

# COMPORTAMENTO ELETROKINÉTICO EM ÁREAS IMPACTADAS POR ÍONS METÁLICOS - ESTUDOS EXPERIMENTAIS

Ernesto Sumi<sup>1</sup>, Raphael Hypolito<sup>2</sup>, Daniela Gamito<sup>3</sup>

**Abstract** - Electrokinetic remediation is a technique to restore a contaminated area, which has not been used in large-scale in Brazil. It is based on the application of an electric current of low intensity between two electrodes or more through the soil. Among the soil particles there are water solutions (interstitials solutions), that become ionic with electric conductivity and have particular characteristics. Therefore, the passing of an electric current can mobilize and concentrate ionic types through the electromigration and electroosmosis phenomena to the electrodes. Such technique is used in many other fields, but its application is extended mainly to the remediation of groundwater and impacted clay soil which are crucial to this project. The present study has as main objectives the research and improvement of new electrokinetic techniques to the remediation of impacted groundwater and clay soil for already impacted tropical sites. Experimental studies will be conducted on laboratory stand with products of various types simulating different kinds of soil, and varying the experimental conditions (different composition electrodes, electric current, humidity, permeability, etc). The information presented in this article corresponds to preliminary study results; nonetheless, it will contribute to a better understanding of electrochemistry remediation process applied in contaminated sites real situation.

**Keywords:** contamination, remediation, heavy metal ions, electrokinesis, electrochemistry

**Resumo** - O método de Remediação Eletrocinética é uma técnica de recuperação de áreas contaminadas que ainda não está sendo utilizada em larga escala no Brasil, essa tecnologia se baseia na aplicação de uma corrente elétrica de baixa intensidade entre dois ou mais eletrodos no solo. Os solos contêm entre suas partículas sólidas, soluções aquosas (soluções intersticiais) iônicas com condutividade elétrica e características próprias. Assim, a passagem de uma corrente elétrica pode mobilizar e concentrar as espécies iônicas através dos fenômenos de eletromigração e eletro-osmose para os eletrodos. Os principais objetivos deste trabalho são o aperfeiçoamento e a busca de novas técnicas eletrocinéticas para remediação de áreas em solos tropicais impactados. Serão efetuados estudos em bancada com produtos de várias naturezas simulando

diversos tipos de solos com variação das condições experimentais (vários íons, eletrodos de diferentes composições, corrente elétrica, umidade, permeabilidade etc.). As informações fornecidas neste artigo correspondem aos resultados dos estudos preliminares, mas certamente trarão contribuição para entender melhor os processos de remediação eletroquímica para ser aplicado em situações reais de áreas contaminadas.

**Palavras Chave: Contaminação, Remediação, Íons de Metais Pesados, Eletrocinese, Eletroquímica.**

---

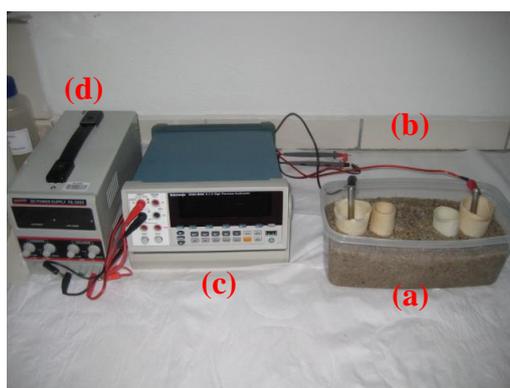
1 – Doutorando da Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências.

2 – Prof. Dr. Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências.

3 - Doutoranda da Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências.

## 1. Introdução

Nesse estudo preliminar utilizou-se um recipiente de plástico inerte com as seguintes dimensões: 25 cm x 10 cm x 10 cm, a fase sólida simulando um solo poroso (areia 1mm) tratada para retirada de impurezas conforme Hypolito *et. al.* (2011), como agente contaminante solução de íons cobre (II) com concentração de  $10,10 \text{ mg L}^{-1}$ , utilizaram-se eletrodos de aço inoxidável distantes 20 cm e aplicado 2 Volts de tensão (Figura 1). Foi aplicado corrente por onze dias e coletadas amostras para análises químicas das soluções próximos de cada eletrodo, também foram efetuadas medidas de pH e do potencial óxido-redução ( $E_h$ ) (Tabela 1).



**Figura 1** - Foto do conjunto utilizado na eletrolise. (a) célula eletrolítica (b) eletrodos mergulhados nas câmaras filtrantes (c) multímetro (d) fonte de alimentação de corrente contínua com intensidade variável (0-32V).

Reações esperadas da aplicação de corrente elétrica direta através de eletrodos imersos em água é a oxidação no ânodo com geração de uma frente ácida e uma

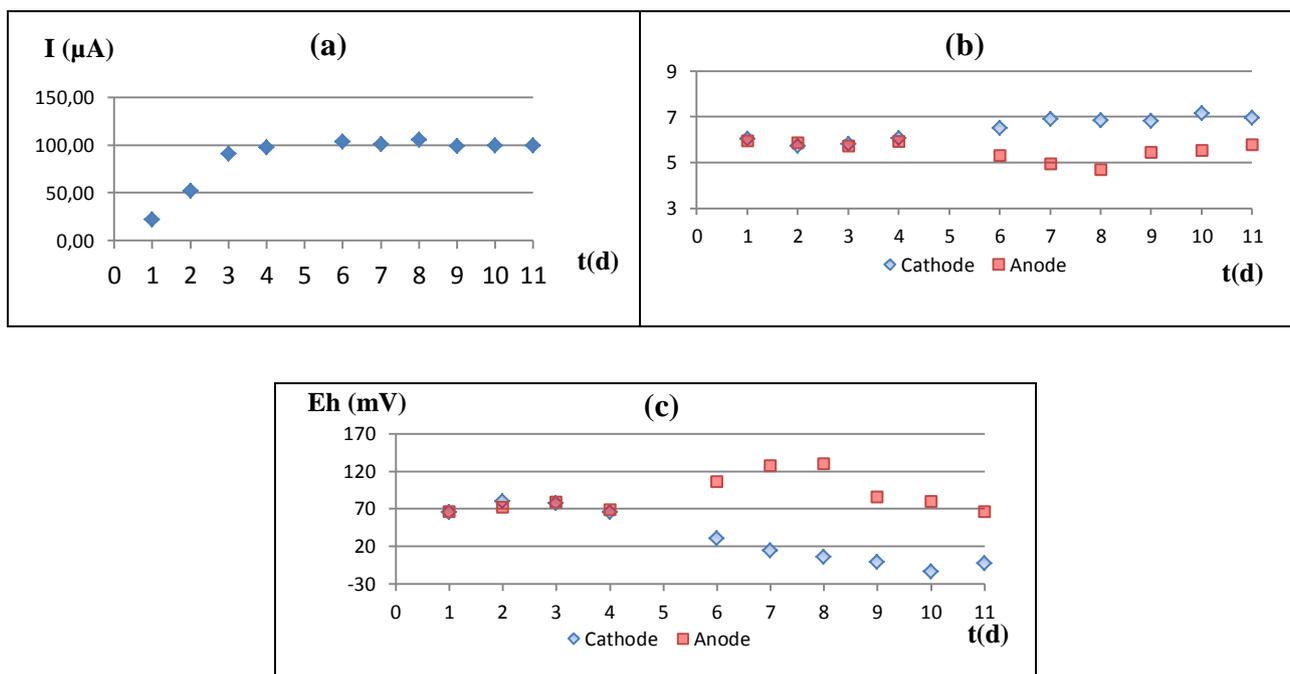
redução no cátodo que produz uma frente básica e a migração dos íons para o eletrodo de carga oposta desse íon (Acar & Alshawabkeh, 1993).

**Tabela 1** – Corrente elétrica, pH, potencial óxido-redução ( $E_h$ ) do experimento e análises químicas de  $Cu^{+2}$  em  $mg L^{-1}$ .

Dias	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11
Parâmetros										
Corrente (A)	$2,20 \cdot 10^{-5}$	$5,24 \cdot 10^{-5}$	$9,08 \cdot 10^{-5}$	$9,76 \cdot 10^{-5}$	$1,04 \cdot 10^{-4}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$9,87 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$9,94 \cdot 10^{-5}$
pH (Cátodo)	6,02	5,73	5,81	6,05	6,52	6,9	6,85	6,81	7,15	6,96
pH (Ânodo)	5,95	5,88	5,72	5,93	5,32	4,95	4,7	5,44	5,53	5,79
$E_h$ (Cátodo) (V)	$65 \cdot 10^{-3}$	$80 \cdot 10^{-3}$	$77 \cdot 10^{-3}$	$65 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-3}$	$14 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$-1 \cdot 10^{-3}$	$-14 \cdot 10^{-3}$	$-3 \cdot 10^{-3}$
$E_h$ (Ânodo) (V)	$66 \cdot 10^{-3}$	$72 \cdot 10^{-3}$	$79 \cdot 10^{-3}$	$69 \cdot 10^{-3}$	$106 \cdot 10^{-3}$	$127 \cdot 10^{-3}$	$130 \cdot 10^{-3}$	$86 \cdot 10^{-3}$	$80 \cdot 10^{-3}$	$66 \cdot 10^{-3}$
Cátodo ( $mg \cdot L^{-1}$ )	10,10			1,24			1,20			
Ânodo ( $mg \cdot L^{-1}$ )	10,10			0,90			2,88			

A Figura 2 (a), (b) e (c) apresentam os resultados na forma gráfica dos resultados de corrente elétrica, pH e potencial óxido redução consecutivamente.

Figura 2 – Representação dos resultados de corrente elétrica (a), pH (b) e  $E_h$  (c).



## 2. Conclusões

Apesar de serem resultados preliminares já apresentaram observações pertinentes que merecem atenção do comportamento eletrocinético.

Até o quarto dia dos experimentos verifica-se aumento contínuo da corrente elétrica e a partir daí constata-se estabilidade no sistema com valores praticamente constantes.

No cátodo depois de 4 dias o pH se eleva enquanto o  $E_h$  diminui. Observa-se também o comportamento antagônico do pH e do  $E_h$  no cátodo e no ânodo.

Pelo resultado das medições de pH à partir do quarto dia ocorre o processo de diferenciação da quantidade disponíveis de  $H^+$  entre os eletrodos. No cátodo ocorreram fenômenos de oxidação com formação de  $OH^-$  e no ânodo ocorre à eletrodeposição dos íons cobre que passa para Cu metálico.

Observou-se que os íons de cobre com concentração  $10,10 \text{ mg L}^{-1}$  sofrem forte adsorção na superfície da areia uma vez que se tem na solução acentuada diminuição da concentração após o quarto dia. Pode-se concluir que a intensidade da voltagem não foi suficiente para deslocar os íons adsorvidos.

Apesar de livros clássicos de química recomendarem a tensão levemente acima do valor de potencial padrão de óxido-redução para eletrólise (Bassett *et. al.*, 1981), para eletrólise com eletrodos espaçados e um meio que dificulte a passagem de íons, esses valores de tensão apresentaram não ser suficiente para ser aplicado em um processo real de remediação eletrocínético.

### **Agradecimentos**

Agradecemos a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a todos que contribuem para esta pesquisa.

### **3. Referências Bibliográficas**

ACAR, Y. B.; ALSHAWABKEH, A. N. 1993. Principles of Electrokinetic Remediation. Environment Science Technology. American Chemical Society. Vol 27. No. 13. Pg 2638-2647.

BASSETT. J.; DENNY, R.C.; Mendham, J.; 1981. VOGEL - Análise Inorgânica Quantitativa. Editora Guanabara. Rio de Janeiro. Pg 690.

HYPOLITO, R.; ANDRADE, S.; Ezaki, S. 2011. Geoquímica da Interação – Água/Rocha/Solo Estudos Preliminares. Ed. All Print. São Paulo. Pg 454.