

## VI-027 - USO DE SISTEMAS DE COBERTURA DE SOLO NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA ATIVIDADE MINERÁRIA

**André Geraldo Cornelio Ribeiro<sup>(1)</sup>**

Professor Adjunto na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Geotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Roberto Francisco de Azevedo<sup>(2)</sup>**

Professor Titular na Universidade Federal de Viçosa (UFV). Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/RJ). PhD em Civil Engineering - University of Colorado (EUA) e Pós-Doutorado pela Concordia University/Canadá e pela Ecole Central de Paris/França.

**Luiz Fernando Coutinho de Oliveira<sup>(3)</sup>**

Professor Associado na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Engenheiro Agrícola pela Escola Superior Agrícola de Lavras (ESAL). Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Ronaldo Fia<sup>(4)</sup>**

Professor Adjunto na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Engenheiro Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Fátima Resende Luiz Fia<sup>(5)</sup>**

Professora Adjunta na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Engenheira Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Doutora em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Engenharia – BLOCO I, S/N – Campus Universitário, Universidade Federal de Lavras - Lavras - MG - CEP: 37200-000 - Brasil - Tel: (35) 2142-2188 - e-mail: [andreriibeiro@deg.ufla.br](mailto:andreriibeiro@deg.ufla.br)

### RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o estudo de um sistema de cobertura de solo do tipo evapotranspirativo com instrumentação geotécnica, cuja finalidade foi monitorar a umidade e a passagem de oxigênio nas diferentes camadas de solo e combater a Drenagem Ácida de Minas (DAM).

A DAM é uma solução aquosa e ácida gerada por minerais sulfetados de resíduos de mineração (estéril e/ou rejeito) oxidados na presença de água e oxigênio, e caso esse percolado alcance corpos hídricos, pode contaminá-los, tornando-os impróprios para o uso por um longo tempo. Foi projetado e construído um sistema de cobertura experimental do tipo evapotranspirativo, com sistema de monitoramento composto por medidores de escoamento superficial, lisímetro para medir a infiltração e instrumentação geotécnica para monitorar a umidade nas diferentes camadas de solo.

O experimento foi acompanhado durante 3 (três) anos. Paralelamente a essa atividade de campo, realizou-se no laboratório um extenso programa de ensaios que compreendeu ensaios de caracterização, compactação, permeabilidade saturada e determinação da curva de retenção de água dos solos que compuseram as camadas de cobertura.

A partir dos resultados obtidos, pode-se conhecer a variação da umidade volumétrica ao longo do perfil das camadas de solo, avaliando-se assim que o sistema de cobertura proposto evitou a formação da DAM ao longo do período estudado.

Espera-se que essa pesquisa contribua positivamente na reabilitação de áreas mineradas de forma a garantir que o fechamento da mina não comprometa a qualidade ambiental do futuro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recuperação de Áreas Degradadas, Sistemas de Cobertura, Rejeito, Mineração.

### INTRODUÇÃO

Anualmente a indústria de mineração explora centenas de milhões de toneladas de solo e rocha para extrair minerais que, após beneficiamento, servem para a produção de uma enorme quantidade de produtos fundamentais para a civilização moderna (Carrier III et al 1983).

Sabe-se que a maior parte do material explorado pelas indústrias de mineração é resíduo, estéril e/ou rejeito. Em alguns casos, como na mineração de cobre ou ouro, os rejeitos podem representar mais de 99% do minério.

Quando nos resíduos de mineração existem determinados minerais sulfetados que, em presença de água e oxigênio, são oxidados, gera-se uma solução aquosa ácida denominada drenagem ácida de minas (DAM) que, ao lixiviar, produz um percolato rico em metais dissolvidos e ácido sulfúrico. Caso esse percolato alcance corpos hídricos, pode contaminá-los, tornando-os impróprios para o uso por um longo tempo, mesmo depois de cessadas as atividades de mineração. Trata-se de um dos mais graves impactos ambientais associados à atividade de mineração (Amorim, 2008).

A ocorrência de DAM se dá principalmente na extração de ouro, carvão, cobre, zinco e urânio, bem como na disposição inadequada dos resíduos destas operações. Portanto, evitar que as superfícies de rejeitos e/ou estéreis que contêm minerais sulfetados fiquem expostas às condições oxidantes em presença de água é fundamental para a prevenção e minimização da DAM.

Uma das soluções apontadas por especialistas como viável para combater a DAM nas diversas estruturas impactadas pelas atividades minerárias (áreas mineradas, reservatório da barragem, tanques específicos, pilha de estéril, cava e reservatório de rejeitos), passa por cobri-las com sistemas de cobertura capazes de reduzir a infiltração de água e a entrada de oxigênio nas mesmas.

Segundo Amorim (2008), os sistemas de cobertura são, normalmente, divididos em dois tipos: prescritivos e evapotranspirativos.

As coberturas prescritivas utilizam-se de camadas com baixa condutividade hidráulica (barreira hidráulica) para minimizar a infiltração e maximizar o escoamento superficial e a evapotranspiração. Os componentes básicos da cobertura prescritiva são uma camada de solo com teor de matéria orgânica apropriado para o plantio, sobreposta à camada barreira hidráulica, normalmente colocada sobre o material a ser coberto. A camada superior, além da função estética, tem os objetivos de garantir a proteção da camada de cobertura contra agentes erosivos, aumentar a evapotranspiração e minimizar o aparecimento de trincas na camada barreira.

As coberturas evapotranspirativas também utilizam uma camada de solo com teor de matéria orgânica apropriado para o plantio de uma cobertura vegetal. Entretanto, esta camada é sobreposta a uma camada de solo pouco compactado que, durante o período de chuvas, vai, progressivamente, saturando sem, entretanto, permitir que uma quantidade significativa de líquidos alcance a sua base. Assim que a precipitação cessa ou diminui, a evapotranspiração passa a predominar e, progressivamente, vai secando e diminuindo a saturação da camada, até que o próximo período chuvoso recomece e os processos de armazenamento e secagem dessa camada se repitam.

Com base no contexto exposto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o estudo de um sistema de cobertura do tipo evapotranspirativo, com instrumentação geotécnica cujo objetivo é monitorar o perfil de umidade nas camadas de solo do sistema de cobertura, bem como a passagem de oxigênio por estas camadas.

Apresentam-se, em seguida, os materiais e os métodos usados no experimento, os resultados obtidos e as principais conclusões extraídas desse trabalho.

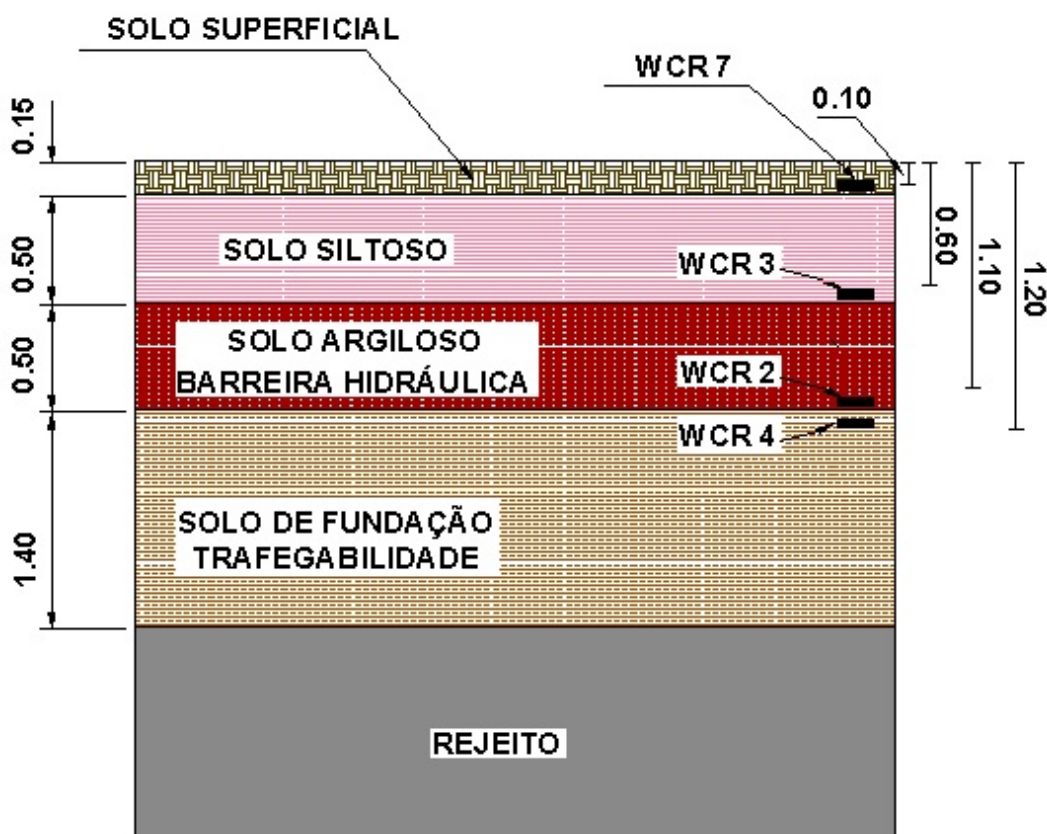
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento foi realizado na mina da empresa Rio Paracatu Mineração (RPM) num local utilizado para o lançamento de rejeitos durante a operação da usina piloto que esteve em operação por 10 anos (Figura 1).



**Figura 1: Local do experimento.**

Os rejeitos ali depositados formavam uma camada com espessura variando de 0 a 2,5 m sobre a qual foi construída uma camada de solo compactado, com aproximadamente 1,0 m de espessura, denominada de camada de trafegabilidade. O sistema de cobertura foi construído sobre essa camada de trafegabilidade, composto por uma camada de 15 cm de solo orgânico que se sobrepõem a uma camada de 50 cm de material siltoso (camada de “armazenamento e liberação”) que, por sua vez, é sobreposta a uma camada de 50 cm de argila compactada (camada “barreira hidráulica”), conforme ilustra o esquema da Figura 2.



**Figura 2: Desenho esquemático do sistema de cobertura estudado com os medidores de umidade WCRs.**

Foram instalados quatro medidores de umidade (WCR) em cada camada da cobertura, conforme apresentado esquematicamente na Figura 2, com a finalidade de medir a umidade volumétrica ao longo do perfil do solo durante todo o período estudado.

A Figura 3 ilustra o experimento montado com a instrumentação (WCR) instalada, no início do período de análise.



**Figura 3: Vista do experimento já com a instrumentação instalada.**

Segundo Marinho et al. (2005), os WCRs devem ser calibrados de acordo com as condições locais do solo. No presente trabalho realizou-se a calibração dos WCRs, com os instrumentos já instalados no campo, da seguinte forma:

- Em três diferentes épocas do ano, chuvosa; intermediária e seca; foram retiradas no campo com um trado manual amostras deformadas de todos os solos que compunham o sistema de cobertura (Figura 4).
- Imediatamente após a sua retirada, as amostras eram pesadas para a determinação do seu peso úmido (solo + água);
- Em seguida, eram levadas para a estufa para a determinação do seu peso seco (solo);
- Com o peso úmido e o peso seco, determinava-se a umidade gravimétrica (w);
- Determinava-se a umidade volumétrica pela Equação (1)

$$\theta = w \cdot \frac{\gamma_d}{\gamma_w} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

$\theta$  = Umidade volumétrica (%)

w = Umidade gravimétrica (%)

$\gamma_d$  = Peso específico seco (g/cm<sup>3</sup>).





**Figura 4: Escavação de poços na cobertura e retirada de amostras deformadas com auxílio de trados manuais.**

O sistema de cobertura foi monitorado durante 3 anos, com a leitura dos medidores de umidade (WCR) e da precipitação pluvial por meio de uma estação meteorológica instalada cerca de 1 km do local do experimento.

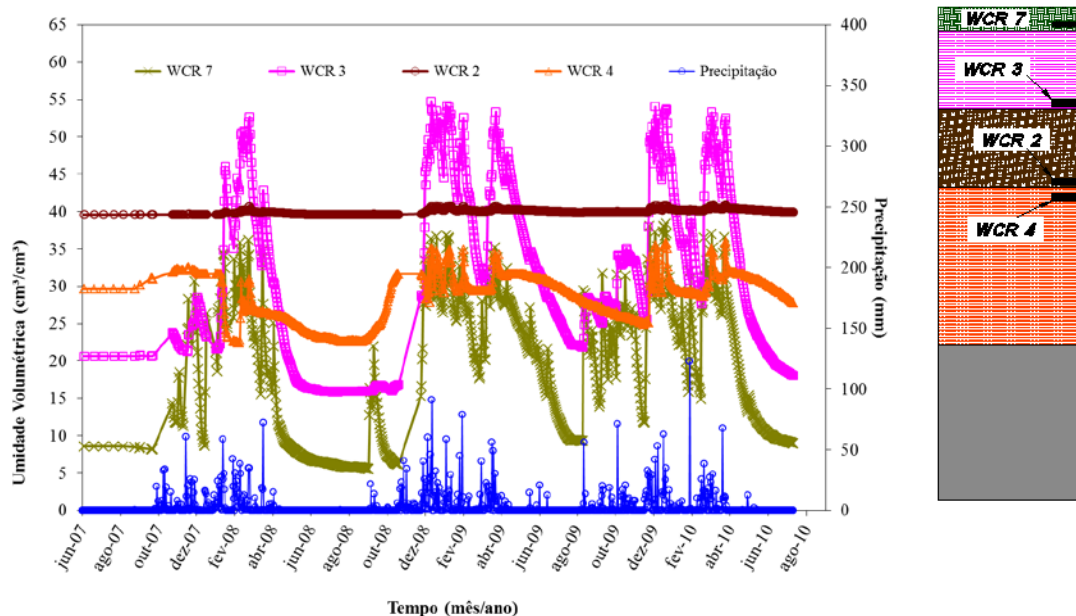
A Figura 5 ilustra o experimento montado com a instrumentação (WCR) instalada, no final do período de análise.



**Figura 5: Vista do experimento após 3 (três) anos de monitoramento.**

## RESULTADOS

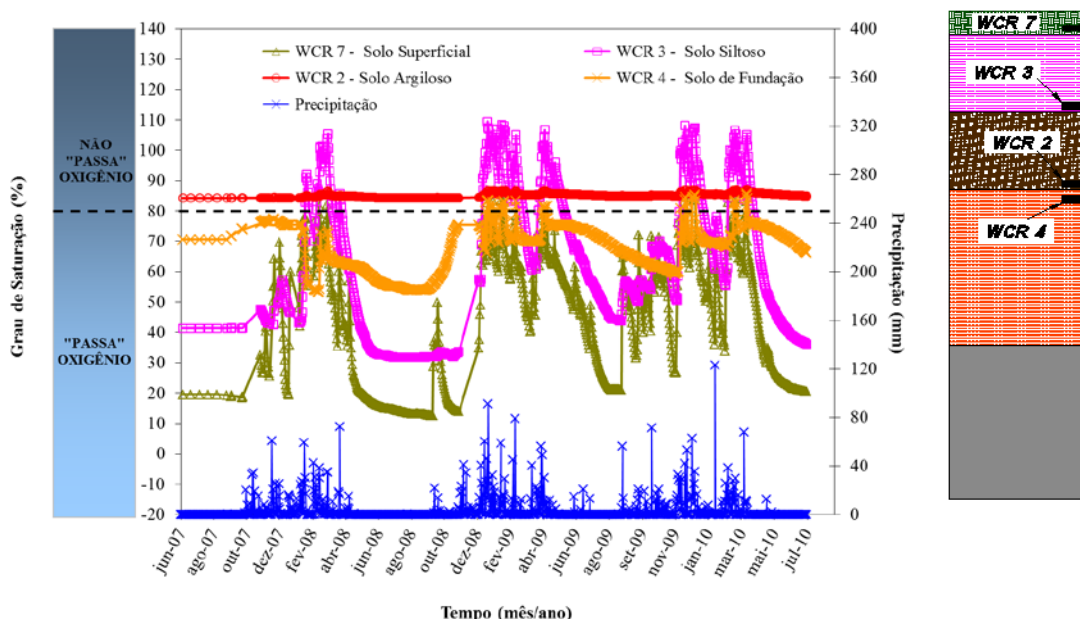
A Figura 6 apresenta as variações de umidade volumétrica e precipitação com o tempo para o sistema de cobertura estudado.



**Figura 6: Variação da umidade volumétrica obtida com a leitura dos WCRs.**

Pode-se observar na Figura 6 que de uma forma geral o comportamento da umidade medida em campo foi semelhante e compatível com o comportamento da precipitação. Além disso, houve uma maior variação na umidade volumétrica para as camadas mais próximas a superfície (WCR 7, e 3), o que pode ser explicado pela maior influência de parâmetros climáticos como vento e radiação solar nas camadas superficiais. Já para a camada de argila “barreira hidráulica” (WCR 2) a variação da umidade volumétrica não foi significativa ao longo do período estudado, o que mostra o bom funcionamento da camada de “armazenamento e liberação” (solo siltoso – WCR 3) como uma espécie de “reservatório” enchendo no período chuvoso e esvaziando no período de seca, mantendo assim a camada subjacente praticamente sem variação de umidade.

Para analisar se há ou não fluxo de oxigênio nas camadas da cobertura, observou-se o comportamento do grau de saturação no período de tempo estudado para as diversas camadas do sistema de cobertura. Segundo SRK (2005), se o solo tiver grau de saturação igual ou maior que 80% o fluxo de oxigênio é bem pequeno. Logo, para analisar o fluxo de oxigênio nas camadas propostas, delimitou-se, conforme apresentado na Figura 7, duas regiões, uma que “passaria” oxigênio e outra que “não passaria”, segundo o critério de SRK (2005).



**Figura 7: Variação do grau de saturação dos solos no sistema de cobertura proposto.**

De acordo com a Figura 7, pode-se observar que a camada de argila (“barreira hidráulica”) apresentou um grau de saturação na faixa de 80 a 87% durante todo o período de análise, ou seja, acima de 80% o que sugere que não houve fluxo de oxigênio através desta camada. Esta condição foi possível devido a dois fatores:

- 1 - A baixa condutividade hidráulica desta camada, o que permite a pequenas variações na umidade e saturação da camada.
- 2 - À camada de solo siltoso (“armazenamento e liberação”) que devido sua função de “reservatório” permitiu com que as camadas inferiores não sofressem perdas de umidade e consequentemente de saturação durante os períodos de seca.

## **CONCLUSÕES**

Diante dos resultados encontrados nesse trabalho verificou-se que o sistema de cobertura evapotranspirativo estudado alcançou as expectativas esperadas no sentido de evitar a formação da DAM, uma vez que este tipo de cobertura além de custar menos que a convencional, praticamente não tem manutenção na medida em que não barra o fluxo de água, mas atua exatamente como a natureza, permitindo que a água infiltre e evapotranspire, sem que a mesma atinja os resíduos.

## **AGRADECIMENTOS**

À FAPEMIG e a Rio Paracatu Mineração (RPM) pelo financiamento do projeto de pesquisa ao qual resultou-se nesse trabalho.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. AMORIM, N.R. Avaliação do desempenho de sistemas de cobertura na Mina Rio Paracatu Mineração (RPM), Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 143 p, 2008.
2. CARRIER, W. D., BROMWELL, L. G., AND SOMOGYI, F. Design Capacity of Slurried Mineral Waste Ponds, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 109, No. GT5, p. 699-716, 1983.
3. MARINHO, F.A.M.; VIEIRA, A. M.; OLIVEIRA, O.M.. Aspectos da curva de calibração do TDR para um solo residual compactado; Solos e Rochas, v. 28, n. 3, p.inicial 295, p.final 306, ISSN: 0103-7021, 2005.
4. SRK CONSULTING ENGINEERS AND SCIENTISTS. “Rio Paracatu Mineração, Morro do Ouro, Conceptual Mine and Tailings Cover Design”. Relatório interno da RPM, 2005.