de 30° , conforme esboço do perfil e seções de corte e aterro (Figura 8). A proposta considerou o escalonamento ao longo de toda a voçoroca, de forma a formar um platô central de cerca de 12 m de comprimento, procurando seguir a forma atual do terreno e o sentido natural do escoamento da água da chuva. A largura das bermas adotada foi de 4 m e, inclinação de 3% em direção ao eixo do aterro. Recomenda-se a aplicação de biorretentores, em linhas horizontais ao longo das faces do talude, com espaçamento de 3 m entre as linhas a fim de reduzir a energia do escoamento superficial sobre o talude, além de reter os sedimentos que venham a ser carreados.

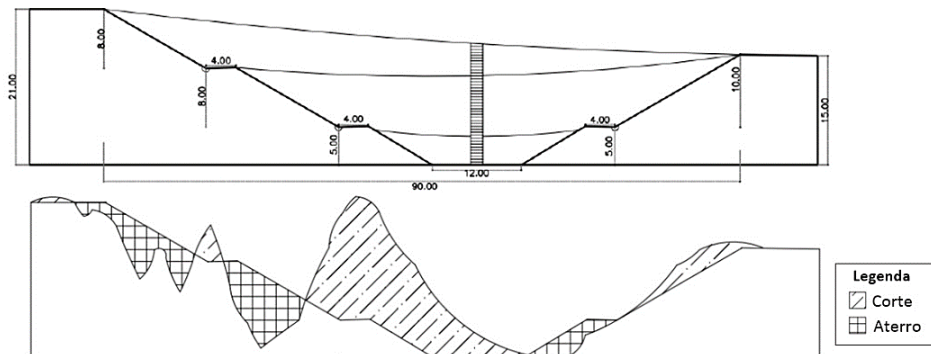


Figura 8. Esboço do perfil do terreno com as áreas de corte e aterro para voçoroca 2.

Ao longo das bermas e taludes será realizada a hidrossemeadura de um mix de gramíneas e leguminosas. A revegetação deve ser realizada com espécies nativas, de acordo com Código Florestal e deve-se verificar, junto ao órgão ambiental, a possibilidade de introdução de espécies exóticas. O capim vetiver, por exemplo, é uma gramínea de origem indiana com várias aplicações e amplamente utilizado na estabilização de encostas e proteção de cursos d'água, além de ser adaptável a qualquer tipo de solo e clima. A planta pode chegar até 1,50 m de altura e forma uma barreira vegetal viva, causando o efeito de grampeamento natural das encostas devido ao seu sistema radicular denso e resistente, de 3 a 5 m de profundidade. As medidas para o sistema de drenagem e revegetação propostas para a voçoroca 2 encontram-se no esboço em planta da Figura 9.

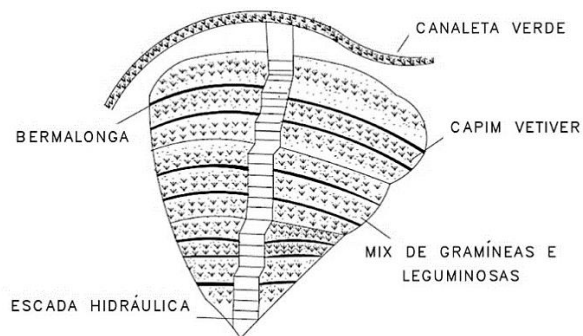


Figura 9. Croqui com as medidas de recuperação escolhidas para voçoroca 2.

6 CONCLUSÃO

Com a realização dos ensaios foi possível: obter a caracterização física e química do solo, identificando sua qualidade; analisar o comportamento dos solos e a tendência quanto à erodibilidade; definir os parâmetros de resistência e fazer a análise de estabilidade dos taludes. Dessa forma, permitiu-se o embasamento da origem dos processos erosivos em estudo, a compreensão de sua evolução, a identificação dos possíveis riscos e uma maior segurança na escolha das medidas de recuperação mais adequadas a cada situação específica. Assim, confirmou-se a importância da realização de diferentes ensaios geotécnicos para a elaboração dos Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1996). NBR 13601. *Solo - Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio do torrão (Crumb test)*. Rio de Janeiro.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181. *Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Agência EFE (2019). *Erosão do solo pode reduzir rendimento de plantações pela metade, diz ONU*. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/05/15/erosao-do-solo-pode-reduzir-rendimento-de-plantacoes-pela-metade-diz-onu.ghtml>>. Acesso em: 01 set. 2022.
- ASTM International (1998). D3080: *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*.
- Carvalho, L. et al. (2022) *Avaliação da Erodibilidade dos Solos da Erosão do Jardim Botânico de Juiz de Fora*. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), Campinas. 8 p.
- Dias, C. (2016) *Estudo revela que 30% dos solos do mundo estão degradados*. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/14343883/estudo-revela-que-30-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>>. Acesso em: 16 ago. 2022.
- Embrapa (2017). *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos. 574 p.
- Grando, A. (2011) *Monitoramento e modelagem hidrossedimentológica em uma microbacia hidrográfica experimental*. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 175 p.
- Ibama (1990). *Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração*. Brasília: IBAMA. 96 p.
- Ibama (2011). *Instrução Normativa nº 4*. Disponível em: <www.ctpconsultoria.com.br/pdf/Instrucao-Normativa-IBAMA-04-de-13-04-2011.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- ICMBio (2014). *Instrução Normativa nº 11*. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Instrucao_normativa/2014/in_icmbio_11_2014_estabelece_procedimentos_prad.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- Magalhães, L. (2021) *Uso de ensaios geotécnicos na concepção de projetos de recuperação de áreas degradadas: estudo de caso da voçoroca do Jardim Botânico da UFJF, em Juiz de Fora (MG)*. Dissertação de Mestrado. Juiz de Fora: UFJF. 221 p.
- Martins, S. (2013) *Recuperação de áreas degradadas: como recuperar áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e áreas de mineração*. 3. ed. Viçosa: Aprenda Fácil. 264 p.
- Mascarenha, M. et al. (2015) *Erosão*. In: Camapum de Carvalho et al. (Orgs.), *Solos não saturados no contexto geotécnico*. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.
- Neves, S. (2019) *Passivo ambiental da implantação da Ferrovia do Aço: origem e projeto conceitual de recuperação de área degradada*. Trabalho de conclusão de curso. Juiz de Fora: UFJF. 165 p.
- Neves, S. et al. (2020). *Avaliação da erodibilidade dos solos de uma voçoroca localizada no município de Lagoa Dourada – MG*. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), Campinas. 8 p.
- Pruski, F. (2009) *Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica*. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV. 279 p.
- Rodriguez, T. (2005) *Proposta de classificação geotécnica para colúvios brasileiros*. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 370 p.
- Tavares, S. et al. (2008) *Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 228 p.
- Vieira, L. et al. (2017) *Influência da erosão na estabilidade de talude rodoviário*. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 12., Florianópolis. Anais... ABMS. 8 p.