

**Comportamento geotécnico de uma Voçoroca localizada no *Campus Alto*
Paraopeba, em Ouro Branco, MG.**

**Geotechnical behavior of a Voçoroca located on the *Campus Alto* Paraopeba, in
Ouro Branco, MG.**

DOI:10.34117/bjdv6n5-458

Recebimento dos originais: 13/04/2020

Aceitação para publicação: 22/05/2020

Alanah Alexandra Paiva dos Reis

Formação acadêmica: Mestranda em Infraestrutura Aeronáutica

Instituição: Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Endereço: Rua Jordão Monteiro Ferreira, 23, apto. 11, Jardim Aparecida, São José dos Campos – SP,
Brasil

E-mail: reيسانalah@gmail.com

Amanda Caldeira de Oliveira

Formação acadêmica: Graduada em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei

Endereço: Rua Padre Eustáquio, 265, apto. 103, Carlos Prates, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: amandacaldeira95@gmail.com

Jair Malta do Nascimento Júnior

Formação acadêmica: Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei

Endereço: Avenida Patriótica, 210, Siderurgia, Ouro Branco - MG, Brasil

E-mail: j.malta97@hotmail.com

Juliane Cristina Romualdo

Formação acadêmica: Graduada em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei

Endereço: Rua Murilo Augusto Rezende, 816, São João, Conselheiro Lafaiete – MG, Brasil

E-mail: juliane.cromualdo@yahoo.com.br

Laís Vieira Romão

Formação acadêmica: Graduada em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei

Endereço: Rua Nossa Senhora da Conceição, 1459, Morro da Mina, Conselheiro Lafaiete – MG, Brasil

E-mail: lais-vr@hotmail.com

Tales Moreira de Oliveira

Formação acadêmica: Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa
Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei
Endereço: Rodovia MG 443, km 7, Ouro Branco – MG, Brasil,
E-mail: tales@ufsj.edu.br

Vitor Moraes da Cruz

Formação acadêmica: Graduado em Engenharia Civil
Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei
Endereço: Rua Professor Eugênio Verona, 114, Lourdes, Conselheiro Lafaiete – MG, Brasil
E-mail: vitordacruz_600@hotmail.com

RESUMO

A região do Alto Paraopeba está inserida numa Formação Geológica Geotécnica de grande potencial erosivo e a aproximadamente doze anos, no *Campus* Alto Paraopeba, da Universidade Federal de São João Del-Rei, cidade de Ouro Branco, Minas Gerais, instalou-se um processo erosivo que atualmente encontra-se no estágio de uma voçoroca, classificada segundo a metodologia de Oliveira (1999) como do tipo II, desconectada. Em consequência deste processo existem riscos potenciais à segurança do *Campus* inclusive levando à ruptura de uma das pistas de acesso. Com o propósito de entender a gênese e a concepção de um modelo geológico geotécnico para voçoroca, avaliar a estabilidade dos taludes formados pelo aprofundamento da ravinação e levantar a perda média anual de material inconsolidado, desenvolveu-se um estudo geológico da região. Estudou-se um levantamento planialtimétrico, executado por aerofotogrametria, com uso de drone e caracterizou-se o solo local por meio de ensaios de campo e laboratório. Os resultados obtidos mostram que a voçoroca possui em média, uma perda de partículas na ordem de 1580,5m³ por ano. Além disso, o solo presente tem origem em rocha metamórfica gnáissica, apresentando composição amplamente heterogênea. O solo indicou ainda condição de argilas pré-adensadas e comportamento bilinear quando submetido ao ensaio de cisalhamento direto. Esses resultados permitiram entender então, os processos geotécnicos responsáveis pela formação da voçoroca e a sua evolução.

Palavras-Chave: Erosão, Voçoroca, Geotecnia, Solo, Meio ambiente, Alto Paraopeba.

ABSTRACT

The Alto Paraopeba area is part of a Geological Geotechnical Formation with high erosive potential and approximately twelve years ago, at the Campus Alto Paraopeba of the Federal University of São João Del-Rei, in Ouro Branco, MG, started an erosion process that now has reached the status of gully, classified by Oliveira's method (1999) as type II, disconnected. As consequence of this process there are potential risks to the Campus's safety including leading one of the access lanes to rupture. With the purpose to understand the genesis and the concept of the gully's geological geotechnical model, assess the stability of the slopes formed by the ravines deepening and estimate the annual unconsolidated material loss, a geological study of the area was carried out. A study of a planialtimetric survey, conducted by aero photogrammetry using a drone device, was made as well as characterization of the local soil through laboratory and field testing. The results show the gully has an average particle loss of 1580,5 m³ per year. In addition, the present soil has origins in gneiss rock, showing a very widely heterogenous composition. Also, the soil indicated conditions of pre consolidated clay and bilinear

behavior when submitted to direct shear testing. Therefore, the results allowed to understand the geotechnical processes responsible for the erosion formation and its development.

Key Words: Erosion, Gullies, Geotechnical, Soil, Environment, Alto Paraopeba.

1 INTRODUÇÃO

A degradação e o transporte do solo ou rocha pela ação de agentes intempéricos como a água e o vento recebe o nome de erosão, palavra que provém do latim *erodere* e significa “corroer”. A evolução da erosão ao longo do tempo depende de características geológicas e geomorfológicas da região em degradação. Além disso, fatores externos, como escoamento superficial, ações antrópicas, e fatores internos, como potencial de erodibilidade do solo, também influenciam diretamente no processo erosivo (Carvalho et al. 2017).

Se tratando de erosões hídricas, essas se iniciam de forma laminar. Conforme Rocha (2007), nesse estágio ocorre a remoção suave de uma camada fina de material inconsolidado. Quando há concentração de água e a energia do fluxo superficial aumenta, a erosão passa a ser linear. O primeiro estágio recebe o nome de sulco, onde há o início da formação de canais. Quando há o aprofundamento do sulco em virtude da continuidade do fluxo concentrado, denomina-se ravina. O último estágio da erosão hídrica recebe o nome de voçoroca. Segundo Guerra (2005), as voçorocas são canais d'água intermitentes onde há o fluxo da água durante e após as chuvas. As voçorocas, diferentemente das ravinas, não podem ser recuperadas por operação manual ou simplificada, podendo levar a graves problemas ambientais, sociais e econômicos, como empobrecimento do solo, riscos à segurança e alto investimento para a sua recuperação (Lima, 2016).

Nos taludes da porção sudoeste do *Campus* Alto Paraopeba (CAP), da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), em Ouro Branco, Minas Gerais, iniciou-se um processo erosivo a aproximadamente doze anos. No decorrer do tempo, a degradação evoluiu para voçoroca e atualmente o local apresenta riscos de acidentes, além de ter comprometido parte de uma das vias de acesso ao *Campus* (Figura 1).



Campos Alto Paraopeba

Figura 1. Localização da voçoroca no CAP (Google Earth, 2018).

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo o entendimento do processo de formação da voçoroca explicado à luz da geotecnia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para atender o objetivo proposto, foi elaborado um esquema, constituído de quatro fases interdependentes como mostrado na Figura 2.

A primeira fase consistiu em uma análise preliminar do local, onde foram verificados aspectos como geologia local, avaliação do processo erosivo, por meio de arquivo fotográfico aéreo, e visita técnica à área de estudo.

Na segunda etapa realizou-se um estudo do volume médio de perda anual de partículas através de um levantamento planialtimétrico realizado por Souza (2018). Com o auxílio de um veículo aéreo não tripulado (VANT), popularmente conhecido como drone, o sobrevoo resultou no geoprocessamento da voçoroca através da retirada de aerofotografias em alta resolução. Aliado ao VANT, foi utilizado um receptor de GNSS (do inglês: *Global Navigation Satellite System*) que teve a função de fazer a orientação geodésica das ortofotos, para obtenção de um mosaico georreferenciado e de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Assim, foi possível obter um estudo planialtimétrico da área e do volume, que serviu de base para o cálculo da perda média de partículas da voçoroca.

A terceira etapa consistiu na definição do perfil geológico-geotécnico do terreno a partir de sete sondagens de simples reconhecimento tipo SPT realizada no entorno da voçoroca. Inicialmente foi observado a aproximação entre os números de golpes de todos os furos, a classificação do solo e a profundidade de cada camada. Assim, o perfil geral foi realizado alinhando os resultados da sondagem,

a fim de se verificar a ligação entre as camadas e determinar a estratigrafia do terreno presente na região da voçoroca.

Para caracterizar e entender o comportamento do solo, foram retiradas 6 amostras do interior da voçoroca a uma profundidade de aproximadamente 6 metros. Assim, realizaram-se os seguintes ensaios:

- Análise Granulométrica – ABNT NBR 7181/1984;
- Limite de Liquidez – ABNT NBR 6459/1984;
- Limite de Plasticidade – ABNT NBR 7180/1984;
- Massa Específica dos Sólidos – ABNT NBR 6508/1984;
- Perda de Massa por Imersão – DNER-ME 256/94;
- Adensamento – ABNT NBR 12007/1984;
- Cisalhamento Direto – ASTM D3080/11.

A partir destes resultados, e dos perfis geológicos-geotécnicos obtidos foi possível analisar a estabilidade dos taludes em 4 seções consideradas críticas devido às suas proximidades às edificações da Universidade. Os métodos utilizados foram Bishop Simplificado, Morgenstern-Price e Spencer, através do *software* Slide. Além disso, foi analisado as curvas de nível do perfil topográfico da voçoroca. Para classificá-la foi levado em consideração a concepção de Oliveira (1999). De acordo com o autor, as voçorocas podem ser classificadas em três padrões principais:

- Tipo I: Conectada à rede hidrológica da região;
- Tipo II: Desconectada à rede hidrológica da região;
- Tipo III: Interação entre os tipos I e II.

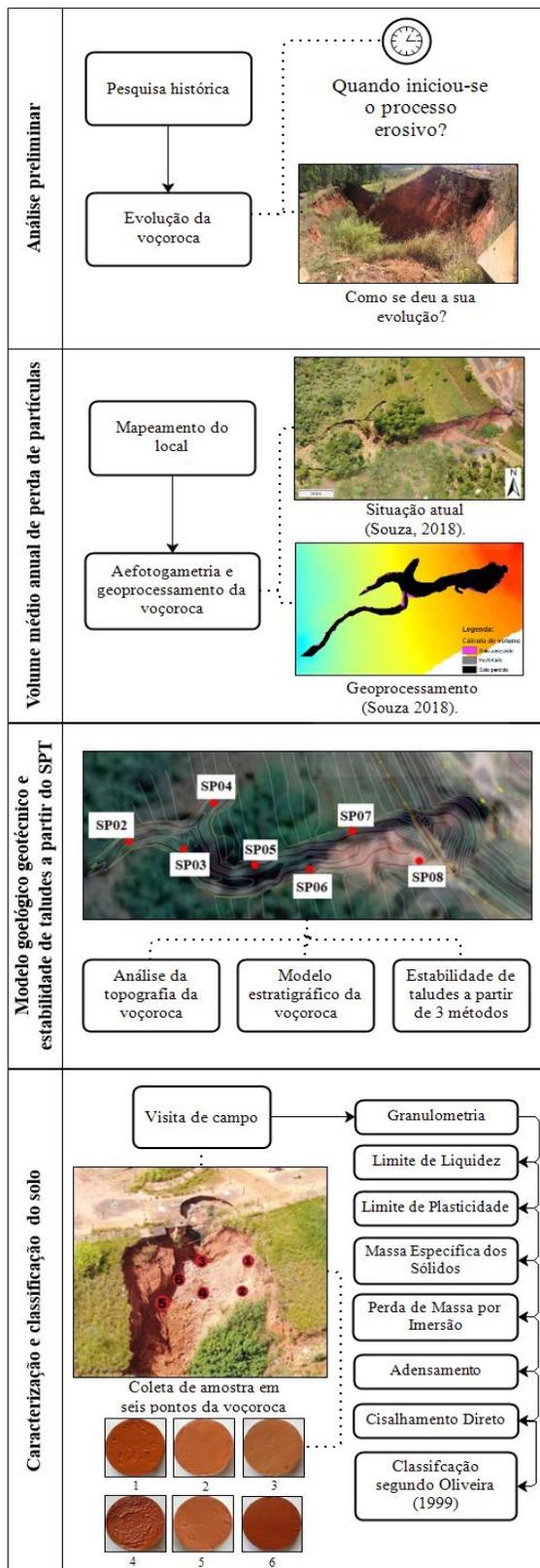


Figura 2. Modelo esquemático da metodologia utilizada.

3 RESULTADOS

3.1 ASPECTOS GERAIS DO CAMPUS

O *Campus* Alto Paraopeba (CAP), da UFSJ, está localizado no município de Ouro Branco, em Minas Gerais, distando aproximadamente 100 km da capital mineira, Belo Horizonte, e se instala em uma altitude média de 1.067m (CODAP, 2010).

Ouro Branco faz parte também do Quadrilátero Ferrífero. Assim como os demais solos encontrados nessa região, os solos presentes na voçoroca, são considerados muito ácidos. Isso é explicado pela presença dos óxidos de ferro que tendem a tonar o pH mais baixo e a cobertura vegetal herbácea, característica de Campos limpos (Lemes, 2009).

Segundo Azevedo et. al. (2012), o *Campus* Alto Paraopeba se encontra em uma área de formação geológica originada por rochas metassedimentares e metavulcânicas pertencentes ao Supergrupo Rio das Velhas. Ele é constituído majoritariamente por ortogneisses do tipo tonalito-trondhjemitó-granodiorito (TTG) de idade arqueana, ou seja, 2,61 – 2,78 bilhões de anos (CPRM, 2011 apud Tresse, 2018). Segundo Lima, Vasconcelos e Gomes (2014), o conjunto TTG compõe uma associação gnáissica de alto grau intrudida, composta por diversos minerais, dentre eles o quartzo, feldspato e biotita.

3.2 PROCESSO EVOLUTIVO DA VOÇOROCA

Não se sabe ao certo em que momento foi deflagrado o processo erosivo em questão. De acordo com Ferreira e Santos (2015), em março de 2006 (Figura 3) a erosão já se apresentava como ravina devido ao aprofundamento, mas visualmente não havia tomado grandes proporções.

O volume erodido foi aumentando de forma gradual, com maior desprendimento de partículas e a erosão não cresceu em relação à jusante, quando se observa a Figura 4, o que indicou que o vetor de desenvolvimento da erosão era no sentido da cabeceira.

É evidente que os movimentos de massa ocorreram de forma desordenada e que ao atingir o nível de voçoroca passou a ter uma conformação mais retangular na cabeceira, levando inclusive a instabilidade e ruptura de parte da via de acesso ao *Campus*. (Figura 5).



Figura 3. Vista aérea da erosão em 2006.



Figura 4. Vista aérea da erosão em 2011.



Figura 5. Vista aérea da erosão em 2018 (Souza,2018).

3.3 VOLUME MÉDIO ANUAL DE PERDA DE PARTÍCULAS

O geoprocessamento de dados, a partir do levantamento planialtimétrico realizado por Souza (2018), permitiu estimar os atuais volume e área de projeção da voçoroca: 18.966m^3 e 3.995m^2 . Além disso, o comprimento encontrado foi de 180m e profundidade de máxima de 12m. De posse destes dados e do ano de início do processo erosivo, foi possível estimar o volume médio anual de perda de partículas em $1.580,5\text{ m}^3/\text{ano}$ de material inconsolidado.

3.4 ANÁLISE DA TOPOGRAFIA E DOS RESULTADOS DO ENSAIO SPT

A topografia analisada da voçoroca apresentou valores elevados de inclinação, com as curvas de nível apresentando diferenças de até 15m.

Através das sete sondagens tipo SPT realizadas, concebeu-se o perfil geológico-geotécnico da voçoroca localizada no *Campus* Alto Paraopeba (CAP), como mostrado na Figura 6.

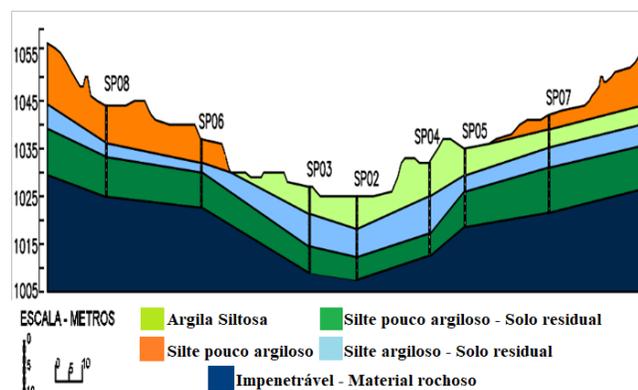


Figura 6. Perfil estratigráfico da Voçoroca localizada no CAP - Pontos de SPT em série.

3.5 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Nas primeiras visitas em campo, procurou-se identificar aspectos que pudessem indicar o estado atual da erosão. Verificou-se que os taludes apresentaram pouca ou nenhuma recomposição vegetal, o que indica que a erosão ainda se encontra ativa, além de apresentar solo solto. Foi notada também a presença de uma rede pluvial aparente e com desvios de água drenado para o interior da voçoroca, apresentando então, fluxo maior que o escoamento superficial natural. Também foi possível identificar diversas trincas de tração inseridas nas paredes da voçoroca.

Devido à insegurança ao acesso no interior da voçoroca, não foi possível identificar visualmente o afloramento do nível d'água. Contudo, na sondagem tipo SPT realizada em agosto de 2018, com profundidades que variaram de 14,45 m a 20,45 m, em nenhum dos sete furos executados encontrou-se nível d'água.

Assim é possível classificar a voçoroca, segundo a metodologia de Oliveira (1999), como voçoroca do tipo II, ou seja, desconectada da rede hidrológica do local, sendo predominantemente erodida pelo fluxo superficial e outros movimentos de massa.

3.5.1 Ensaio de caracterização

Inicialmente foi realizado uma análise tátil visual das amostras, permitindo obter uma classificação prévia da textura do solo. Todas as amostras apresentaram pouca aspereza.

Quase todas as amostras apresentaram coesão suficiente para se moldar corpos de prova, exceto a Amostra 3, que apresentou baixíssima coesão. Analisando a resistência de torrões de solo seco, observou-se que em todas as amostras, os torrões apresentaram pouca resistência quando quebrados. Dispersando os solos em água, verificou-se média velocidade de sedimentação. Já em relação à impregnação do solo

úmido na palma da mão, foi observado que todas as amostras saíram com certa dificuldade quando colocadas em água corrente.

Os parâmetros obtidos após as análises experimentais das amostras de solo, como Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IC), Perda de Massa por Imersão (PMI) e Massa Específica (ρ) estão exibidos na Tabela 1.

De acordo com as curvas granulométricas, os solos apresentaram maior porcentagem de silte, variando de 56,13% a 82,00% entre as amostras. Além disso, foi possível classificar as amostras de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos solos (SUCS) como solo siltoso ou argilas de plasticidade média a alta.

Tabela 1. Resultado das análises por amostra

Amostras	LL (%)	LP (%)	IP (%)	PMI (%)	ρ (g/cm ³)	SUCS
1	51,50	33,33	18,17	5,16	2,775	MH
2	63,00	32,72	30,28	1,22	2,775	CH
3	42,34	28,90	13,44	58,63	2,657	CH
4	63,24	33,75	29,49	0,78	2,751	CH
5	72,71	39,79	32,92	25,82	2,764	MH
6	54,37	37,01	17,36	24,18	3,268	MH

MH – Silte; CH – Argilas de plasticidade média a alta.

A Tabela 2 resume os resultados, mostrando as médias e o desvio padrão, bem como a variação existente em cada ensaio.

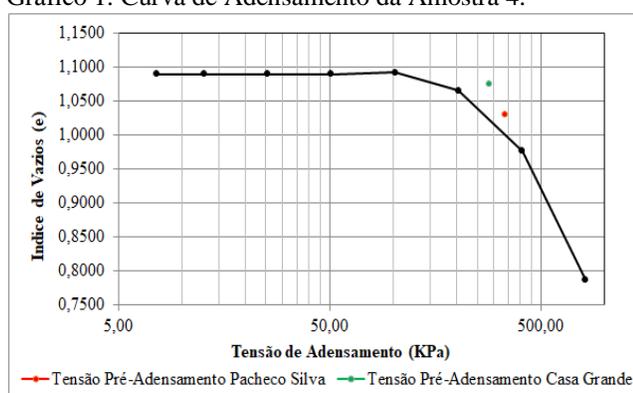
Tabela 2. Variação dos ensaios de caracterização das amostras.

Parâmetros	Média	Desvio padrão	Faixa de valores
LL (%)	57,86	9,74	48.12 - 67.6
LP (%)	34,25	3,42	30.83 - 37.67
IP (%)	23,61	7,50	16.11 - 31.11
PMI (%)	19,30	20,34	0,00 - 39,64
ρ (g/cm ³)	2,83	0,20	2.63 - 3.03

3.5.2 Ensaio de Adensamento

O ensaio de adensamento unidimensional foi realizado com a Amostra 4, em sete estágios de carregamento com tensões iguais a: 7,64 kPa, 12,74 kPa, 25,47 kPa, 50,94 kPa, 101,88 kPa, 203,77 kPa, 407,54 kPa e 815,08 kPa. O Gráfico 1 mostra a curva de Índices de Vazios x Tensão de Adensamento gerada a partir dos resultados. A partir da curva é possível estimar a tensão de pré-adensamento da Amostra 4 pelos métodos de Pacheco Silva e Casa Grande, respectivamente, como 338,84 kPa e 286,00 kPa. Isso resultou numa tensão de pré-adensamento média de 312,42 kPa.

Gráfico 1. Curva de Adensamento da Amostra 4.

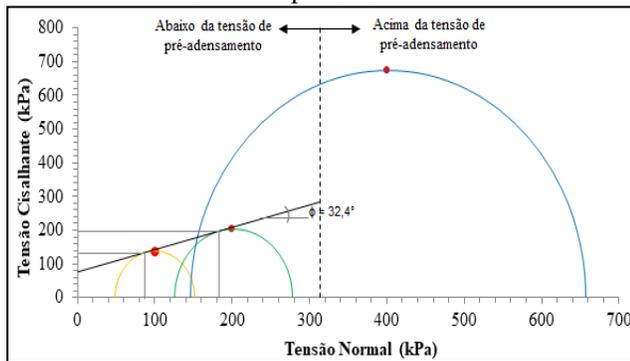


A razão de pré-adensamento, ou OCR, estimada para a Amostra 4, que possui peso específico aparente de 26,99 kN/m³, é de 1,93.

3.5.3 Ensaio de Cisalhamento Direto

O Gráfico 2 abaixo mostra os resultados dos ensaios de cisalhamento direto realizados para 3 corpos de prova da Amostra 4, para diferentes tensões normais (100 kPa, 200 kPa e 400 kPa). A coesão encontrada foi de 80 kPa e o ângulo de atrito foi de 32,4°.

Gráfico 2. Envoltória de ruptura da Amostra 4.



3.6 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DAS PAREDES DA VOÇOROCA

De posse do perfil estratigráfico apresentado na Figura 6 e com base nos resultados de todos os ensaios realizados, a estabilidade das paredes formadas pelo processo erosivo foi analisada em quatro seções consideradas mais críticas. As seções foram as 5, 6, 7 e 8 que passam pelos furos SP05, SP06, SP07 e SP08 de acordo com a Figura 7.

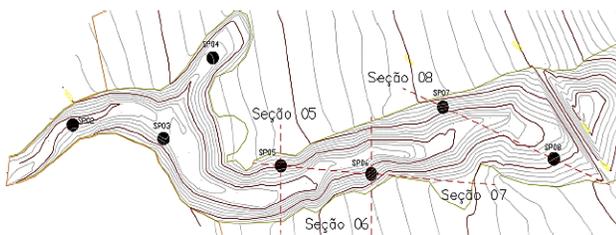


Figura 7. Seções analisadas para a estabilidade de taludes.

Os resultados da análise de estabilidade são mostrados na Tabela 3 que apresenta os fatores de segurança de cada seção analisada. Os fatores foram calculados pelo software *Slide* utilizando 3 métodos diferentes.

Tabela 3. Fatores de segurança.

Seção	Lado da Seção	Fator de Segurança		
		Método de Bishop Simplificado	Método de Morgenstern-Price	Método de Spencer
05	Esquerdo	1,731	1,792	1,815
	Direito	1,489	1,493	1,479
06	Esquerdo	1,294	1,324	1,326
	Direito	1,899	1,924	1,923
07	Esquerdo	2,635	2,652	2,658

	Direito	2,174	2,175	2,168
08	Esquerdo	1,910	1,922	1,916
	Direito	2,620	2,611	2,613

4 DISCUSSÃO

O solo estudado proveniente da voçoroca localizada no CAP possui origem em rochas metamórficas de gnaiss, cuja composição mineralógica tende a ser amplamente diversificada. Isso dá fortes indícios para justificar a variabilidade dos resultados de caracterização nas seis amostras estudadas. A variação da coloração das amostras é outro indício que corrobora a esta afirmação, mesmo estas sendo retiradas de locais tão próximos.

Como ressaltado por Lemes (2009), o solo encontrado nesta região apresenta pH ácido e vegetação predominantemente rasteira. Por sua vez, esse tipo de vegetação favorece a formação de fluxos superficiais concentrados, o que facilita o desenvolvimento do processo erosivo através de sulcos e como visto na Figura 3, a erosão se iniciou em um talude na qual a vegetação é rasteira. Além disso, a inclinação dos taludes, mostrada pela diferença elevada das curvas de níveis, determina uma alta velocidade do escoamento superficial, fazendo com que o processo erosivo se intensifique ainda mais.

Segundo a classificação SUCS, uma porção das amostras são CH (argilas de plasticidade média a alta) e a outra MH (solos siltosos), contrastando em partes com a análise granulométrica e o perfil geológico gerado pela análise dos ensaios SPT (Figura 6) que mostraram uma maior porção de silte. Todavia, a classificação SUCS não foge da realidade, uma vez que o solo apresenta elevado índice de plasticidade, característica de solos argilosos. Assim, é possível concluir que o solo da voçoroca é tipicamente constituído de silte argiloso. Este tipo de solo tende a apresentar baixo coeficiente de permeabilidade o que corrobora para uma maior intensidade de escoamento, já que o volume infiltrado tende a ser baixo.

No presente estudo, a taxa de perda de massa por imersão (PMI), obtida aplicando a metodologia MCT, para corpos de prova moldados, foi utilizada como parâmetro indicativo do potencial de erodibilidade do solo. Em termos médios, o solo apresentou uma PMI de 19,30%. Porém, um coeficiente de variação aproximadamente igual a 95% indica uma alta heterogeneidade, o que significa dizer que porções do solo podem apresentar-se mais estáveis que outras. Assim, avaliando-se a estabilidade global da voçoroca, mesmo que parte do solo tenha apresentado de média a baixa erodibilidade, as porções mais erodíveis tendem a perder mais massa, podendo modificar inclusive as características dos materiais vizinhos.

Em termos de estabilidade, as paredes são consideradas estáveis. Porém, a passagem e fluxo laminar

da água proveniente da chuva, acarreta perda de solos nas regiões susceptíveis a erosão e modificam a geometria do problema, podendo trazer a instabilidade.

Analisando o comportamento da Amostra 4 no ensaio de adensamento, percebe-se que a OCR é superior a 1. O solo está na faixa de comportamento de argilas pré-adensadas. A variação no estado de tensões ocasionado pela remoção de sobrecarga superficial, ou seja, pela perda de material inconsolidado originada do processo erosivo, pode ser citada como uma das causas do pré-adensamento.

Além disso, pode-se observar que no ensaio de cisalhamento direto obteve-se um comportamento bilinear, comum para solos argilosos pré-adensados. Isso significa dizer que existem mais de um par de valores de c' e ϕ' para o solo, sendo a tensão de pré-adensamento a limitante entre um comportamento e outro. Assim, os valores de c' e ϕ' considerados foram do comportamento sobreadensado.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo procurou compreender e descrever, à luz da geotecnia, o atual comportamento do solo presente em uma voçoroca encontrada no *Campus* Alto Paraopeba.

Verificou-se que o solo é residual originário majoritariamente de uma rocha ortognaisse do tipo tonalito-trondhjemitó-granodiorito (TTG), remetente à era arqueana. Por esse motivo, o solo apresenta alta variabilidade mineralógica, resultando num comportamento complexo e variável. Essa característica do solo da voçoroca levou-o a apresentar diferentes graus de erodibilidade mesmo para amostras retiradas próximas umas das outras.

Embora a análise granulométrica e o perfil geológico gerado pelos ensaios SPT apresentaram um maior percentual de silte em todos os pontos amostrais, o comportamento do solo em outros ensaios laboratoriais se aproximou ao comportamento de uma argila, indicando que os argilominerais apresentam alta atividade. Assim, foi possível caracterizá-los como silte argilosos.

Apesar dos materiais apresentarem parâmetros de resistências razoáveis e serem estáveis sobre o ponto de vista da estabilidade de taludes analisados pelo equilíbrio limite, verifica-se que a baixa permeabilidade aliada ao fluxo laminar gerado pela água da chuva, pode desencadear um processo de erodibilidade, que ocorrendo em regiões mais profundas, solapam a base ou o pé dos taludes levando, inclusive, massas de solos mais estáveis a ruptura. Isso desencadeia um processo complexo e dinâmico, resultando na intensificação da erosão que, por sua vez, depende de inúmeros fatores do ambiente local e fatores intrínsecos do material. A voçoroca do *Campus* Alto Paraopeba é complexa devido ao seu alto grau de heterogeneidade e se encontra ativa, apesar dos seus taludes se apresentarem estáveis

globalmente.

A partir desses conceitos então, este trabalho poderá auxiliar no desenvolvimento de um plano de recuperação ambiental da área degradada, na escolha da melhor solução de engenharia para a intervenção no processo evolutivo da erosão.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. *NBR 12007: ensaio de adensamento unidimensional*. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. *NBR 6459: determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. *NBR 6508: determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. *NBR 7180: determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. *NBR 7181: análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 1984.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *D3080: standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions*. West Conshohocken, 2011.
- Azevedo, Ú. R.; Machado, M. M. M.; Castro, P. T. A.; Renger, F. E.; Trevisol, A. e Beato, D. A. C. *Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG): proposta*. In: Schobbenhaus, C.; Silva, C. R. Geoparques do Brasil: propostas. RJ: CPRM, 2012. Cap. 7.
- Carvalho, J. C. et al. *Erosão em borda de reservatório*. Goiânia, Gráfica UFG, 2017. v. 3.
- CODAP – CONSÓRCIO PÚBLICO PARA DESENVOLVIMENTO DO ALTO PARAOPÉBA. *Alto Paraopeba, um dos maiores polos de desenvolvimento do país*. Revista CODAP, Conselheiro Lafaiete, edição maio, VFazitto Comunicação e Consultoria Ltda, 2010. 51 p.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 256/94 – *Solos compactados por equipamento miniatura-determinação da perda de massa por imersão*. 1994
- Ferreira, G. A. e Santos, C. M. dos. *Estudo de Avaliação da Erosão no Campus Alto Paraopeba, Ouro Branco, Minas Gerais*. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal de São João Del-Rei. Ouro Branco, Minas Gerais. 2015.

- Guerra, A. J. J. *Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos*. Revista Departamento de Geografia, São Paulo, v. 16, Universidade de São Paulo 2005. p. 32-37.
- Lemes, F. O. A. *Relações florísticas, fitossociológicas e aspectos edáficos de comunidades de campos rupestres da Serra do Itacolomi e Serra do Ouro Branco, Minas Gerais*. Dissertação de mestrado em Ecologia de Biomas Tropicais. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Minas Gerais. 2009.
- Lima, G. C.; Vasconcelos, K. A. V. e Gomes, P. I. M. A. *Terrenos Gnáissicos de Alto Grau e Zonas de Sutura*. Dissertação de mestrado em Geologia/Geotecnia. Universidade Federal do Pará. Belém, Pará. 2014.
- Lima, P. G. *Mecanismos de evolução de voçorocas e quantificação dos impactos associados por modelagem matemática: estudo de caso da voçoroca mangue seco, São Gonçalo do Baçõ (MG)*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Minas Gerais. 2016.
- Oliveira, M. A. T. *Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas*. In: *Erosão e Conservação dos Solos - Conceitos, Temas e Aplicações*. RJ: Bertrand Brasil, 1999. p. 57-94.
- Rocha, E. A. V. *Avaliação do processo evolutivo e da dinâmica erosiva: um estudo de caso no município de Ipameri-GO*. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais. 2007.
- Souza, R. M. *Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) para mapeamento de voçoroca em Ouro Branco, MG, Brasil, e avaliação de perda de solo para proposição de alternativas de tratamento*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2018.
- Tresse, T. S. *Caracterização geotécnica do campo experimental na Universidade Federal de São João Del Rei*. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal de São João Del-Rei. Ouro Branco, Minas Gerais. 2018.