

**ANÁLISE DE UMA MISTURA DE SOLO RESIDUAL DE ARENITO BOTUCATU COM ADIÇÃO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO BARREIRA E IMPERMEABILIZANTE**DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.VII-003>

Ramon Mendonça Teles (*), Nádia Teresinha Schröder, Renata Farias Oliveira

* Universidade Luterana do Brasil, ramon.m.teles@hotmail.com**RESUMO**

A contaminação de solos e recursos hídricos ocasionada pelo lançamento irregular de efluentes industriais, assim como por outras fontes contendo cromo hexavalente (Cr VI), é extremamente preocupante, devido a sua toxicidade. A estrutura dos solos, muitas vezes, permite a percolação dos poluentes até o contato com recursos hídricos. Neste contexto, o desenvolvimento de materiais geotécnicos capazes de promover qualidade ambiental, é de fundamental importância. Neste sentido, analisar se uma mistura de solo residual de arenito Botucatu (SRAB) com adições da cinza de casca de arroz (CCA) pode ser eficiente como barreira e impermeabilizante foi o objetivo deste estudo. Para este fim, foi avaliado a velocidade de percolação de quatro amostras A, B, C e D com teores de adição de CCA de 0%, 1%, 3% e 5%, respectivamente. A casca de arroz foi queimada em temperatura controlada, em 400°C por duas horas, para obtenção da CCA. As amostras foram submetidas ao ensaio de adsorção, para avaliar a eficiência na remoção de Cr (VI), e foram testadas com uma solução aquosa de $K_2Cr_2O_7$, concentração inicial do adsorbato de 20 mg.L⁻¹ de Cr (VI) e tempo de contato de duas horas no agitador de Wagner. Após o procedimento de adsorção, foi analisada a concentração final da solução. No momento em que as amostras foram expostas à solução aquosa, ocorreu a saturação das partículas e a amostra agiu como impermeabilizante, impedindo a percolação do líquido pela mistura e a avaliação da velocidade de percolação. As concentrações finais de Cr (VI) das amostras, após os ensaios de adsorção, foram: amostra A - 2,01 mg.L⁻¹, amostra B - 2,07 mg.L⁻¹, amostra C - 1,8 mg.L⁻¹ e amostra D - 1,6 mg.L⁻¹. Conforme os resultados verifica-se que a mistura apresenta propriedades para agir como barreira e impermeabilizante, garantindo uma condutividade hidráulica suficiente para impedir a passagem de líquidos tóxicos. A mistura se mostrou eficiente para a remoção de Cromo (VI), com uma remoção máxima de 92%. Sendo assim, este material pode ser considerado importante para uso em *liners* de impermeabilização, agindo como barreira de proteção, promovendo a qualidade ambiental e prevenindo a contaminação de solos e águas subterrâneas.

PALAVRAS-CHAVE: solo residual, arenito Botucatu, condutividade hidráulica, adsorção, cinza de casca de arroz**ABSTRACT**

The contamination of soils and water resources caused by the irregular release of industrial effluents, as well as by other sources containing hexavalent chromium (Cr VI), is extremely worrying, due to its toxicity. The structure of soils often allows the percolation of pollutants to meet water resources. In this context, the development of geotechnical materials capable of promoting environmental quality is of fundamental importance. In this sense, to analyze if a mixture of residual soil of Botucatu sandstone (SRAB) with additions of rice husk ash (CCA) can be efficient as a barrier and waterproofing was the objective of this study. For this purpose, the percolation rate was evaluated for four samples A, B, C and D with CCA addition contents of 0%, 1%, 3% and 5%, respectively. The rice husk was burned at a controlled temperature, at 400°C for two hours, to obtain the CCA. The samples were submitted to the adsorption test, to evaluate the efficiency in the removal of Cr (VI), and they were tested with an aqueous solution of $K_2Cr_2O_7$, initial concentration of the adsorbate of 20 mg.L⁻¹ of Cr (VI) and time of two-hour contact on the Wagner shaker. After the adsorption procedure, the final concentration of the solution was analyzed. When the samples were exposed to the aqueous solution, the saturation of the particles occurred and the sample acted as a waterproofing agent, preventing the percolation of the liquid by the mixture and the evaluation of the percolation rate. The final concentrations of Cr (VI) of the samples, after the adsorption tests, were: sample A - 2.01 mg.L⁻¹, sample B - 2.07 mg.L⁻¹, sample C - 1.8 mg.L⁻¹ and sample D - 1.6 mg.L⁻¹. According to the results, it appears that the mixture has properties to act as a barrier and waterproofing, ensuring sufficient hydraulic conductivity to prevent the passage of toxic liquids. The mixture proved to be efficient for the removal of Chromium (VI), with a maximum removal of 92%. Therefore, this material can be considered important for use in waterproofing liners, acting as a protective barrier, promoting environmental quality, and preventing contamination of soils and groundwater.

KEY WORDS: residual soil, Botucatu sandstone, hydraulic conductivity, adsorption, rice husk ash



INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por saneamento básico, a partir do aumento populacional urbano, pode agravar diversos impactos ambientais. Diretamente associado a este crescimento tem-se o dimensionamento de aterro sanitário, o tratamento de efluentes e o recolhimento e disposição de resíduos. Embora haja tentativas de diminuição da poluição, fica evidente que com o crescimento populacional, há um aumento na produção agrícola e diversos outros fatores influenciadores resultando numa maior contaminação, que vem ocorrendo de forma descontrolada. Neste contexto, busca-se alternativas para minimizar esses impactos ambientais. Assim sendo, o solo pode ser utilizado como uma barreira de proteção ambiental que minimize os impactos gerados por diversos poluentes, inclusive os metais tóxicos.

Os solos possuem diferentes condutividades hidráulica, resultantes dos diversos processos de formação rochosa e vem sendo utilizados para disposição final dos resíduos, com vistas à diminuição da problemática de contaminação dos solos e águas subterrâneas. Segundo Lange (2018), houve aumento da utilização de substâncias tóxicas e geração de resíduos, que por práticas insuficientes de gestão em ambientes urbanos ocasiona a degradação da qualidade do solo, águas subterrâneas e a própria qualidade do ar.

A estrutura de um solo é basicamente composta por partículas de solo, água e ar. Por isso, os solos têm propriedades como compressibilidade e condutividade hidráulica, que mudam conforme cada tipo de solo (LEPSCH, 2013), e que pode permitir ou não a percolação de líquidos tóxicos por muitos metros, alcançando o lençol freático e causando, conseqüentemente, a sua contaminação. A velocidade de percolação pode mudar conforme as propriedades dos solos como, por exemplo, o formato e o tamanho do grão que podem permitir a percolação de diversos poluentes.

Existem tecnologias capazes de remover poluentes e uma das alternativas de remoção de Cr (VI), é o processo de adsorção. Essa técnica pode ser inserida em um cenário que sirva como apoio para casos em que haja a necessidade de conter alguns poluentes, como por exemplo em barragens de rejeito. Contudo, caso haja a passagem destes poluentes, o solo que impermeabiliza a camada inferior poderia possuir propriedades que auxiliem na contenção desse tipo de contaminante (NASCIMENTO, 2018).

A combinação de um resíduo como adsorvente no solo pode minimizar o impacto da disposição de resíduos e ser utilizado, de certa forma, para conter os contaminantes que possam vir a serem dispostos incorretamente. Por isso, há necessidade de inclusão de tecnologias que promovam o bloqueio de substâncias que podem ser lixiviadas do solo para a água (LOCASTRO; ANGELIS, 2016).

O uso de materiais adsorventes em solo com a finalidade de proteção ambiental pode promover o uso de novos materiais, visando a mitigação de impactos ambientais causados pelo contato de poluentes com solos e lençóis freáticos e evitando o surgimento de novas doenças. Com isso, há a necessidade de impedir que os poluentes dispostos irregularmente em solo cheguem à água sem comprometer a estrutura geotécnica do solo. A remoção dos poluentes que percolam os solos e chegam na água são processos caros e muitas vezes inviáveis tecnicamente. Há necessidade de se desenvolver formas de baixo custo que evite a percolação e lixiviação destes contaminantes pelo solo até as águas de abastecimento pública. Alguns materiais geotécnicos, praticamente impermeáveis, podem ser utilizados em diversas aplicações, porém tem um custo alto e se torna um material suscetível ao rompimento ou degradação. Utilizar uma mistura de solo argiloso com Cinza da Casca de Arroz (CCA) pode facilitar a interação com as outras camadas de solo, pois possuem ângulos de atrito e coesões semelhantes. Por isso, a inserção deste material na construção civil se mostra promissora devido a necessidade de novas tecnologias que associem técnicas multidisciplinares a fim de se obter resultados mais satisfatórios.

OBJETIVO

Avaliar a percolação da solução de Cr (VI) em uma mistura de SRAB com diferentes teores da CCA e analisar a adsorção da mistura em contato com este metal tóxico, a fim de investigar diferentes formas de aplicação na construção civil para promover melhoria ambiental.

METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados com quatro amostras. A composição delas (Figura 1) continha SRAB com adição de percentuais da CCA. Todas as amostras têm o total de 100 g, sendo adicionadas as porcentagens de CCA, com a finalidade de analisar e comparar a capacidade de percolação de líquidos pela mistura. As amostras utilizadas para análise da adsorção possuem as mesmas adições de cinza e massa igual a 6 g.

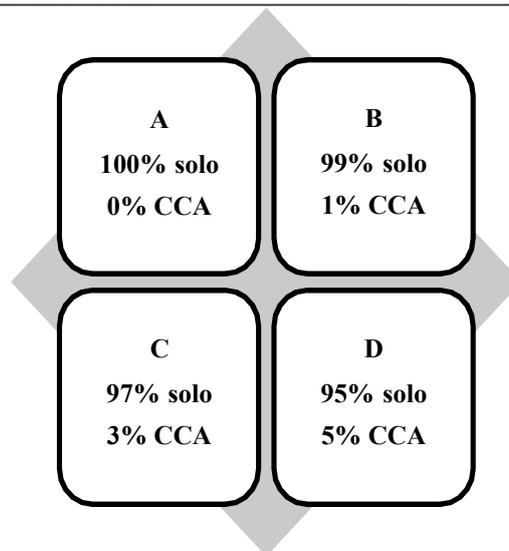


Figura 1: Composição das amostras. Fonte: Autor do trabalho

A mistura analisada foi preparada com Solo Residual Arenito Botucatu (SRAB) coletado em um talude no município de São Leopoldo – RS. Em estudos realizados por Thomé (1999) e Heineck (2002) foi constatado que a jazida possui homogeneidade ao longo da sua profundidade e na Tabela 1 é possível visualizar as propriedades com relação ao SRAB. O solo estudado possui índices físicos estáveis, o que permite a utilização dos dados já estudado por Heineck (2002).

Tabela 1 – Índices físicos do SRAB. Fonte: Heineck (2002).

Índices físicos	SRAB
Massa específica real dos grãos	26,5 KN/m ³
Diâmetro médio, D ₅₀	0,09 mm
Limite de liquidez, LL	22 %
Limite de plasticidade, LP	19 %

A composição e granulometria do SRAB (Figura 2) está assim configurada: 5% de argila (< 0,002mm), 38,9% de silte (0,002 a 0,075mm) e 56,1% de areia, sendo que desta porcentagem 47,3% são de areia fina (0,074 a 0,42mm) e somente 8,8% é de areia média (0,042-2,0mm). O arenito pode ser classificado geotecnicamente como uma areia silto-argilosa e como SM (areia siltosa), segundo a classificação unificada (ASTM D 2487, 1993).

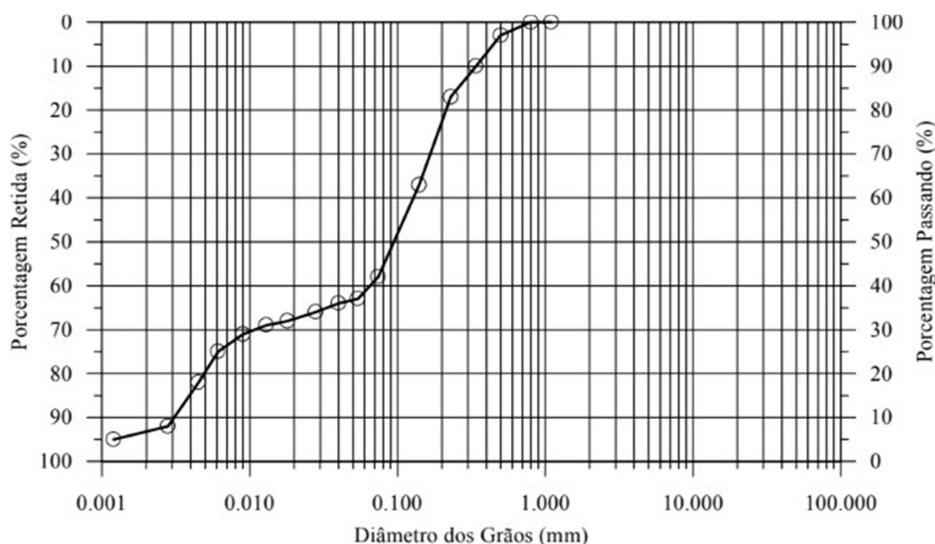


Figura 2: Curva Granulométrica do SRAB. Fonte: Heineck (2002)



Com os resultados do ensaio para obtenção da curva de compactação, de acordo com a NBR 7182/2016 realizado Heineck (2002), foi possível definir a umidade ótima do SRAB. A partir disso, foi realizado o ensaio no permeâmetro de parede flexível para obtenção do coeficiente de permeabilidade (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica. Fonte: Adaptado de Heineck (2002)

Material	p' (KPa)	ω ótima (%)	γ_d (após compactação) (kN/m ³)	Índice de vazios (e)	k (m/s)
SRAB	20	15,88	17,39	0,52	$5,46 \cdot 10^{-8}$
	50	15,88	17,46	0,52	$4,36 \cdot 10^{-8}$
	100	15,88	17,48	0,52	$3,97 \cdot 10^{-8}$
	150	15,88	17,51	0,51	$3,74 \cdot 10^{-8}$
	200	15,88	17,67	0,5	$3,56 \cdot 10^{-8}$

A casca de arroz utilizada para o ensaio foi disponibilizada por um plantador de arroz do município de Sertão Santana/RS. A casca foi colocada em um recipiente para secar até que seja atingida aproximadamente sua umidade higroscópica. A casca de arroz foi colocada em cadinhos (Figura 3). E na sequência inseridos em um forno mufla com a temperatura aproximadamente de 400° considera ideal para queimar durante duas horas e produzir maior quantidade de material pozolânico, segundo o mínimo exigido pela NBR 12653/1992, que é 75%. A massa total da casca de arroz queimada corresponde a 15,3 g e resultou em um total de 2,3 g de CCA.



Figura 3 – Casca de arroz utilizada nos ensaios. Fonte: autor do trabalho.

Os ensaios foram realizados no Centro de Pesquisa de Produto e Desenvolvimento (CEPPED), da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA). O experimento consistiu na verificação do comportamento da mistura com a presença de uma solução de Cr (VI) com concentração de 20 mg.L⁻¹. Foram utilizados quatro aparatos montados no laboratório para avaliar a percolação da solução pelas amostras A, B, C e D. Foi avaliado o tempo de percolação da quantidade de 250g da solução sintética de Cr (VI), bem como a adsorção do poluente de forma isolada. Os sólidos adsorventes utilizados foram as misturas de SRAB com as quantidades de 1%, 3% e 5% da CCA. A solução de Cr (VI), 1000 mg.L⁻¹, foi preparada pela dissolução de 0,05656 g de K₂Cr₂O₇ em água destilada e deionizada utilizando um balão volumétrico de 1000 mL. As soluções foram preparadas por diluição e o pH ajustado em 2. A remoção percentual (R) de Cr (VI) da solução foi calculado utilizando a equação 1.

$$\text{Remoção (\%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \cdot 100 \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

C_i = concentração inicial de Cr (VI)

C_f = concentração final

Uma solução sintética de 200 mL de Cr (VI) com concentração de 20 mg.L⁻¹ foi agitada com 6 g.L⁻¹ de adsorvente, e a mistura de solo com CCA. Os frascos ficaram sob agitação e velocidade constantes durante duas h. Após, as amostras foram filtradas à vácuo para que os sólidos contidos na solução fossem removidos. A solução final foi analisada pelo laboratório Químioambiental, em Porto Alegre, para as concentrações finais de Cr (VI) das soluções.



RESULTADOS

Os resultados apresentados foram obtidos nos ensaios realizados, a fim de promover a análise de uma mistura de SRAB com adição de CCA para utilização como barreira e impermeabilizante. Em relação à capacidade de percolação das amostras, observou-se que quando o líquido tóxico entrou em contato com a mistura A (sem adição de CCA), houve a saturação da amostra, que não estava compactada. Foi possível analisar que a amostra não estava exercendo sua capacidade máxima como barreira.

Conforme resultados obtidos por Heineck (2002), tem-se que a condutividade hidráulica do SRAB é em média $4,2 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$. Dessa forma, o material possui condições impermeabilizantes suficiente para ser utilizado em empreendimentos como aterros sanitários e barragens de rejeito. A partir dos valores obtidos pela curva granulométrica foi possível obter o valor do coeficiente de uniformidade (Cu) que foi igual a 30. Isso indica um solo desuniforme e que possui uma estrutura com capacidade para preenchimento de poros vazios, formadas por partículas de mesmo tamanho. Neste estudo, a CCA é utilizada como material fino, a fim de preencher os vazios ainda presentes no SRAB. Dessa maneira, a capacidade de funcionalidade da mistura como barreira impermeabilizante tende a aumentar com a adição de materiais finos, diminuindo a condutividade hidráulica pela melhor distribuição granulométrica das amostras. Com a utilização da CCA, a mistura adquire novas propriedades que podem ser bem utilizadas para obras geotécnicas, com o objetivo de dificultar a percolação de líquidos e reter poluentes, caso haja a passagem de algum líquido lixiviado pela camada de proteção, porém deve-se avaliar a condutividade hidráulica com diferentes teores de CCA para se comparar as diferenças dos resultados.

Os resultados obtidos nas análises das concentrações finais de Cr (VI) das amostras durante o tempo de 2 horas estão indicados na Tabela 3. Ambas as amostras A e B praticamente tiveram os mesmos resultados na remoção do poluente. A amostra B possui a adição de 1% de CCA em sua composição, isso indica que foi provavelmente foi adicionada uma quantidade insuficiente de CCA para promover o processo de adsorção. As amostras C e D apresentaram maior capacidade de adsorção de Cr (VI). A amostra C possui 3% de CCA e a amostra D 5%, o volume CCA colocado na amostra D foi de 40% a mais com relação a amostra C.

Tabela 3: concentrações finais de Cr (VI) das amostras. Fonte: Elaborado pelo autor

Identificação	Tempo (h)	Cr (VI) (mg.L ⁻¹)
Branco	-----	20,00
Amostra A	2	2,01
Amostra B	2	2,07
Amostra C	2	1,8
Amostra D	2	1,6

Neste sentido, o aumento da eficiência de adsorção se deve às adições de CCA que, conseqüentemente, aumentou a área superficial disponível para adsorção nas amostras e promoveu maior capacidade de adsorção do metal tóxico. De acordo com Oliveira (2013), a influência da área superficial e porosidade do adsorvente no processo de adsorção facilitam e permitem a retenção de material particulado. Dentre as diferentes características físicas do solo que podem beneficiar o processo adsorção de poluentes, a área superficial é extremamente importante, pois garante maior superfície de contato para a transferência de massa e o preenchimento dos sítios contidos nos grãos do solo.

Para empreendimentos como barragens de rejeito e aterros sanitários, a camada de *liner* utilizada como barreira impermeabilizante precisa ter eficiência mínima de resistência, coesão, atrito entre as partículas dentre outras características. Sendo assim, é necessário a análise de outros parâmetros para verificar se adições maiores de CCA seriam eficazes, mantendo as propriedades que o solo possui e necessita.

Em relação à adsorção da CCA, as porcentagens de eficiência na adsorção do metal tóxico com as adições de 3% e 5% de CCA resultou em mais de 90% de eficiência na remoção no tempo de 2 horas. As porcentagens de eficiência na adsorção do metal tóxico estão indicadas na Tabela 4. Cabe destacar que Oliveira (2013), ao avaliar a eficiência de adsorção de Cr (VI) pelo carvão ativado, registrou a melhor remoção em 92,6 %.



Tabela 4: percentual de eficiência de remoção de Cr (VI). Fonte: autor do trabalho.

Identificação	Tempo (h)	Eficiência de remoção (%)
Branco	-----	0
Amostra A	2	89,95
Amostra B	2	89,65
Amostra C	2	91
Amostra D	2	92

O pH é um parâmetro muito importante para o processo de adsorção de metais tóxicos de acordo Pino (2005), pois conforme a alteração do valor do pH as cargas dos sítios ativos na superfície do material podem mudar. Estudos feitos por Vasquez (2005), indicam que a adsorção é favorecida à medida que se aumenta o pH. Sendo assim, se faz necessário considerar que as amostras tiveram o pH ajustados em 2 para que se tenha parâmetros semelhantes, a fim de comparar a eficiência das quatro amostras analisadas.

O SRAB possui predominância de caulinitas. Isso pode ser observado na predominância de partículas na forma de placas aproximadamente hexagonais, característico do tipo de mineral que o compõem. Esse formato de grão pode auxiliar no processo de adsorção tendo em vista que, além de garantir maior superfície de contato, possui vazios que podem auxiliar que as partículas de Cr (VI) fiquem retidas nos interstícios presentes no material, auxiliados pelos processos físico-químicos que são necessários para que ocorra a adsorção. De acordo com Blumer (2008), a eficiência de remoção de Cr (VI) com a utilização de Argilitos da formação Corumbataí como adsorbente foi em média de 69%. Comparando com o SRAB utilizado neste trabalho, o tempo de contato com o adsorbato foi quatro vezes menor e ocorreu 20% a mais de eficiência na remoção. Para Pereira et al. (2018), os parâmetros massa do adsorbente, influência do pH e o tempo de contato são importantes para que o processo de adsorção ocorra.

CONCLUSÕES

A utilização da CCA na construção civil, especificamente em empreendimentos geotécnicos, é de fato importante para promover a diminuição da geração de resíduos. Desta forma, tem-se uma melhoria nas condições de saneamento básico evitando a necessidade de espaço em aterros sanitários. Além disso, este resíduo pode ser reutilizado, conforme princípios da logística reversa. A CCA garante que a mistura tenha novas propriedades como melhor distribuição granulométrica, menor índice de vazios e melhor capacidade de adsorção. Para que ocorra a reação pozolânica é necessário que a CCA seja moída para obtenção de uma alta superfície específica.

As quantidades removidas do Cr (VI) se mostram promissoras, tendo em vista que houve a remoção de mais de 90% de eficiência com a adição de 5% de CCA. Dessa forma, a utilização deste material para conter esse tipo de poluente é viável, pois é importante que materiais geotécnicos garantam propriedades que possam promover a qualidade ambiental, evitando assim, a contaminação de solos e recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Society for Testing and Materials. (ASTM). **Standard Classification of Soils for Engineering Purposes: D 2487**. Philadelphia, 1993. 11p.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (ABNT) **NBR 12653: Materiais pozolânicos – Especificação**. Rio de Janeiro, 1992. 4p.
3. Blumer, A. C. **Remoção de Cromo de Resíduos de Curtumes por Argilitos da Formação Corumbataí-SP**. 2008. 45 f. [Monografia]. São Paulo: Instituto de Geociências e Ciências Exatas/ Universidade Estadual Paulista. 45 p. Graduação em Química Ambiental, Rio Claro, 2008.
4. Heineck, K. S. **Estudo do comportamento Hidráulico e mecânico de materiais geotécnicos para barreiras horizontais impermeáveis**. 275f. Tese (Doutorado em Engenharia), Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2002.
5. Lange. C.M. **Avaliação da contaminação de solos e água subterrânea por elementos potencialmente tóxicos em um pátio de recolhimento de veículos. Estudo de caso: Ribeirão Pires, SP**. 145 f. Tese



- (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). Instituto de pesquisas energéticas e nucleares de São Paulo. 2018.
6. Lepsch, I. F. As Necessidades de efetuarmos Levantamentos Pedológicos Detalhados no Brasil e de estabelecermos as Séries de Solos. **Revista Tamoios**, v. 9, n. 1, p. 3–15, 2013.
 7. Locastro, J. K.; Angelis, B. L. D. Barreiras de impermeabilização: configurações aplicadas em aterros sanitários. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 20, n. 1, p. 200-210, 2016.
 8. Nascimento, L. B. A. do. **Análise de Alternativas Sustentáveis no Tratamento de um Solo Contaminado com Metais Pesados**. 125 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Química) Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2018.
 9. Oliveira, R. F. **Estudo da adsorção de cromo hexavalente em altas concentrações**. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2013.
 10. Pereira, R. R. et al. Carvão ativado da casca de banana como adsorbente para remoção de cromo hexavalente. In: CONGRESSO URUGUAYO DE QUÍMICA ANALÍTICA, 5, 2018, Montevideo, **Anais...** Montevideo: ISBN: 978-9974-0-1607-1, 2018. p 84.
 11. Pino, G. **Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (Cocos nucifera)**. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia) – Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica; Pontifícia Universidade Católica – PUC, Rio de Janeiro. 2005.
 12. Thomé, A. **Comportamento de fundações superficiais apoiadas em aterros estabilizados com resíduos industriais**. 238p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre. 1999.
 13. Vasquez, G. P. T. **Avaliação da Remoção de Cd e Zn de Solução Aquosa por Biossorção e Bioflotação com *Rhodococcus opacus***. 108p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia) - Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica; Pontifícia Universidade Católica – PUC, Rio de Janeiro. 2005