

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia
técnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



Proposta de metodologia laboratorial para tratamento do solo com cal para prevenção de erosão hídrica em taludes de pilha de estéril

Marcela Laert Moreira
Mestranda, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, marcela.laert09@gmail.com

Cecília Ribeiro Tourino Costa
Engenheira Civil, TEC3, Belo Horizonte, Brasil, ctourino@tec3engenharia.com.br

Aloysio Portugal Maia Saliba
Professor Adjunto, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, aloysiosaliba@gmail.com

Karla Cristina Araújo Pimentel
Coordenadora de Geotecnia, Vale S.A., Belo Horizonte, Brasil, kpimentel.maia@gmail.com

RESUMO: Estudos têm sido realizados avaliando a influência da cal na erodibilidade do solo, nos quais foi observado o aumento da resistência à erosão. Ainda não existem pesquisas sobre a aplicação desta técnica em taludes de pilha de estéril, estruturas estas que em muitos casos não recebem um sistema de proteção contra a erosão. Sabendo-se que o tratamento de solo com cal apresenta potencial de uso na prevenção de erosão hídrica, este estudo tem como objetivo verificar sua eficiência em laboratório e propor uma metodologia para o tratamento em taludes de pilha de estéril. Serão realizados ensaios de desagregação, perda de massa por imersão pela metodologia MCT e ensaio Inderbitzen modificado com simulador de chuva, em amostras de solo com diferentes porcentagens de cal em massa, 0% (de referência), 1%, 2%, 3% e 4%, conforme indicado na literatura. O equipamento Inderbitzen modificado será construído contendo um simulador de chuva para considerar a erosão superficial causada pelo o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. A configuração do ensaio também irá atender a aspectos como densidade e inclinação característica de pilha de estéril. A partir dos resultados será proposta uma metodologia da aplicação da técnica. Este artigo apresenta uma revisão sobre aspectos relacionados à estabilização de solos com cal, erosão hídrica em pilhas de estéril e a metodologia a ser empregada na pesquisa, a qual se encontra em desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE: Erosão, Estabilização do Solo, Cal, Pilha de Estéril.

ABSTRACT: Studies have been carried out evaluating the influence of lime on soil erodibility, in which an increase in erosion resistance was observed. There are still no researches on the application of this technique on sterile pile slopes, structures that in many cases do not receive an erosion protection system. Knowing that soil treatment with lime has potential for use in preventing water erosion, this study aims to verify its efficiency in the laboratory and propose a methodology for the treatment in slopes of a mine waste dump. Slaking tests, mass loss by immersion by the MCT methodology and modified Inderbitzen test with a rain simulator will be carried out in soil samples with different percentages of lime in mass, 0% (reference), 1%, 2%, 3% and 4%, as indicated in the literature. The modified Inderbitzen equipment will be built containing a rain simulator to consider surface erosion caused by the impact of raindrops on the soil surface, the test set-up will also meet aspects such as density and slope characteristic of the waste pile. Based on the results, a methodology for applying the technique will be proposed. This article presents a review of aspects related to soil stabilization with lime, water erosion in mine waste dump and the methodology to be used in the research, which is under development.

KEYWORDS: Erosion, Soil Stabilization, Lime, Mine Waste Dump.

1 Introdução



O Brasil é um país de dimensões continentais e tipologias climáticas com apreciável amplitude térmica e regime de chuvas intenso na maior parte de sua extensão territorial (Nimer, 1979). Este ambiente propício ao intemperismo deu origem a uma diversidade de solos, com comportamentos distintos (Vargas, 1978). Essa diversidade propicia uma grande variabilidade da resistência à erosão hídrica dos solos brasileiros, encontrando-se tipologias de solos que suportam fluxos concentrados com velocidades de escoamento apreciáveis, como é o caso dos solos lateríticos, até tipologias que sofrem processos erosivos intensos mesmo em condições in situ, quando expostos ao impacto das gotas de chuva, como é o caso dos solos residuais de gnaisse na região de Itabira, MG (Couto *et al.*, 2016).

O processo erosivo trata-se de um fenômeno natural que modifica o solo, participando da sua formação. No entanto, as ações antrópicas aceleram este processo por meio da remoção da vegetação, do uso inadequado e da ocupação indevida. As diferentes obras de engenharia, tais como construções de rodovias, taludes de corte e aterro, barragens, em geral, são concebidas e construídas sem uma preocupação clara e definida quanto aos processos erosivos que poderão ocorrer na fase de construção e de utilização (Camapum de Carvalho *et al.*, 2006).

Conforme Camapum de Carvalho *et al.* (2001), a erosão provocada pela água de chuva, associada ou não aos processos de erosão interna e esqueletização, tem início com a erosão superficial, também chamada laminar, podendo em seguida e, em ordem cronológica, passar pelas fases de formação de sulcos, ravinas e voçorocas. Na erosão superficial provocada por chuva, estão envolvidos os agentes erosivos, que correspondem à ação das gotas de chuva, do escoamento superficial e de fluidos agressivos. Sendo assim, a prevenção da erosão superficial causada pela chuva, influencia diretamente na prevenção de erosões mais graves como as voçorocas.

A estabilização de solos com cal é uma técnica consolidada no mundo todo para construção de aterros em estradas. Tem como principal resultado o aumento da coesão e da resistência mecânica, desencadeado pelas reações químicas entre os constituintes mineralógicos do solo, em especial a argila, e a cal (Eades *et al.*, 1966; Little, 1995; Bell, 1996; dash e Hussain, 2011; Herrier, *et al.*, 2012).

Alguns estudos têm sido realizados avaliando a influência do tratamento de cal na erodibilidade do solo, dentre eles Herrier *et al.* (2014) e Nascimento *et al.* (2019), demonstrando a redução da erodibilidade do solo com o uso da técnica. Os autores concluíram que os valores típicos variam entre 1% e 5% em massa.

Ainda não existem pesquisas sobre a aplicação desta técnica em taludes de pilha de estéril, estruturas estas que em muitos casos não recebem um sistema de proteção contra a erosão.

Sabendo-se que o tratamento de solo com cal apresenta potencial de uso na prevenção de erosão hídrica, este estudo tem como objetivo verificar sua eficiência em laboratório e propor uma metodologia para o tratamento em taludes de pilha de estéril.

Para isso, serão realizados em laboratório ensaios de desagregação, perda de massa por imersão pela metodologia MCT e ensaio Inderbitzen modificado com simulador de chuva, em amostras de solo com diferentes porcentagens de cal em massa, 0% (de referência), 1%, 2%, 3% e 4%, conforme Herrier *et al.* (2014) e Nascimento *et al.* (2019).

O equipamento Inderbitzen modificado será construído contendo um simulador de chuva para considerar a erosão superficial causada pelo o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, a configuração do ensaio também irá atender a aspectos como densidade e inclinação característica de pilha de estéril.

A partir dos resultados será proposta uma metodologia da aplicação da técnica.

Este artigo apresenta uma revisão sobre aspectos relacionados à estabilização de solos com cal, erosão hídrica em pilhas de estéril e a metodologia a ser empregada na pesquisa, a qual se encontra em desenvolvimento.

2 Estabilização de Solo com Cal

O mecanismo da estabilização do solo pela cal ocorre por meio de diversas reações químicas de curto e longo prazo, onde a estrutura do solo é modificada e consequentemente suas propriedades. A cal melhora a



capacidade dos grãos de argila se ligarem à água na sua superfície, e também pode evoluir para a produção de ligações cimentícias que agregam resistência ao solo (Little, 1995).

As primeiras reações são as chamadas de troca iônica, que ocorrem na superfície da estrutura dos argilominerais, que possuem em sua superfície cátions tais como Mg^{2+} , Na^{+} e K^{+} , prontamente substituídos pelos cátions fortes Ca^{2+} presentes na cal. Por promover uma maior atração entre a camada da superfície desses argilominerais, o solo apresenta menores mudanças quanto ao volume em presença da água (CPR, 2014).

O mecanismo seguinte é chamado de floculação/aglomeração entre as partículas de argila, causando uma aproximação elétrica entre as mesmas e a cal, que permite apenas a água de adsorção entre as partículas de solo e cal. Essa aproximação reduz a quantidade de água que o solo suporta sem comprometer sua estrutura. Este fenômeno causa uma redução no índice de plasticidade do solo, pelo aumento do limite de plasticidade e/ou a diminuição do limite liquidez, e aumento da resistência devido ao atrito entre as partículas (Azevêdo, 2010).

As reações pozolânicas, que possuem ação cimentante, ocorrem entre a sílica e o alumínio presentes no solo em reação com a cal hidratada. Little (1995) refere-se à ocorrência das ligações pozolânicas como um fator para a estabilização do solo, nas quais silicatos de cálcio hidratados e alumínio hidratados de cálcio são formados. Azevêdo (2010) ressalta que a cimentação de origem pozolânica gera uma maior resistência contra a ação da água, devido à maior coesão entre as partículas. O mesmo autor ainda aponta que o solo estabilizado pela cal não pode ser tratado como impermeável, porém como um solo que sofre mais lentamente devido à erosividade da água.

Alguns estudos têm sido realizados avaliando a influência do tratamento de cal na erodibilidade do solo. Dentre eles, Herrier *et al.* (2014), avaliaram o tratamento do solo com cal como um material resistente à erosão em um dique de terra. Segundo os autores o solo tratado com cal pode ser considerado um material "cimentado", em que ligações coesivas entre as partículas finas do solo são induzidas pela ação da cal. O aumento da coesão deve-se também pelas chamadas reações pozolânicas entre a cal, as partículas de sílica e alumina dissolvidas, a argila e a água, com acréscimo significativo de resistência se comparado ao solo não tratado. Também foi observado que o tratamento com cal diminuiu a permeabilidade e aumentou a resistência à erosão interna e superficial do solo.

3 A Erosão Hídrica em Pilha de estéril

O estéril representa o material resultante do decapeamento, incluindo o solo nas partes superiores do perfil estratigráfico, cuja remoção se torna necessária para a lavra do minério. Podendo ser composto por partículas de rochas e de solo com diferentes granulometrias, contendo também ar, água e matéria orgânica. Tal material não possui valor econômico agregado, porém, necessita ser transportado e estocado. A disposição do estéril é comumente feita sob a forma de pilhas, conforme mostra a Figura 1, e a construção destas estruturas corresponde a uma parcela significativa nos custos de uma empresa de mineração (Petronilho, 2010).

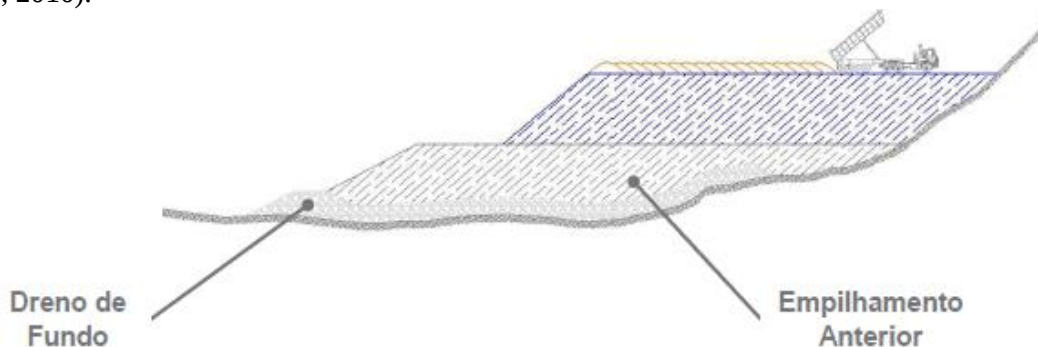


Figura 1: Disposição do estéril. Empilhamento Ascendente ou *Bottom Up*. (Fonte: Maia, 2018).



Estudos geotécnicos, assim como os estudos hidrológicos e hidrogeológicos das pilhas de estéril são extremamente importantes, visando à segurança e estabilidade dessas estruturas. Problemas relacionados à saturação do maciço, devido à inexistência de sistemas de drenagem adequados, e às características de resistência do material de fundação e do estéril, podem gerar grandes deformações. Estas deformações, por sua vez, podem aumentar o custo relativo à manutenção do depósito, além de causar grande impacto ambiental (Saliba, 2007).

Segundo McCarte (1990), as pilhas frequentemente alcançam áreas extensas e determinados cuidados necessitam ser estabelecidos para controlar o escoamento superficial. A água superficial deve ser direcionada de modo a impedir a saturação dos taludes, para evitar o desenvolvimento de superfície freática dentro da pilha de estéril, para proteger a estrutura contra a perda de finos por piping, além de minimizar erosões e rupturas por fluxo de água na face externa do talude. A água pluvial deve ser coletada e encaminhada para o sistema de canal de drenagem superficial.

Na prática, não são incomuns casos em que os taludes de pilhas de estéril não recebem um sistema de proteção contra a erosão durante a fase de operação, que pode se estender por vários períodos chuvosos.

A pilha de deposição de estéril produz sedimentos provenientes da erosão hidráulica que podem ser ocasionados pela perda de solo devido às chuvas e também por problemas no sistema de drenagem superficial da pilha. A geração de sedimentos provocada pelos processos erosivos se torna um grande problema ambiental, uma vez que todo o material carregado, se não controlado, tende a invadir áreas naturais, muitas vezes protegidas ambientalmente, assoreando cursos de água, prejudicando o bom desenvolvimento da vida aquática e da vida útil dos cursos d'água. Portanto, processos erosivos em taludes de pilha de estéril podem acarretar prejuízos estruturais, econômicos e ambientais (Camapum de Carvalho *et al.*, 2006; Gomes, 2012).

Uma prática comum é a construção de uma barragem, ou dique, de contenção de sedimentos gerados por erosão da pilha de estéril, localizado a jusante da pilha. Trata-se de uma solução que não é totalmente eficiente, pois a retenção da fração fina dos materiais estéreis transportados depende de uma geometria de reservatório particularmente alongada e profunda, associadas a baixas velocidades de escoamento. Adicionalmente, barragens e diques trazem consigo riscos relativos à ruptura, que devem ser gerenciados. Diante disto, torna-se mais vantajoso a prevenção da erosão em detrimento da contenção dos sedimentos gerados por processos erosivos provenientes da pilha.

Atualmente, existem diversas técnicas utilizadas para prevenção do desenvolvimento de processos erosivos em taludes de obras civis que também podem ser aplicadas à taludes de pilhas de estéril da atividade minerária, dentre elas, recobrimento vegetal, hidro-semeadura, geossintéticos, biomantas, concreto projetado, barreiras contra fluxo, emulsão asfáltica, dentre outras. Na prática, muitas vezes os taludes de pilha de estéril não recebem proteção adequada devido à grande extensão das áreas a serem protegidas e ao alto custo relativo das alternativas mais conhecidas.

É também comum que os taludes permaneçam sem proteção até que uma área significativa seja criada, de forma a reduzir o custo unitário de aplicação da solução escolhida permitindo, assim, que fiquem expostos às intempéries e, conseqüentemente, aos processos erosivos.

Outro problema importante que a prevenção da erosão superficial na face externa do talude de pilha de estéril pode evitar é a evolução para os próximos estágios de erosão mais profunda (sulco, ravina, voçoroca), que podem ocasionar mais perda de solo, e conseqüentemente a geração de mais sedimentos além de comprometer a estabilidade geotécnica do talude por alterar sua geometria a ponto de induzir a ocorrência de rupturas profundas de extrema gravidade (Saliba, 2009).

4 Materiais e Métodos

A Figura 2 apresenta a metodologia a ser seguida na realização do trabalho.

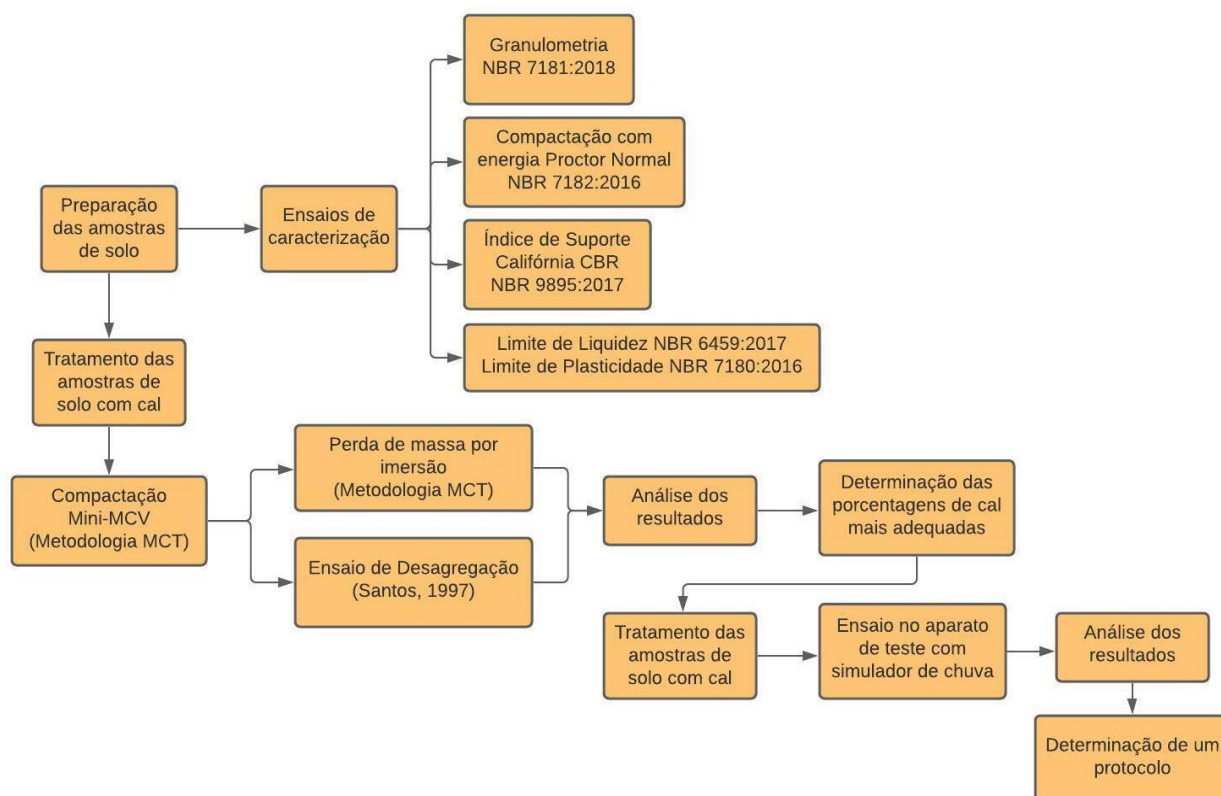


Figura 2: Metodologia do trabalho. (Fonte: Elaborado pela autora).

As amostras de solo utilizadas neste estudo foram coletadas de um campo experimental localizado no Centro de Pesquisa e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (CPH-UFGM), o qual se encontra na região de mapeamento das classes de solo latossolos e argissolo, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Os latossolos e argissolos representam 65,23% da área de Minas Gerais.

O solo foi retirado a uma profundidade de aproximadamente 1,0 m e foi classificado na análise tátil-visual como uma argila areno siltosa vermelha.

Com intuito de caracterizar o solo, foram realizados ensaios de granulometria, seguindo as especificações preconizadas pela norma NBR 7181:2018. O solo possui uma fração fina (partículas com diâmetro inferior a 0,075 mm) relevante, correspondente a 70% e de argila (partículas com diâmetro inferior a 0,005 mm) em torno de 58%, necessária para a ocorrência de ligações coesivas induzidas pela ação da cal.

Para se obter os parâmetros de massa específica aparente seca máxima (1,51g/cm³) e teor de umidade ótima (20,7%) foram realizados ensaios de compactação com energia Proctor Normal, segundo as recomendações da NBR 7182:2016 e Índice de Suporte Califórnia CBR (5%) segundo as recomendações da NBR 9895:2017. Para a realização dos ensaios de desagregação e perda de massa por imersão das amostras, serão moldados corpos de prova na umidade ótima (20,7%).

Foram realizados ensaios para determinação do limite de liquidez e do limite de plasticidade (LP = 32%, IP = 21%) segundo as recomendações NBR 6459:2017 e NBR 7180:2016, respectivamente, caracterizando um solo de plasticidade média.

Para verificar uma potencial ocorrência do aumento da resistência à erosão de solos tratados com cal, serão realizados testes de erodibilidade a partir do ensaio de desagregação (Santos, 1997) e do ensaio de perda de massa por imersão segundo a metodologia MCT (Nogami e Villibor, 1981), em amostras com diferentes porcentagens de cal em massa, 0% (de referência), 1%, 2%, 3% e 4%, conforme Herrier *et al.* (2014) e Nascimento *et al.* (2019). Para a execução do ensaio de desagregação, os corpos de prova também serão moldados, compactados e, completamente extraídos, a partir do ensaio de compactação mini-MCV.



O ensaio de desagregação (Santos, 1997), também conhecido como slaking test, evoluiu do chamado crumb test (Holmgren e Flanagan, 1977), ensaio preconizado para identificação de solos dispersivos através da imersão de agregados de solo em água. Como desagregação (ou slaking) entende-se o processo de ruína de uma amostra de solo não confinada, exposta ao ar e na sequência imersa em água (Moriwaki e Mitchell, 1977). O objetivo maior deste ensaio é a verificação da estabilidade à desagregação de uma amostra de solo cúbica ou cilíndrica, independente da dispersão do material. A aplicação do ensaio de desagregação para fins geotécnicos foi idealizada pela engenheira Anna Margarida Fonseca, ao estudar propriedades dos solos para fins de fundação durante a construção de Brasília (Sales *et al.*, 2017)

O ensaio de desagregação a ser utilizado no presente estudo foi prescrito por Santos (1997) e prevê a realização do ensaio por imersão parcial e total em uma amostra de solo cilíndrica. No ensaio de desagregação submetido à imersão total, inunda-se o corpo de prova totalmente, instantaneamente, permanecendo assim por 24 horas. Para o ensaio de imersão parcial, a amostra é disposta em uma pedra porosa e a água é adicionada até a base da amostra. O corpo de prova é mantido nessa situação por 30 minutos. Em seguida, em etapas, adiciona-se água até a altura de 1/3 do corpo de prova, 2/3 e completa imersão do mesmo, aguardando 15 minutos em cada uma das etapas. Após a completa imersão, mantém-se o solo nesta condição por 24 h.

Após realização dos ensaios de erodibilidade será realizada a análise dos resultados obtidos e a verificação se houve redução significativa na erodibilidade do solo e a determinação das porcentagens de cal mais adequadas que serão utilizadas no ensaio Inderbitzen modificado com simulador de chuva.

O equipamento Inderbitzen modificado será construído contendo um simulador de chuva para considerar a erosão superficial causada pelo o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. O ensaio de Inderbitzen foi introduzido no Brasil na década de 1970 e posteriormente vários pesquisadores modificaram o ensaio original com a finalidade de simular o efeito da chuva ou de outras propriedades (Thoma, 2021).

Conforme mostra a Figura 3 o equipamento será constituído por uma rampa com inclinação característica de pilha de estéril em estágio subsequente à disposição, tipicamente 1,0 V: 1,5 H, que será colocada uma caixa experimental (1m de comprimento, por 0,5m de largura e 0,10 m de espessura) preenchida com o solo, com e sem tratamento com cal, que será submetida a um simulador de chuva. O simulador de chuva será composto por aspersores (sprinklers) para obter chuvas de diferentes intensidades, considerando o regime hidrológico característico da região de estudo. Para quantificar a perda de solo ocorrida durante a simulação de chuva será coletado o material transportado durante o ensaio para quantificar a perda de solo.

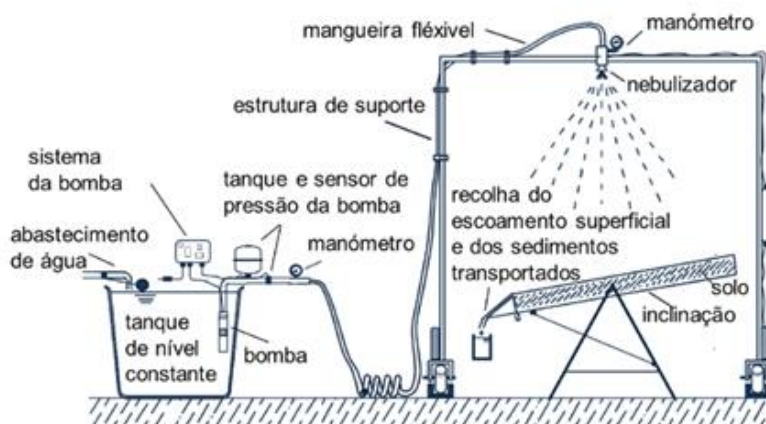


Figura 3: Representação esquemática da instalação laboratorial do simulador de chuva. (Fonte: Abrantes e de Lima, 2012 Adaptado).

A partir dos resultados será proposta uma metodologia da aplicação da técnica para aplicação em taludes de pilha de estéril.



4 Conclusões

O artigo apresentado mostra que o tratamento de solo com cal tem demonstrado redução da erodibilidade do solo e apresenta potencial de uso para aplicação em taludes de pilha de estéril. Estas estruturas muitas vezes não recebem um sistema de proteção contra a erosão em sua gênese, somente a contenção de sedimentos a partir da construção de diques localizados a jusante da pilha, que trazem consigo riscos relativos à ruptura que devem ser gerenciados. Diante disto, torna-se mais vantajoso a prevenção da erosão em detrimento da contenção dos sedimentos gerados por processos erosivos provenientes da pilha.

Como resultado da pesquisa em desenvolvimento, pretende-se verificar em laboratório a eficiência do tratamento do solo com cal na redução da erodibilidade do solo e propor uma metodologia para aplicação da técnica em taludes de pilha de estéril.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, J. R.C.B.O.; DE LIMA, J. L.M.P. (2012) *Modelação hidrológica de zonas urbanas costeiras em laboratório com recurso a simulador de chuva e a canal de terra*. Conference: 15º Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental, At Évora, Portugal. DOI: 10.13140/2.1.5023.2645.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) NBR 7180. *Solo - Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) NBR 7182. *Solo - ensaio de compactação*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2017) NBR 6459. *Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2017) NBR 9895. *Solo - Índice de Suporte Califórnia*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2018) NBR 7181. *Solo — Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- AZEVEDO, A. L. C. (2010) *Estabilização de solos com adição de cal. Um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal*. Dissertação de mestrado. Engenharia Geotécnica, UFOP, Ouro Preto, MG. 178p.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J.; LIMA, M. C.; MORTARI, D. (2001) *Considerações sobre prevenção e controle de voçorocas*. In: 7º Simpósio nacional de controle de erosão, ABGE. Goiânia – GO. Documento eletrônico em CD-ROM, 10 p.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; DE SOUZA, N. M.; MELO, M. T. (2006) *Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro*. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC. xxxiv, 464 p.
- COUTO, B. O. C.; GOMES, R. C. FERREIRA, L. D.; PEREIRA, E. L.; CORTELETTI, R.C. (2016) *Análise de erodibilidade de dois diferentes solos no município de Itabira - MG*. IN: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Belo Horizonte, ABMS.
- CPR (2014) *Estudo do comportamento mecânico de solos estabilizados com cal hidratada*. Relatório. Concessionária Nova Dutra - Grupo CCR129p.
- DASH, S.K., HUSSAIN, M. (2011) *Lime stabilization of soils: reappraisal*. Journal of materials in civil engineering. Vol. 24, Issue 6.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1994) DNER - ME 228. *Solos – compactação em equipamento miniatura*. Rio de Janeiro.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia
técnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1996) DNER – CLA 259 *Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura*. São Paulo.
- EADES, J. L.; GRIM, R. E. (1966) *Shear strength and elastic properties of lime-soil mixtures*. Highway Research Record. Issue Number: 139.
- GOMES, L.L. (2012) *Avaliação espacial da perda de solo por erosão pela equação universal de perda do solo (EUPS) – pilha de estéril sul – Carajás/PA*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto.
- HOLMGREN, G. G. S.; FLANAGAN, C. P. (1977) *Factors affecting spontaneous dispersion of soil materials as evidenced by the crumb test*. Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects, ASTM STP 623, Eds. J. L. Sherard and R. S. Decker, American Society for Testing and Materials, pp. 218-239.
- HERRIER, G.; CHEVALIER, C.; FROUMENTIN, M.; CUISINIER, O.; BONELLI, S. (2012) *Lime treated soil as an erosion-resistant material for hydraulic earthen structures*. 6th International Conference on Scour and Erosion, Paris, France. 8 p.
- HERRIER, G.; LECONTE, P.; NERINCX, N.; BONELLI, S.; MERCIER, F.; FRY, J.; TACKER, P.; PUIATTI, D. (2014) *Lime treated soil as an erosion-resistant material for hydraulic earthen structures: state of the art and presentation of the french digue elite project*. Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction Rostock, 10-12 April.
- MAIA, A. (2018) *Pilhas na Mineração. Uso e Aspectos de Projeto*. Universidade Federal de Minas Gerais. Notas de aula.
- McCarter, M. K. (1990). Design and Operating Considerations for Mine Waste Embankments. Source: Surface Mining, p. 890 - 899.
- NASCIMENTO, R. O.; MASCARENHA, M. M. A.; ANGELIM, R. R.; OLIVEIRA, R.B.; SALES, M. M.; LUZ, M. P. (2019) *Uso de solução de cal para mitigação de processos erosivos em um solo da UHE de Itumbiara*. Geociências (São Paulo. Online), v. 38, p. 279-295
- NIMER, E.; (1979) *Clima da Região Sudeste*. In: Geografia do Brasil. Rio de Janeiro/IBGE, Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. ISBN: 8524002824.
- PETRONILHO, M. R. (2010) *Avaliação do comportamento geotécnico de pilhas de estéril por meio de análises de risco*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto.
- SALES, Maurício Martines; CARVALHO, José Camapum de; MASCARENHA, Márcia Maria dos Anjos; et al. (2017) *Erosão em borda de reservatório*. Goiânia: Gráfica UFG, 2017. xxxiv, 584 p.
- SALIBA, F. P. M. (2007) *Avaliação hidrogeotécnica da fundação da pilha de estéril nº 5 da Mina do Andrade – Bela Vista de Minas (Minas Gerais)*. Dissertação (Mestrado).
- SALIBA, A. P. M. (2009) *Uma nova abordagem para análise de ruptura por galgamento de barragens homogêneas de solo compactado*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- SANTOS, R.M.M. (1997) *Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no município de Goiânia*. Brasília/DF, 120p. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- THOMA, A. C. (2021) *Equipamento de Inderbitzen modificado para simulação da erosão hídrica em Neossolo Litólico e desenvolvimento de blocos de contenção de solo-cimento para conservação do sol*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal, Diamantina. 79 p.