

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

SAMARA SEGALLA

**REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA  
SUINOCULTURA COM O USO DE FARINHA DE OSSO EM COLUNA  
DE LEITO FIXO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO  
2014

SAMARA SEGALLA

**REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA  
SUINOCULTURA COM O USO DE FARINHA DE OSSO EM COLUNA  
DE LEITO FIXO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Ambiental da coordenação de Engenharia Ambiental do câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira

Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Morgana Suszek Gonçalves

CAMPO MOURÃO

2014



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB  
Curso de Engenharia Ambiental



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA  
COM O USO DE FARINHA DE OSSO EM COLUNA DE LEITO FIXO

por

Samara Segalla

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 07 de agosto de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira

---

Prof. Dr. Natália Brugnago

---

Prof. Dr. Maricir Cristina de Souza

*"O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do  
Curso de Engenharia Ambiental".*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pelas graças alcançadas, pela saúde e paz, por meus familiares e amigos, pelas oportunidades, pela fé que me motiva a nunca desistir e por guiar meus caminhos;

Aos meus familiares, em especial aos meus pais, Renato César Segalla e Marli Salete Buratto Segalla, e as minhas irmãs Yasmine Segalla e Renata Segalla, pelo apoio nos momentos de dificuldade, por entender minhas ausências, pela paciência, companheirismo, pelo incentivo nos momentos de dificuldade e pela confiança;

Às amigas e amigos que conquistei durante o curso: Nayara Fernanda, Jhonata, Luciana, Jéssica Aline, Kamila, Sérgio, Diego, Franco e Jacques à vocês só tenho a agradecer pela convivência, amizade e pelos momentos de alegria. Vocês me ajudaram a amadurecer e crescer, e tenham a certeza que os levo no meu coração todos os dias. Aos colegas da V turma de Engenharia Ambiental e aos demais amigos que são parte dessa conquista;

À amiga de apartamento Grasieli Beloni de Melo, pela convivência, por sua sinceridade, apoio, incentivo, por não medir esforços para me ajudar, por suas palavras e conselhos, e seu ombro amigo nos momentos que precisei. Construimos uma amizade verdadeira e sincera e que vamos levar, por longos e longos anos;

À professora e orientadora dessa pesquisa, Morgana Suszek Gonçalves, pela oportunidade, pela dedicação exemplar, aprendizado compartilhado, por sua tranquilidade e pela confiança, foi um prazer conhecer e trabalhar com você. Agradeço também ao professor Rafael por aceite de co-orientação neste trabalho;

Aos professores e funcionários da UTFPR que contribuíram para a minha formação, em especial aos da Coordenação de Engenharia Ambiental, pelos ensinamentos compartilhados, apoio e por ajudarem a realizar essa conquista. Agradeço ao coordenador do curso Eudes José Arantes por não medir esforços para nos ajudar, pela sua dedicação exemplar e seu comprometimento com os acadêmicos do curso, também agradeço os professores Marcelo Galeazzi Caxambu e Maristela Moresco Mezzomo, por serem excelentes professores, pela prestatividade, pelos conselhos e incentivo nos momentos de dificuldade;

A todos vocês, o meu muito obrigada.

## RESUMO

SEGALLA, Samara. **Remoção De Metais Pesados De Água Residuária Da Suinocultura Com O Uso De Farinha De Osso Em Coluna De Leito Fixo**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

Um dos principais problemas encontrados nas águas residuárias de suinocultura é a presença de metais pesados, como o zinco e o cobre, que são adicionados à alimentação dos suínos com o objetivo de prevenir doenças e melhorar a digestão. Este projeto tem por objetivo avaliar a possibilidade de uso da farinha de osso bovino para remoção de metais pesados, presentes na água residuária da suinocultura, em coluna de leito fixo. O experimento foi realizado em escala de bancada, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Campo Mourão. A água residuária da suinocultura usada era proveniente de uma granja de suínos, e para sua caracterização foram realizadas as análises de pH, sólidos totais, fixos e voláteis, DQO, nitrogênio, cálcio, cobre e zinco. A farinha de osso foi adquirida em uma floricultura do comércio local, e na sua caracterização foram determinados os parâmetros: pH, teor de umidade, matéria orgânica total, carbono orgânico total, teor de cinzas, cálcio, cobre e zinco. A coluna de leito fixo utilizada no experimento foi constituída de um reator de vidro, com fluxo descendente de 2,5 mL/min durante oito horas. A cada 25 mL de líquido percolado era obtido uma amostra, obtendo no total 38 amostras, para posterior análise de cobre, zinco e cálcio. Não foi observado troca iônica dos metais com o cálcio presente na constituição da farinha de osso, ocorrendo possivelmente, apenas adsorção física nos poros do material bioissorvente. Após a passagem da ARS no leito de adsorção, as concentrações de Cu e Zn passaram a atender os padrões de lançamento em corpo receptor previstos na Resolução CONAMA Nº430 de 2011. O bioissorvente apresentou uma média de remoção de 86,90% para o metal cobre e de 80,21% de remoção para o zinco. Não foi possível determinar as curvas de ruptura do leito, pois não ocorreu a saturação do bioissorvente durante o tempo de experimento considerado. Os resultados demonstraram que a farinha de osso tem potencial para ser utilizada como bioissorvente na remoção de metais pesados presentes em diferentes águas residuárias.

**Palavras chaves:** Cobre. Zinco. Bioissorvente. Adsorção.

## ABSTRACT

SEGALLA, Samara. **Removal of heavy metals from wastewater of pig farming using Bone Meal In fixed bed column..** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

One of the main problems found in wastewater of pig farming is the presence of heavy metals, like zinc and copper, which are added to pig feed in order to prevent diseases and improve digestion. This project wants to evaluate the possibility of using bovine bone for remove the heavy metals present in pig farming wastewater, in fixed bed column. The experiment was performed in a bench scale at the Federal Technological University of Parana – Campus Campo Mourão. The wastewater used was from a pig farm, and for its characterization, analysis of Ph, total solids, fixed and volatile, DQO, nitrogen, calcium, copper and zinc were realized. The bone meal was purchased in a local floriculture, and in its characterization were determined parameters of: pH, moisture content, total organic matter, total organic carbon, ash content, calcium, copper and zinc. The fixed bed column used in the experiment was made up of a glass reactor with downward flow of 2,5 mL/min for eight hours. Every 25 ml of percolated percolated was obtained a sample. It wasn't observed ion exchange of metals with the calcium present in the constitution of bone meal, possibly occurring only physical adsorption in the pores of the biosorbent material. After the passage of ARS in adsorption bed, the concentrations of Cu and Zn started to suit the realease patterns in a receiving body laid down in CONAMA Resolution, N°430 from 2011. The biosorbent showed an average removal of 86.90% for the metal copper and 80.21% for zinc removal. It was not possible to determine the breakthrough curves of the bed because no biosorbent saturation occurred during the time of experiment considered. The results demonstrated that bone meal has the potential to be used as biosorbents in the removal of heavy metals in different wastewaters.

**Keywords:** Copper. Zinc. Biosorbent. Adsorption.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>8</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>9</b>
3.1 SUINOCULTURA E O PASSIVO AMBIENTAL.....	9
3.2 ADSORÇÃO E TROCA IÔNICA COMO ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO ..	11
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
4.1 ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA (ARS).....	21
4.2 FARINHA DE OSSO .....	21
4.3 EXPERIMENTO EM COLUNA DE LEITO FIXO .....	22
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>24</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA .....	24
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO BIOSSORVENTE .....	26
5.3 EXPERIMENTO EM COLUNA DE LEITO FIXO .....	28
5.4 CURVAS DE RUPTURA .....	33
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>34</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A alta densidade populacional de suínos aliado ao sistema de produção em confinamento gera problemas no âmbito ambiental, como a geração de dejetos, que possam vir a ocasionar sérios problemas sanitários e ambientais.

A problemática da exploração desta atividade é a grande produção de resíduos orgânicos com elevado potencial poluente, que pode causar grandes impactos ambientais, se manejados inadequadamente. Os dejetos da suinocultura possuem grande quantidade de patógenos, e em termos de matéria orgânica e nutrientes, podem ser até cem vezes mais poluentes do que o esgoto doméstico (OLIVEIRA; URBINATI, 2013).

Nas pequenas propriedades rurais, frequentemente se utiliza o dejetos bruto como adubo, fazendo do solo o receptor final. A pouca área disponível para o cultivo, com grandes volumes de dejetos para dispor, causa a sobrecarga de dejetos no solo (SEGANFREDO, 2007).

Os metais pesados são resultantes de diversos sistemas de produção industrial e agrícola, e a contaminação por esses elementos tem se tornado um problema crescente ao meio ambiente e à saúde das pessoas, em função da alta toxicidade e não biodegradabilidade destas espécies.

Um dos principais problemas encontrados nas águas residuárias de suinocultura é a presença de metais pesados, como o zinco e o cobre, que são adicionados à alimentação dos suínos com o objetivo de prevenir doenças e melhorar a digestão (BARROS et al. 2005). Conforme Marcato e Lima (2005) os metais pesados que são encontrados nos dejetos suínos, podem apresentar riscos de contaminação do solo, em doses elevadas ou se forem aplicados continuamente.

Uma das tecnologias mais recentes para o tratamento de efluentes e que vem apresentando bons resultados econômicos e ecológicos é o processo da biossorção, que emprega biomateriais na remoção de metais pesados (BARONI; SILVA; BEPPU, 2005).

Destarte, este projeto tem por objetivo avaliar a possibilidade de uso da farinha de osso bovino para remoção de metais pesados, presentes na água residuária da suinocultura, em coluna de leito fixo.



## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a eficiência de adsorção da farinha de osso bovino em um reator de leito fixo com fluxo contínuo, para remoção de metais pesados, como tratamento complementar da água residuária da suinocultura.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a água residuária da suinocultura e a farinha de osso bovino;
- Determinar o tempo de saturação do leito de adsorção, a partir da obtenção de curvas de ruptura;
- Aferir a eficiência máxima de remoção de cobre e zinco no processo de tratamento.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 SUINOCULTURA E O PASSIVO AMBIENTAL

A atividade agropecuária apresenta um intenso dinamismo na economia brasileira, representando 6,5% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e gerando 18% das exportações do agronegócio nacional, sendo a base de sustentação econômica do país, conforme dados da Revista Agropecuária (2014). O estado do Paraná merece destaque na produção e importação de produtos agropecuários.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de carne suína. No 2º trimestre de 2013 foram abatidas 8,986 milhões de cabeças de suínos, e a região Sul respondeu por 64,8% do abate nacional de suínos, seguida pelas regiões Sudeste (18,7%), Centro-Oeste (15,1%), Nordeste (1,3%) e Norte (0,1%).

O Paraná destaca-se na produção de suínos, pois é auto-suficiente na produção dos principais insumos utilizados para a alimentação dos animais, na estrutura viária, na produção energética e outros. Possui hoje, cerca de 135 mil propriedades suinícolas e um rebanho estimado em 6,07 milhões de animais. Contudo, essa atividade passa a acumular intrínsecos danos ambientais, por vezes irreparáveis, devido às inadequações de infra-estrutura, ainda instaladas em pequenas e médias propriedades rurais (ROESLER; CESCNETO, 2003).

O modelo de produção suinícola é caracterizado pela criação intensiva e em confinamento, o que concentra grande número de animais em áreas reduzidas, aumentando ainda mais os riscos de contaminação ambiental (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005). Na produção de suínos, em função da alta concentração dos rebanhos, os dejetos podem exceder a capacidade de absorção dos ecossistemas locais, sendo causa potencial da poluição e dos problemas de saúde relacionados com matéria orgânica, nutrientes, patógenos, odores e micro-organismos gerados na atmosfera (PEREIRA; DEMARCHI; BUDIÑO, 2009).

A criação desses animais em confinamentos com uso intensivo de água para higienizações assume particular importância, pois resulta em consideráveis volumes

de águas residuárias contendo altas concentrações de sólidos suspensos, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, metais e patógenos (NETO, 2007).

As águas residuárias são aquelas que após serem utilizadas pelas atividades antrópicas, passam a obter características físicas, químicas e biológicas indesejáveis. Podem ser definidas como o conjunto de resíduos diluídos em água, provenientes de residências, comércio e indústrias (METCALF; EDDY, 2003).

Entre os impactos ambientais que a produção intensiva de animais provoca destacam-se, segundo Bley Junior et al. (2009), os seguintes:

- A produção, transporte e consumo de alimentos ricos em energia e proteína e o consumo de terra, água e energia, recursos estes cada vez mais escassos;
- A demanda pelo uso de fertilizantes artificiais e agrotóxicos que eliminam a fauna silvestre e reduzem a biodiversidade;
- Os nutrientes excedentes da intensificação da agropecuária acabam contaminando os rios, lagos, águas subterrâneas e o mar, destruindo a vida vegetal e animal.

Ainda, segundo Kunz, Higarashi e Olivera (2005), o manejo inadequado dos resíduos da suinocultura (extravasamento de esterqueiras, aplicação excessiva no solo, para citar alguns) pode ocasionar a contaminação de rios (como a eutrofização), de lençóis subterrâneos (o aumento da concentração do íon nitrato é um exemplo), do solo (patógenos e excesso de nutrientes, dentre outros) e do ar (como emissões gasosas).

Essa contaminação pode gerar sérios riscos à saúde humana e de animais que consomem essas águas ou com elas têm contato. Esses resíduos constituem-se de: dejetos, material usado nas camas, água, produtos utilizados na limpeza, restos de animais (pêlos e células mortas), entre outros (MORAES; PAULA JR., 2004).

Desse modo o conhecimento da composição química e do volume de dejetos é fundamental para o estabelecimento de um programa de manejo. (PEREIRA; DEMARCHI; BUDIÑO, 2009).

A suinocultura tem tendência à formação de estabelecimentos cada vez maiores, e o confinamento produz grandes quantidade de dejetos, e a carga residual destes não poderia ser absorvida pelas águas receptoras, sem serem previamente estabilizadas anaerobicamente e levados a campo como fertilizantes (KARL; IMHOFF, 1986).

Uma alternativa para reciclagem dos dejetos suínos líquidos, é sua utilização como biofertilizante por apresentarem elementos químicos que, ao serem adicionados ao solo, podem se constituir em nutrientes para as plantas. Entretanto, as sucessivas aplicações ao solo, preocupam sob o ponto de vista ambiental devido à presença de certos elementos nos dejetos, como os metais pesados, sendo que alguns deles são necessários aos organismos vivos em doses muito pequenas, mas seu excesso pode levar a contaminação do solo e água (MATTIAS, 2006).

Dentre os metais pesados o Cu e Zn têm sido motivos de preocupação, pois são encontrados nos dejetos de suínos, em virtude da suplementação mineral de rações oferecidas aos animais, a adição de quantidades excessivas destes metais nas rações visa a prevenção de diarreias e a estimulação do crescimento. A alta concentração de metais nos dejetos, associado às aplicações sucessivas deste, tendem a causar acúmulos dos contaminantes no solo, tornando os dejetos uma fonte poluidora com alto potencial de contaminação ambiental, podendo acarretar intoxicação não só às plantas mas também nos demais níveis da cadeia alimentar (GIROTTI, 2007).

Sendo assim, a preocupação com a poluição provocada pelo manejo inadequado dos dejetos de suínos cresce constantemente, quer seja por uma maior consciência ambiental dos produtores, quer seja pelo aumento das exigências dos órgãos fiscalizadores e da sociedade em geral (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002).

Desta forma, torna-se indispensável a evolução nos processos de tratamentos de resíduos que conduzam a uma redução do custo dos mesmos, tornando-os acessíveis aos produtores rurais (BLEY JUNIOR et al., 2009).

### 3.2 ADSORÇÃO E TROCA IÔNICA COMO ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO

Tendo em vista o potencial poder de poluição do efluente resultante da suinocultura e a necessidade do reaproveitamento das águas residuárias, a adsorção passou a ser considerada uma técnica de tratamento do subproduto dessa atividade.

No que se diz respeito ao tratamento das águas residuárias, classificamos os tratamentos nos seguintes níveis: o tratamento preliminar remove apenas sólidos muito grosseiros, flutuantes e matéria mineral sedimentável; o tratamento primário remove matéria orgânica em suspensão e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é removida parcialmente; o tratamento secundário remove matéria orgânica dissolvida e em suspensão, e a DBO é removida quase que totalmente (NUNES, 2001).

Entende-se como tratamento terciário a tecnologia de remoção de impurezas aplicada após os tratamentos anteriores, esse nível de tratamento é usado quando se pretende obter um efluente de alta qualidade, ou a remoção de outras substâncias contidas nas águas residuárias, utilizando-se processos de tratamento tais como: adsorção, osmose inversa ou reversa, eletrodialise, troca iônica, filtros de areia, remoção de nutrientes, oxidação química e remoção de organismos patogênicos (NUNES, 2001).

Dentre os diversos métodos de tratamento de efluentes para a remoção de metais pesados, a adsorção tem sido considerada como um dos mais efetivos e largamente utilizados, já que remove contaminantes que não foram eliminados em tratamentos anteriores (NUNES, 2001).

A adsorção ocorre com materiais do tipo: sólido-sólido, gás-sólido, gás-líquido ou líquido-sólido. E pode ocorrer na superfície externa do adsorvente em seus: macro, meso, micro e submicroporos, a adsorção física resulta da condensação molecular nos capilares dos sólidos, ou seja, envolve a fixação do material ao ser adsorvido, a adsorção química resulta da formação de uma camada monomolecular do contaminante adsorvido na superfície sólida do adsorvente. (METCALF; EDDY, 2003).

A adsorção consiste na transferência de um constituinte de um fluido para a superfície de uma fase sólida, onde ele fica retido em consequência de interações microscópicas com as partículas constitutivas do sólido. O soluto adsorvido não se dissolve no sólido mas permanece na sua superfície ou nos seus poros. O processo de adsorção é muitas vezes, reversível, de modo que a modificação da pressão ou temperatura, pode provocar a fácil remoção do soluto adsorvido no sólido (FOUST et al., 1982).

Os fatores que afetam a adsorção são as características químicas e físicas do adsorvente, as características físicas e químicas do material a ser adsorvido, a

concentração do material a ser adsorvido em meio líquido, as características da fase sólida, e o tempo de resistência do sistema (OENNING JR, 2006).

A eficiência da adsorção é em função da compatibilidade do tamanho das moléculas a serem adsorvidas e o tamanho dos poros, daí a importância da seleção apropriada do carvão a ser utilizado (METCALF; EDDY, 2003). Muitos são os adsorventes sólidos que se usam, o conceito de adsorvente aplica-se usualmente a um sólido que mantém o soluto na sua superfície pela ação de forças físicas (FOUST et al., 1982).

Como exemplo de adsorvente, pode-se citar o carvão na forma granular que é o mais aplicado, principalmente em colunas estacionárias, através das quais o efluente flui. A superfície do carvão adsorve o contaminante por este apresentar uma baixa solubilidade no efluente e ter uma grande afinidade pelo carvão, e pela combinação entre os dois fatores (MIERZA; HESPANHOL, 2005)

Carvão ativado é qualquer forma de carvão amorfo que tenha sido tratado para produzir um material que apresenta maior capacidade de adsorção, sua utilização torna-se onerosa, o que instiga o crescente interesse pela busca de materiais adsorventes alternativos, como os biossorventes, tais como: argilas, bagaço de cana, madeira, casca de fruta, casca de arroz, casca de pinheiro, resinas zeólitas, carvão mineral, resíduos de produção do papel e resíduos a base de petróleo que são as principais matérias-primas do carvão ativado (KIANG; METRY,<sup>1</sup> 1982 apud MIERZA; HESPANHOL 2005; DALLAGO; SMANIOTTO; OLIVEIRA, 2005).

Todos os materiais que possuem alto percentual de carbono podem ser ativados para serem utilizados como adsorventes, podendo ser vegetal, mineral ou animal, o principal objetivo é a criação de uma estrutura interna altamente porosa necessária para adsorção, podendo ser preparado em diferentes tamanhos e com diferentes capacidades de adsorção (TELLES; COSTA, 2010).

É muito importante a escolha dos adsorventes, já que os sólidos devem ter características de pequena queda de pressão e boa resistência mecânica para suportar o manuseio. Além disso, os adsorventes são seletivos quanto à capacidade de adsorverem solutos específicos. Por isso, a natureza do sólido deve ser cuidadosamente ponderada para que se tenha segurança de um desempenho

---

<sup>1</sup> KIANG, Y,H., METRY, A.A. **Hazardous waste processing technology**. Michigan: Ann Arbor Science, 1982.

satisfatório. Os adsorventes conhecidos comerciais, incluem bentonita, a bauxita, a alumina, o carvão de ossos, a terra *fuller*, o carvão e a sílica gel (FOUST et al., 1982).

O processo de adsorção em carvão ativado tem como vantagens a eficiência para a remoção de compostos orgânicos que não podem ser tratados pelos processos biológicos, e a concentração de muitos contaminantes, como é o caso dos metais pesados, pode cair para valores entre 1 e 10 mg/L. (MIERZA; HESPANHOL, 2005). O tratamento também apresenta desvantagens como ter sua eficiência reduzida pelos sólidos em suspensão, óleos e graxas. Além da capacidade do carvão reter os contaminantes ser limitada, devido seu grau de saturação (IDAHO<sup>2</sup>, 1992 apud MIERZA; HESPANHOL 2005).

O modo de operação mais aplicado utiliza uma coluna de leito fixo, através da qual a mistura vai percolar, adsorvendo um ou mais componentes na mistura. Após um determinado tempo de contato entre o contaminante e o resíduo do leito, a coluna atingirá a saturação e não continuará a reter os componentes de interesse, sendo necessário troca ou regeneração do adsorvente (LUZ, 2012).

O custo benefício da aplicação do carvão ativado está ligado a sua condição de regeneração e reativação, o objetivo da regeneração é a remoção do material adsorvido da estrutura porosa do carvão. A regeneração do carvão ativado é um processo de recuperação do poder de adsorção gasto pelo carvão sem reativação. Normalmente uma parte da capacidade de adsorção do carvão em torno de 4 a 10% é perdida durante este processo, essa porcentagem depende dos compostos adsorvidos e o método de regeneração usado (METCALF; EDDY, 2003).

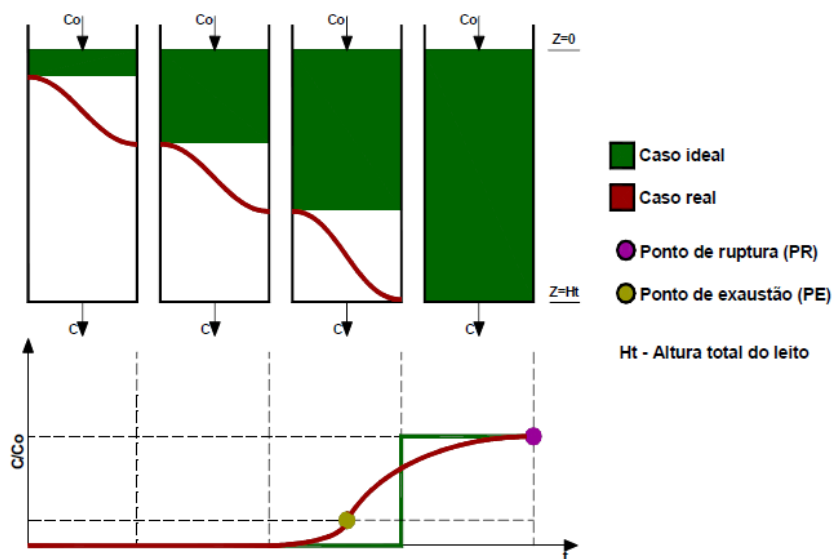
Na adsorção em colunas de leito fixo, as concentrações nas fases fluida e sólida variam com o tempo e também com a posição no interior do leito. No início, a maior parte da transferência de massa ocorre próximo a entrada do leito, onde o fluido entra em contato com o adsorvente, decorrido um intervalo de tempo, o sólido próximo a entrada torna-se saturado e a maior parte da transferência de massa ocorre no interior do leito (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 1993).

A região onde ocorre a mudança mais acentuada na concentração é denominada zona de transferência de massa. A curva de ruptura é obtida através da

---

<sup>2</sup> IDAHO (NATIONAL ENGINEERING LABORATORY). **Water treatment technologies**. EGG-WMO-10244, v.13. Idaho Falls, 1992

construção de um gráfico da concentração do efluente contra o tempo de operação (Figura 1). Quando a concentração alcança algum limite permissível, ou tempo de ruptura, o fluxo é interrompido, ou desvia-se o fluxo para uma nova coluna com adsorvente novo (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 1993).



**Figura 1 – Curvas de ruptura para leito fixo.**  
**Fonte: Barros; Arroyo (2001).**

Observa-se na Figura 1 que, com o passar do tempo, o meio adsorvente começa a saturar, e o ponto de ruptura ocorre quando há mudança na concentração do contaminante. O ponto de exaustão ou de saturação é quando a concentração de entrada é a mesma do final do leito, ou seja, o adsorvente precisa ser recuperado.

Se a zona de transferência de massa é relativamente estreita em relação ao comprimento do leito, a curva de ruptura deverá ter uma grande inclinação e uma maior capacidade do sólido deverá ser utilizado até a curva de ruptura. Quando a transferência de massa tem tamanho próximo ao comprimento do leito, a curva de ruptura é geralmente extensa, e uma menor capacidade do leito é utilizada (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 1993).

Uma zona de transferência de massa estreita é desejável e, neste caso, utiliza-se de maneira mais eficiente o adsorvente, com redução nos custos de regeneração. No ponto de ruptura, o adsorvente que está na entrada do leito até o



início da zona de transferência de massa está completamente saturado (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 1993).

Bastante semelhante com a adsorção, são os processos separativos que retêm os solutos nos sólidos por meio de diversas ações. Um destes processos é a troca iônica, a qual foi originalmente usada no tratamento de água, mas posteriormente desenvolveram-se diversas aplicações como a recuperação de metais de correntes de rejeito, essa técnica pode ser imaginada como um caso especial de adsorção, no qual o soluto fica retido por uma reação química com uma resina trocadora de íons, no qual uma resina trocadora de íons, especialmente preparada serve de adsorvente (FOUST et al., 1982).

Esse processo visa remover da água certas substâncias dissolvidas, principalmente os componentes iônicos, que são transferidos para uma fase sólida insolúvel, utilizando usualmente a resina de troca iônica (MIERZA; HESPANHOL, 2005).

Consiste na fixação, em uma superfície sólida (fase estacionária), de íons, que se trocam por íons da solução de outra espécie (fase móvel). Ao reter os íons indesejáveis presentes na água, a resina libera uma quantidade equivalente de outras espécies iônicas armazenadas em sua estrutura e inofensivas à qualidade da água tratada (NALCO<sup>3</sup>, 1988 apud MIERZA; HESPANHOL, 2005).

A capacidade da resina de troca iônica reter íons em sua estrutura é chamada de capacidade de troca. Essa capacidade é limitada devido ao tempo de saturação, que ocorre devido aos íons inicialmente presentes na água do processo. Quando saturada, deve-se interromper o processo de tratamento para que seja realizada a regeneração das resinas, com uma solução contendo os íons que estavam inicialmente causando a saturação (MIERZA; HESPANHOL, 2005).

Do processo de regeneração, é gerado um pequeno volume de líquido com alta concentração de contaminantes que pode ser recuperado, e caso não seja possível sua recuperação, o mesmo deverá ser disposto adequadamente como resíduo perigoso Classe I, conforme a NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

A utilização da troca iônica apresenta como vantagens: a geração de um efluente de qualidade superior à de outros processos; a frequente remoção seletiva

---

<sup>3</sup> NALCO Chemical Company. **The Nalco water handbook**. 2 ed. Editor: Frank N. Kemmer. New York: McGraw-Hill, 1988.

das espécies indesejáveis; a possibilidade de utilização para tratamento de grandes e pequenos volumes de efluentes (MIERZA; HESPANHOL, 2005). Os íons contidos nas águas residuárias como fosfatos, nitratos, sais minerais dissolvidos, amônia  $\text{NH}_4^+$ , cobre  $\text{Cu}^{2+}$ , zinco  $\text{Zn}^{2+}$ , níquel  $\text{Ni}^{2+}$ , podem ser separados das águas residuárias por um processo de troca iônica (NUNES, 2001).

Já as desvantagens do processo são os produtos químicos envolvidos no processo de regeneração que podem ser perigosos; limitações com relação a concentração do efluente a ser tratado; exige paradas para regeneração; os efluentes gerados têm uma concentração relativamente alta de contaminantes e outros compostos; a presença de substâncias orgânicas, micro-organismos, partículas em suspensão, substâncias oxidantes, etc. (MIERZA; HESPANHOL, 2005).

Nesse sentido, a adsorção e a troca iônica juntamente com o uso de biossorventes vieram como alternativas para o tratamento de metais pesados presentes na água residuária da suinocultura.

Diversos metais tais como: cádmio, cromo, cobre, ferro, chumbo, manganês, mercúrio, níquel e zinco são oriundos de diversas atividades industriais e muitos desses metais que são classificados como um dos principais poluentes, são necessários para o crescimento biológico, visto que os seres vivos precisam de quantidade metálicas adequadas para o seu crescimento. No entanto, a presença de qualquer um desses metais em quantidades excessivas irá interferir nos usos benéficos da água devido à sua toxicidade (METCALF; EDDY, 2003).

A toxicidade dos metais pesados na água depende do grau de oxidação do íon metálico e da forma em que se encontra, sendo que geralmente a forma iônica é a mais tóxica (NUNES, 2001). Os metais, quando na forma solúvel, ou mais propriamente falando, na forma catiônica, podem entrar na cadeia alimentar humana e de outros animais ao serem absorvidos, primariamente por plantas e micro-organismos (NUVOLARI et al., 2003).

O zinco e o cobre são elementos essenciais para o metabolismo humano, porém em concentrações elevadas se tornam prejudiciais à saúde. Altas concentrações de zinco nas águas causam efeitos tóxicos aos organismos aquáticos, que, se consumidos pelo homem, pode se acumular nos tecidos. O cobre traz danos como a irritação da mucosa, danos capilares generalizados, problemas hepáticos e renais e danos ao sistema nervoso central (IZIDORO, 2008).

Dependendo de suas concentrações nas águas, metais como zinco, cádmio, cobre, chumbo, níquel, entre outros, podem ser considerados tóxicos, principalmente devido aos seus potenciais mutagênicos e carcinogênicos e à sua não-degradabilidade no ambiente (IZIDORO, 2008).

Segundo Ribeiro (2011, apud WILSON<sup>4</sup> et al., 2003) o tratamento de efluentes líquidos contendo metais, e o uso do carvão de osso vem sendo investigada, principalmente devido às suas características como alta porosidade, área superficial específica e características alcalinas da superfície devido aos carbonatos presentes em sua composição. Tradicionalmente, o carvão de osso bovino é utilizado na remoção de cor na indústria do açúcar, entretanto tem despertado grande interesse em diversas aplicações no tratamento de águas contaminadas com compostos tanto orgânicos quanto inorgânicos (RIBEIRO, 2011).

O carvão de osso bovino é um material poroso de origem animal, sendo considerado um dos mais poderosos adsorventes conhecidos. Sua principal característica, e que o define, é a grande área superficial interna desenvolvida durante a ativação, formada por milhares de poros. O carvão de osso é composto de 80% de fosfato de cálcio, 10% de carbono e 10% de carbonato de cálcio e é obtido pelo processo de ativação física à elevadas temperaturas, proporcionando uma alta área superficial, tornando-se um material altamente poroso. É usado em processos em que se deseja purificar, descolorir, recuperar e remover odores, obtendo-se alta eficiência e baixo custo (BONECHAR – CARVÃO ATIVADO DO BRASIL LTDA, entre 2000 e 2007).

Embora o uso de carvão de osso para remover íons metálicos de efluentes ainda estar em fase de investigação, os potenciais usos industriais de carvão de osso em sistemas de tratamento de águas residuais apontam boas perspectivas, com o avanço das pesquisas sobre a etapa de regeneração e eliminação dos resíduos sólidos produzidos nestes processos (RIBEIRO, 2011).

Apesar dos custos dos minerais adsorventes naturais serem menores que os das resinas trocadoras, o tratamento de efluentes brutos altamente concentrados, tais como os suínicos, poderia levar a uma rápida saturação dos adsorventes, o que resultaria na geração de grandes volumes de resíduos sólidos os quais, por sua

---

<sup>4</sup> WILSON, J.A.; PULFORD, I.D.; THOMAS, S. **Sorption of Cu and Zn by bone charcoal.** Environment Geochemistry and Health, 25, 51-56, 2003

vez, deverão ser corretamente destinados (regenerados, reutilizados como fertilizantes ou adequadamente dispostos) (HIGARASHI; KUNZ; MATTEI. 2008).

Tendo em vista a problemática ambiental da exploração dessa atividade potencialmente poluidora no Paraná, e procurando conter a poluição do meio ambiente foi elaborada a Instrução Normativa IAP/DIRAM nº 105.006/09 que estabelece as características dos empreendimentos, os critérios - inclusive locacionais e técnicos, procedimentos, trâmite administrativo, níveis de competência e premissas para o licenciamento ambiental de empreendimentos de suinocultura, no estado do Paraná.

Nesse sentido a resolução CONAMA nº 430 de 2011, complementa a legislação estadual, estabelecendo os padrões de qualidade das águas a serem respeitados de acordo com a qualidade natural de cada corpo hídrico, favorecendo ou não, as condições de lançamento, desde que estejam dentro dos padrões estabelecidos.

Quanto pretende-se lançar efluentes industriais em cursos d'água é importante a distribuição local dos lançamentos, ainda mais importante que a distribuição local é a distribuição de lançamento em função do tempo, adaptado à variação da vazão do curso receptor (KARL; IMHOFF, 1986).

Normalmente o efluente resultante da atividade da suinocultura é utilizado na irrigação de culturas agrícolas. O uso direto desta água em solos agrícolas tem causado problemas de contaminação do solo com metais pesados, como o cobre e zinco, além do sódio, que estão presentes na ração animal (BERTONCINI, 2008). Embora o solo possua grande capacidade de absorção dos metais pesados, despejos com alta concentração deste não são aceitáveis para aplicação no solo, visto que podem se acumular no solo e poderão ser lixiviados para o subsolo, sendo posteriormente absorvido pelas plantas entrando assim na cadeia alimentar ou até mesmo reduzindo a produtividade agrícola (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

A infiltração de efluentes oferece uma proteção eficiente das águas contra os efeitos de poluição, também se tem a vantagem de atuar como fonte de nutrientes para as culturas, aumentando o teor de matéria orgânica, e melhoria da estrutura do solo, porém exige-se áreas extensas para o aproveitamento eficiente (KARL; IMHOFF, 1986).

O cuidado maior está ligado às características específicas de cada cultura e os riscos que essa aplicação apresenta ao solo, deve-se considerar as

características físico-químicas dos dejetos, os tipos de cultura, o teor de nutrientes do solo e do dejetos, os metais presentes e outros contaminantes químicos e biológicos. Além de levar em consideração a natureza e utilização do solo, profundidade do lençol freático, grau de permeabilidade do solo, utilização e localização da fonte de água utilizada para consumo humano, qualidade final do efluente, volume e taxa de remoção das águas superficiais (TELLES; COSTA, 2010).

Ao receber o efluente, mesmo que tratado, o corpo d'água receptor geralmente sofre uma deterioração da sua qualidade. No entanto, por meio de mecanismos puramente naturais, a qualidade do mesmo após algum tempo, volta a melhorar, retornando o equilíbrio ao meio aquático, considerando isso, efluente pode sim ser lançado em curso d'água (TELLES; COSTA, 2010).

Enquanto a quantidade e a concentração do despejo se mantiverem abaixo do limite recomendado pela legislação, pode-se lançar o efluente tratado em corpos hídricos e até há vantagem nisso, pois é estimulada a produção de alimentos para os peixes (KARL; IMHOFF, 1986).

Embora o solo seja o destino de praticamente todo o dejetos animal produzido no Brasil, em muitas regiões de baixa aptidão agrícola, a única opção que asseguraria a continuidade da atividade em consonância com a Legislação Ambiental vigente, seria a implantação de tratamentos específicos para esses efluentes (HIGARASHI; KUNZ; MATTEI. 2008).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA (ARS)

O experimento foi realizado em escala de bancada, no laboratório de Fenômenos de Transporte da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Campo Mourão.

A água residuária da suinocultura usada para o estudo é proveniente de uma granja de suínos localizada no município de Mamborê – Paraná. A granja conta com um plantel de 20.000 cabeças, e os suínos permanecem no local por um período de 150 dias, realizando o ciclo completo da espécie.

São consumidos na granja aproximadamente 100.000 litros de água por dia, e o efluente gerado é encaminhado a um sistema de tratamento que é constituído por um tanque de equalização para homogeneização do efluente, seguido por um biodigestor e por fim é destinado as lagoas de armazenamento. O efluente armazenado é usado para fertirrigação de culturas de milho, soja e trigo nas lavouras das proximidades. Como o estudo prevê um tratamento terciário para a água residuária da suinocultura, a mesma foi coletada nas lagoas de armazenamento, ou seja, é um efluente previamente tratado.

Foram coletados aproximadamente 25 Litros de ARS, em uma coleta momentânea em novembro de 2013. Logo após a coleta, o efluente foi encaminhado ao laboratório de Saneamento da UTFPR Câmpus Campo Mourão, onde foi congelado em um freezer vertical. Para caracterização da ARS foram realizadas as análises de pH, sólidos totais, fixos e voláteis, DQO, nitrogênio, cálcio, cobre e zinco, de acordo com metodologias descritas por APHA; AWWA; WEF (1998).

### 4.2 FARINHA DE OSSO

A farinha de osso foi adquirida em uma floricultura do comércio local e foi utilizada como biossorvente no processo de remoção dos metais pesados da ARS.

Para a caracterização da farinha de osso foram determinados os parâmetros: pH, teor de umidade, matéria orgânica total, carbono orgânico total, teor de cinzas, cálcio, cobre e zinco conforme metodologia descrita por Kiehl; Porta (1980) e Tedesco et al. (1995). Para determinação das concentrações de cálcio, cobre e zinco na farinha de osso antes e após o experimento, primeiramente realizou-se a digestão ácida das amostras com água régia (0,5 g da amostra em 9 mL de HCl + 3 mL de HNO<sub>3</sub>), com a posterior leitura dos extratos em espectrofotômetro de absorção atômica no Laboratório de Análises Agroambientais da UNIOESTE – Câmpus Cascavel.

#### 4.3 EXPERIMENTO EM COLUNA DE LEITO FIXO

O módulo didático experimental (adsorção sólido-líquido) foi fabricado pela Eco educacional. A coluna de leito fixo é constituída de um mini coluna de adsorção, construída em vidro com altura de 30 centímetros, diâmetro de 3 centímetros, com fluxo do tipo descendente contínuo mantido com o uso de uma bomba peristáltica (Figura 2).



Figura 2 – Experimento de adsorção em coluna de leito fixo.

Com a coluna totalmente preenchida do material adsorvente, foi iniciada a passagem da ARS pelo leito, em um fluxo de 2,5 mL/min, durante oito horas, em temperatura ambiente. A cada 25 mL de líquido percolado era obtido uma amostra, obtendo no total 38 amostras de 25 mL cada, essas foram armazenadas em congelador para posterior digestão ácida e análise de cobre, zinco e cálcio em espectrofotômetro de absorção atômica, conforme metodologia de APHA; AWWA; WEF (1998).

A eficiência de remoção dos íons metálicos da ARS foi calculada de acordo com a equação (1), onde  $C_0$  corresponde a concentração inicial do metal em mg/L e  $C_e$  indica a concentração residual do metal no tempo t, em mg/L.

$$Remoção (\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA

A água residuária da suinocultura foi caracterizada conforme análises físico-química dos seguintes parâmetros: DQO (bruta e filtrada), pH, temperatura, sólidos totais, fixos e voláteis, nitrogênio, cálcio, cobre e zinco apresentados na Tabela 1. Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados apresentados, representam a média das leituras.

**Tabela 1 - Caracterização físico-química da Água Residuária da Suinocultura.**

Parâmetro	Valor
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	888,2
DQO filtrada (mg L <sup>-1</sup> )	506,5
NTK (mg L <sup>-1</sup> )	2.800
Sólidos totais (mg L <sup>-1</sup> )	1.701
Sólidos fixos (mg L <sup>-1</sup> )	703
Sólidos voláteis (mg L <sup>-1</sup> )	998
pH	7,77
Cálcio (mg L <sup>-1</sup> )	115
Cobre (mg L <sup>-1</sup> )	2,1838
Zinco (mg L <sup>-1</sup> )	9,9767

Legenda: DBO: demanda bioquímica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; NTK: nitrogênio total Kjeldahl.

Gonçalves et al. (2011) caracterizaram a água residuária da suinocultura, coletada na saída da segunda lagoa de estabilização, tratada em um biossistema integrado, constituído por biodigestor, tanque de sedimentação, duas lagoas de estabilização, tanque de algas e tanque de peixes. Seus valores de DQO (bruta e filtrada), foram respectivamente 2.500mg/L e 1.595,93mg/L.

Embora, a ARS caracterizada pelos autores tenha sido tratada em um sistema mais moderno se comparado a ARS caracterizada na pesquisa, seus valores de DQO (bruta e filtrada) foram quase três vezes maiores do que os valores

em estudo, e quanto maior as concentrações desse parâmetro maiores são os danos ambientais.

Outros valores encontrados pelos mesmos pesquisadores que se mostraram superiores se comparados ao da pesquisa, foram os sólidos, sendo 2.6949,50 mg/L de sólidos totais, 1.573,00 mg/L de sólidos fixos e 1.076,50 mg/L de sólidos voláteis. Na determinação de pH os valores foram bem próximos aos encontrados na pesquisa, apresentando uma diferença de apenas 0,2 (unid. pH). Outro parâmetro caracterizado pelos autores que apresentou valor consideravelmente menor que o de estudo, foi o NTK (1.052,80 mg/L).

Dal Bosco et al. (2008), caracterizaram a água residuária da suinocultura, de uma granja com capacidade para criação de 1.700 suínos em fase de terminação na região de Cascavel – PR, onde os dejetos dos suínos são tratados por duas bioesterqueiras, sistema inferior se comparado ao adotado para o tratamento da ARS caracterizada, e seus resultados obtidos foram de pH igual a 8,1 pouco acima do que o encontrada na pesquisa porém determinaram um NTK de 1100 mg/L, valor inferior se comparado ao da pesquisa, esse parâmetro normalmente tem relação com os produtos de higiene utilizados na limpeza das granjas e com a quantidade de matéria orgânica.

O nitrogênio é considerado como um dos principais problemas de poluição dos recursos hídricos. O N é o nutriente que exige maiores cuidados, pois além de limitar o desenvolvimento da maioria das culturas, é o mais sujeito a transformações biológicas e perdas, seja na armazenagem ou no solo (NETO, 2007).

Se compararmos os valores obtidos na caracterização da ARS com os padrões de lançamentos estabelecidos pela Instrução Normativa IAP/DIRAM 105.006 de 2009 e também com a resolução CONAMA 430 de 2011, a mesma não poderia ser lançada em corpos hídricos, pois para os parâmetros caracterizados na pesquisa, o único que está de acordo com os parâmetros de lançamento da legislação é o pH.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO BIOSSORVENTE

Na caracterização da farinha de osso, foram determinados os parâmetros pH, carbono orgânico total, matéria orgânica total, teor de umidade, teor de cinzas, cálcio, cobre e zinco, apresentados na Tabela 2. Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados apresentados, representam a média das leituras.

**Tabela 2 - Caracterização físico-química do Biossorvente.**

Parâmetro	Valor
pH	7,28
Carbono Orgânico total (%)	18,68
Matéria orgânica total (%)	33,63
Teor de umidade (%)	34,53
Teor de cinzas (%)	65,46
Cálcio ( $\text{g kg}^{-1}$ )	206,02
Cobre ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0
Zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	22,30

Com o objetivo de estudar a remoção do corante verde de malaquita de soluções, Ghaemi e Tavakkoli (2013) produziram a farinha de osso a partir da calcinação de ossos coletados em açougues. Na caracterização foram encontrados alto teor de Ca (49,62%) e pequenas quantidades Cu (0,03%) e Zn (0,02%), Embora as concentrações na pesquisa foram determinadas em ( $\text{mg L}^{-1}$ ), os resultados dos autores são semelhantes ao do estudo, onde alta concentração de cálcio e baixas concentrações dos metais foram encontradas na farinha de osso.

Em um trabalho realizado por Guedes, Mansur e Rocha (2007), carvão de ossos ativado produzido no Brasil, foi usado na remoção de Zn, Cu, Cd, Co, Pb e Ni, metais comumente presentes em efluentes da indústria minero-metalúrgica. Na caracterização do biossorvente foi encontrado baixo teor de umidade (2,9%). O teor de carbono variou de 9-11%, as cinzas solúveis em ácido presentes apresentaram teor <3% e o teor de carbonato de cálcio foi de 7-9%. Esses valores foram bem

abaixo aos determinados na pesquisa, visto que a farinha de osso não passou por um processo de ativação, diferentemente do carvão de ossos.

Mohamed et al. (2012) realizaram a caracterização de carvão de ossos produzidos a partir da carbonização e ativação de osso de vaca, e obtiveram um teor de cinzas de 10,75%, um teor de umidade de 3,9% e o teor de carbono fixo de 84,83%, esses valores foram bem diferentes dos encontrados na pesquisa, pois foi realizada a ativação do carvão de ossos produzidos.

Castillo, Petriciolet, Rincón (2014), realizaram a caracterização físico-química do carvão de osso bovino, usado na remoção de metais pesados presentes em soluções aquosas, o adsorvente foi lavado com água deionizada fervida, e o pH encontrado foi de 8,23 o teor de cinzas foi de (81,90%) e o teor de carbono de (11.65%). Esses resultados foram relativamente próximos se comparados aos obtidos no presente trabalho.

Um elevado teor de cinzas pode influenciar de forma negativa na capacidade de adsorção dos materiais, mas teores de cinzas elevados não inviabilizam a utilização do biossorvente. Um alto teor de cinzas pode estar relacionado ao método de ativação e ao fato de os compostos inorgânicos presentes no material de partida ficarem retidos (occlusos ou ligados ao material carbonáceo). Os baixos teores de cinzas influenciam positivamente a capacidade de adsorção em decorrência do material orgânico ter sido volatilizado (SHIN et al, 2008).

Materiais que possuem um alto teor de carbono, como madeira, hulha, lignina, casca de coco, grão de café, bambu, quitosana etc, podem ser convertidos em carvão ativado (RAMOS et al., 2009).

Ossos de vaca (fêmur e úmero) obtidos a partir de um matadouro, foram lavados, enxaguados, esmagados e calcinados em forno mufla. O adsorvente foi utilizado para investigar a adsorção de chumbo e de cromo em solução aquosa. O valor de teor de cinzas obtido 66%, valor bem próximo ao obtido nesse estudo, possivelmente pela mesma forma de preparação da farinha de osso (IBRAHIN; SUNDAY; ODOH, 2012).

### 5.3 EXPERIMENTO EM COLUNA DE LEITO FIXO

Na Tabela 3 é apresentada a determinação dos parâmetros cálcio, cobre e zinco, obtidos na farinha de osso após a passagem da ARS no leito de adsorção. Observa-se que houve um aumento da concentração de cobre e zinco na farinha de osso, após a passagem da água residuária da suinocultura no leito.

**Tabela 3 – Determinação do cálcio, cobre e zinco do bioissorvente após a passagem da ARS no reator de leito fixo.**

Parâmetro	Valor
Cálcio ( $\text{g kg}^{-1}$ )	204,85
Cobre ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	1,78
Zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	24,02

Houve uma redução de 0,6% na concentração do cálcio da farinha de osso após a passagem do efluente. Esse valor é muito baixo para afirmar-se que ocorreu troca iônica entre o cálcio do bioissorvente e os metais cobre e zinco da ARS. Provavelmente esse valor é resultado de um erro experimental. Contudo, o que possivelmente ocorreu foi adsorção física nos poros da farinha.

Conforme observa-se na Tabela 4, as concentrações iniciais dos metais na saída dos biodigestores da granja foram de 2,18 mg/L para o cobre e 9,98 mg/L para o zinco, com isso a ARS não poderia ser lançada em um corpo receptor pois não atende os padrões de lançamentos impostos pela legislação.

**Tabela 4 – Representação das concentrações iniciais (mg/L) dos metais cobre e zinco na ARS, a média de remoção (%) dos metais após o tratamento com a farinha de osso, concentrações finais (mg/L) dos metais na ARS após a passagem no leito fixo e o comparativo com a legislação brasileira.**

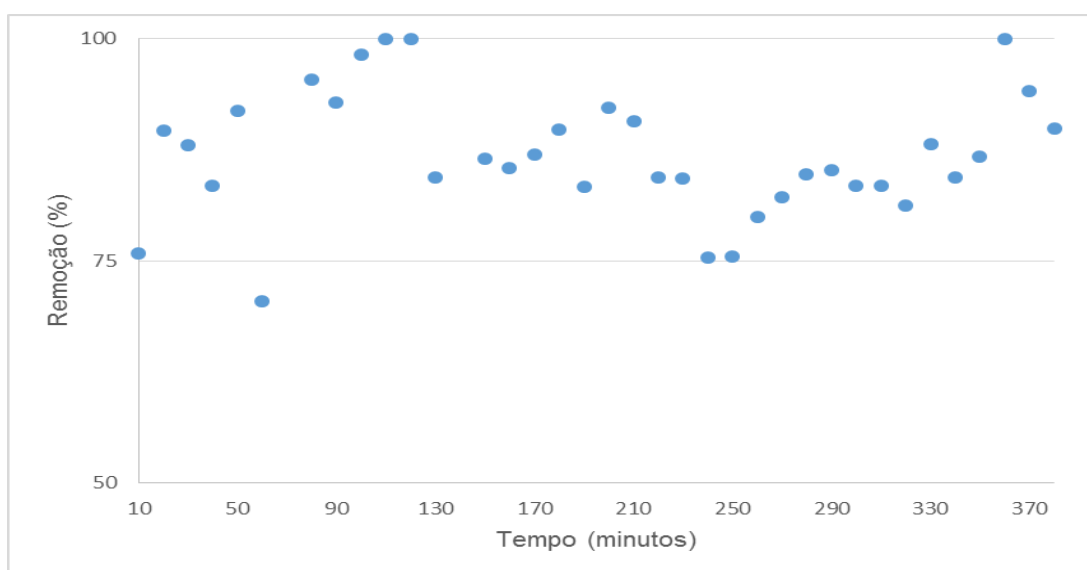
Metais	Concentração inicial na ARS (mg/L)	Média de Remoção (%)	Concentração final na ARS (mg/L)	Limites Legislação* (mg/L)
Cobre	2,18	86,90	0,29	1,00
Zinco	9,98	80,21	1,97	5,00

\* Resolução CONAMA 430/11 e Instrução Normativa do IAP 105.006/09.

Após a passagem da ARS no leito de adsorção contendo a farinha de osso, as concentrações dos metais da ARS reduziram significativamente para as condições da pesquisa, e passaram a atender os padrões de lançamento em corpo receptor previstos no artigo 16 da Resolução CONAMA 430 de 2011 e na Instrução Normativa do IAP 105.006/09. Portanto, somente o uso de biodigestores, que é o tipo de tratamento convencionalmente utilizado nas granjas não é eficiente para remoção dos metais. O tratamento terciário com a adsorção, através da utilização da farinha de osso em coluna de leito fixo, foi necessário para adequar os valores das concentrações dos metais conforme o exigido pela legislação.

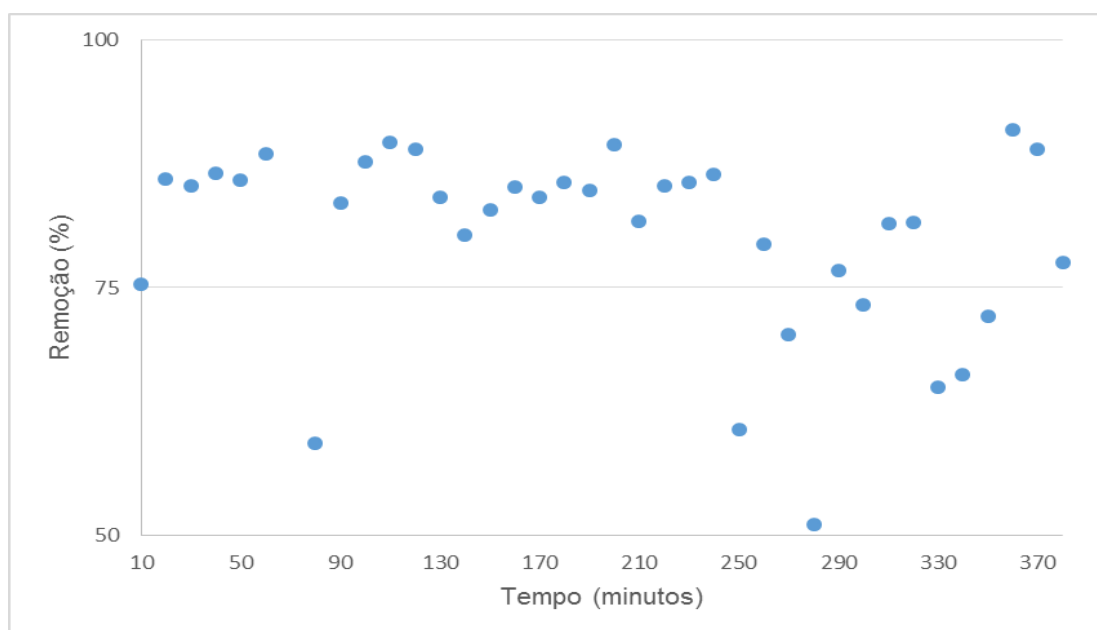
Em se tratando de metais pesados, a sua remoção de efluentes se dá nas etapas de tratamento secundário e, muitas vezes, requer a adoção do tratamento terciário para o alcance dos padrões estabelecidos na legislação ambiental (GUEDES; MAGALHÃES; ROCHA, 2005).

Durante a realização do experimento (aproximadamente 8 horas), foram coletadas 38 alíquotas com intervalos de aproximadamente 10 minutos, estimados a partir da vazão do experimento. Na Figura 3 é apresentada a taxa de remoção do cobre pela farinha de osso. O biossorvente não apresentou grandes variações para a remoção do cobre da ARS, o mínimo valor removido de cobre foi 70,52% e o máximo obtido três vezes foi de 100%, apresentando uma média de remoção de 86,90%.



**Figura 3 – Remoção de Cobre da ARS durante a passagem pelo leito fixo de adsorção contendo farinha de osso.**

O percentual de remoção do zinco pela farinha de osso é apresentado na Figura 4, com maior variação ao decorrer do tempo se comparado ao cobre. O mínimo valor removido foi de 51% e o máximo foi de 90%, obtendo uma média de 80,21 % de remoção, aproximadamente 6% a menos que o zinco.



**Figura 4 – Remoção de Zinco da ARS durante a passagem pelo leito fixo de adsorção contendo farinha de osso.**

Banat, AL-Asheh e Mohai (2000) estudaram a eficiência dos ossos de animais para adsorver o zinco em solução aquosa. Os ossos foram coletados em açougues, depois de secos, foram esmagados e moídos em diferentes tamanhos de partículas, os resultados indicaram que, depois de 96 h de tempo de adsorção, obteve-se uma remoção de 77%. Também concluíram que a diminuição do tamanho de partícula do adsorvente resultou numa melhor adsorção, devido ao aumento da superfície de contato.

O carvão de ossos bovinos de granulometria fina apresentou resultados mais satisfatórios do que o de granulometria grosseira, para o tratamento de um efluente proveniente da indústria do zinco e efluentes sintéticos. Esse é um dado importante, tendo em vista que o carvão fino é um produto de baixo valor agregado (GUEDES, MAGALHÃES; ROCHA, 2005).

Os estudos de Barbiéri et al. (2007) apresentaram respectivamente 65%, 78% e 85% de eficiência de remoção para os metais chumbo, cádmio e mercúrio presentes em soluções aquosas, após três horas em contato com osso bovino produzidos a partir de ossos coletados em um abatedouro.

Com o objetivo de avaliar a capacidade adsorvente do carvão de osso de boi dos metais níquel e zinco, os resultados do trabalho de Soares (2012), indicaram que houve uma remoção de 8,1 a 19,5% dos metais, indicando que a quantidade de carvão adicionada não foi suficiente para uma adsorção satisfatória dos metais contidos na amostra.

O carvão de osso bovino tratado com solução ácida para dissolver a fração inorgânica da estrutura química do carvão, diminuiu em 74, 92, e 57% a remoção de Cd, Ni e Zn, respectivamente. Portanto, os resultados sugerem que a fase inorgânica (cálcio e fosfato) de carvão de osso contribui de 60 até 92% do processo de sorção de metais pesados, ou seja, as propriedades de adsorção são altamente dependentes da composição inorgânica desse adsorvente (CASTILLO; PETRICIOLET; RINCÓN, 2014).

Além de ser usado na remoção de metais, a farinha de osso também é eficiente na remoção de corantes. Ghaemi e Tavakkoli (2013) obtiveram uma remoção máxima de 92,4% do corante verde de malaquita a partir de farinha de osso obtida da calcinação de ossos coletados em açougues.

Portanto, a farinha de osso apresentou remoção próxima ou mais elevada dos metais cobre e zinco se comparados a outros estudos.

Quando pretende-se dispor os dejetos da suinocultura no solo, no Estado do Paraná, deve-se atender os parâmetros para cobre e zinco apresentados na Tabela 5, indicados pela Instrução Normativa do IAP 105.006/09. Embora, para as condições de estudo o uso do biodigestor foi suficiente para atender os parâmetros do cobre e zinco para disposição de dejetos em solo, não significa que o biodigestor (tratamento secundário) é eficiente na remoção de metais, como foi coletada a parte líquida da ARS, os metais possivelmente estejam presentes na parte sólida do dejetos, e por ventura estão decantados no fundo das lagoas de armazenagem.



**Tabela 5 – Representação dos teores limites dos metais cobre e zinco permitidos nos dejetos suínos para aplicação no solo impostos pela Instrução Normativa do IAP 105.006/09 (mg/Kg de mat. Seca) e os teores desses metais obtidos na parte sólida da ARS (mg/Kg de ARS).**

Metais	Teor Limite no Dejeto (mg/Kg de mat. Seca)	Teor Obtido no Dejeto (mg/Kg de ARS)
Cobre	1000	1,676
Zinco	2500	7,657

Por isso, é interessante adotar-se tecnologias avançadas que reduzem as concentrações desses metais nas águas residuárias de suinocultura, evitando assim a saturação dos elementos cobre e zinco nos solos, assegurando a redução da contaminação ambiental.

Para aplicação dos dejetos no solo, para fins agrícolas, devem ser observados, no mínimo, os seguintes aspectos: disponibilidade de área para aplicações; área de aplicação; época de aplicação; monitoramento; forma de aplicação; culturas recomendadas e outros descritos no anexo 6 da Instrução Normativa do IAP 105.006/09. A taxa de aplicação (m<sup>3</sup>/ha) é calculada em função da caracterização do dejeto, da análise de fertilidade e granulométrica do solo e da recomendação de adubação para as culturas utilizadas, considerando-se os elementos limitantes para o uso agrícola dos dejetos o nitrogênio (N) e o fósforo (P).

O poder depurador do solo é muito maior que o poder depurador das águas, pois o solo funciona como filtro, além de promover a decomposição da matéria orgânica ainda presente em efluentes tratados. Para a agricultura, o reúso de efluentes fornece além de água, alguns nutrientes para as plantas (BERTONCINI, 2008). No entanto, sucessivas aplicações, associadas à incorporação de matéria orgânica de rápida degradação e muito pouco estabilizada, podem ocasionar o acúmulo de metal pesado no solo.

Nesse sentido, independente de qual seja a escolha para disposição final da água residuária da suinocultura (solo ou corpo receptor), é necessário levar em consideração critérios técnicos para que se evite a contaminação dos solos, rios e aquíferos, visto que a boa qualidade destes é de extrema importância para as atividades humanas, indústrias e agrícolas.

#### 5.4 CURVAS DE RUPTURA

Embora a determinação das curvas de ruptura tenha sido proposta como um objetivo específico do trabalho, não foi possível determiná-las pois não ocorreu a saturação do biossorvente durante o tempo de experimento, ou seja, a concentração dos metais na saída do reator não alcançou a mesma concentração inicial, por consequência disto o ponto de saturação do meio adsorvente não foi obtido.

## 6 CONCLUSÃO

A farinha de osso apresentou potencial para ser utilizada como biossorvente no tratamento terciário de águas residuárias da suinocultura, para remoção de metais pesados como cobre e zinco. O emprego desse tratamento foi essencial para que a ARS atendesse a legislação de lançamento em corpos hídricos.

## 7 RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se um tempo maior de experimento, no mínimo 24 horas, para que se consiga obter o tempo de saturação do adsorvente;

- Também é importante realizar a caracterização da água residuária na entrada do sistema (efluente bruto), para saber qual o comportamento dos sistemas de tratamento adotados pelas granjas;

- Coletar o efluente através de uma amostragem composta, para garantir a representatividade da ARS, além de realizar mais testes de adsorção, como testes cinéticos e construção de isotermas, que descrevam como ocorre esse processo.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

APHA; AWWA e WEF. American Public Health Association (1998) **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. Ed., Washington, 1.193 p.

BANAT, Fawzi; AL-ASHEH, Sammer; MOHAI, Fadhel. Batch zinc removal from aqueous solution using dried animal bones. **Elsevier Science: Separation and Purification Technology**. n. 21. p. 155-164, jul. 2000.

BARBIÉRI, Roberto S.; REIS, Samuel J. O. de; SILVA, Viviane, V.; VIEIRA, Carlos A.; CARLOS, Dias A. K.; BARBIÉRI, Caio P. Uso de osso bovino pulverizado como biofiltro para retenção de metais tóxicos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE QUÍMICA ...2007, Natal, Rio Grande do Norte: 2007.

BARONI, Paula; SILVA, Meuris G. C. da; BEPPU, Marisa M. Adsorção de cromo em coluna de leito fixo, utilizando quitosana natural e reticulada. In: CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 13., 2005. **Anais...** Campinas. Disponível em: <<http://www.feq.unicamp.br/~cobeqic/tEa58.pdf>>. Acesso: 17 out. 2013.

BARROS, Flávia M.; MARTINEZ, Mauro A.; NEVES, Júlio C.L.; MATOS, Antonio T. de; SILVA, Demétrius D. da. Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.47-51, 2005.

BARROS, Maria A. S. D. de; ARROYO, Pedro A. Métodos de remoção de cromo de águas residuais – métodos de adsorção. In: \_\_\_\_\_. BARROS, Maria A. S. D.; ARROYO, Pedro A. SOUSA-AGUIAR, Eduardo F. (Edi.). **Problemas ambientais com soluções catalíticas**: I. O Cromo no processamento de peles. Madri: CYTED, 2001. p. 84-98.

BERTONCINI, Edna I. Tratamento de Efluentes e Reúso da Água no Meio Agrícola. **Tecnologia & Inovação Agropecuária**. São Paulo, Jul. 2008.

BLEY JR., Cícero; LIBÂNIO, José C.; GALINKIN, Maurício; OLIVEIRA, Mauro M. **Agroenergia da Biomassa Residual**: perspectivas Energéticas, Socioeconômicas e Ambientais. 2. ed. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2009.

BRAILE, Pedro M.; CAVALCANTI, José E. W. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 3 ed. São Paulo. 1993.

BONECHAR Carvão Ativado do Brasil Ltda. **Carvão ativado**. Entre 2000 e 2007. Disponível em: < [http://www.bonechar.com.br/carvao\\_ativado.html](http://www.bonechar.com.br/carvao_ativado.html)>. Acesso: 23 jan. 2014.

BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Ministério do Meio Ambiente**. Brasília, 13 de mai. de 2011. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 17 jul. 2014.

BRASIL. Instrução Normativa nº 105.006, de 23 de junho de 2009. **Instituto Ambiental do Paraná**. Curitiba, 23 de jun. de 2009. Disponível em: < [http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/Instrucao\\_normativa/IN\\_105\\_006\\_SUINOS\\_VERSAO23JUN2009.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/Instrucao_normativa/IN_105_006_SUINOS_VERSAO23JUN2009.pdf)> Acesso em: 17 jul. 2014.

CASTILLO, Didilia I.M.; PETRICIOLETA, Adrián B.; RINCÓN, Juan J. Desalination and water treatment: on the importance of surface chemistry and composition of bone char for the sorption of heavy metals from aqueous solution. 2014. **Taylor & Francis**., London, p. 37-41. 2014.

DAL BOSCO, Tatiane C.; IOST, Caroline; SILVA, Lucimar N. da; CARNELLOSI, Cristiany F.; EBERT, Douglas C.; SCHREINER, Jackson S.; SAMPAIO, Silvio C. Utilização de água residuária de suinocultura em propriedade agrícola – estudo de caso. 2008. **Revista Irriga**. Botucatu, v. 13, n. 1, p. 139-144, 2008

DALLAGO, Rogério M.; SMANIOTTO, Alessandra; OLIVEIRA, Luiz C. A. de. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para remoção de corantes em meio aquoso. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 28 n. 3. p. 433-437, fev. 2005.

DIESEL, Roberto; MIRANDA, Cláudio R.; PERDOMO, Carlos C. Coletânea de Tecnologias Sobre Dejetos Suínos. **BIPERS**, Concórdia, n. 14, p. 30, ago. 2002.

FOUST, Alan S.; WENZEL, Leonard A.; CLUMP, Curtis W.; MAU, Louis. ANDERSEN, Bryce L. **Princípios das operações unitárias**. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

GHAEMI, Arezoo; TAVAKKOLI, Haman. Adsorption behavior investigation of malachite green dye onto animal bone meal; kinetic and isotherm studies. International Journal of Scientific Research in Knowledge, Malaysia, 14 out. 2013, Full Length Research Paper. Disponível em: <<http://www.ijsrpub.com/uploads/papers/IJSRK/IJSRK-Nov2013/IJSRK-13-159.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2014.

GIROTTTO, Eduardo. **Cobre e Zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquidos de suínos**. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2007.

GONÇALVES, Morgana S.; SAMPAIO, Silvio C.; SUSZEK, Floriano L.; COELHO, Sílvia R.M. Lixiviação de atrazina em solo submetido à aplicação de água residuária de suinocultura. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2.. 2011, Foz do Iguaçu **Anais...** Foz do Iguaçu: 2011 p. 1-4.

GUEDES, Thiago S.; MAGALHÃES, Fernando; ROCHA, Sônia D.F. Potencial de adsorção de metais pesados por carvão de ossos bovinos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 21.. 2005, Natal. **Anais...** Natal 2005.

GUEDES, Thiago S.; MANSUR, Marcelo B.; ROCHA, Sônica D.F. A perspective of bone char use in the treatment of industrial liquid effluents containing heavy metals. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 12 e BRAZILIAN NATIONAL MEETING OF MINERAL TREATMENT AND EXTRACTIVE METALLURGY, 7... 2007, Ouro Preto **Anais...** Ouro Preto: 2007 p. 1-8.

HIGARASHI, Martha M.; KUNZ, Airton; MATTEI, Rosemari M. Aplicação de adsorção para remover amônia de efluentes suinícolas pré-tratados. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 1156-1160, jul. 2008.

IBRAHIM, Olaniyi; SUNDAY, Moses; ODOH, Raphael. Adsorption study of Cr (VI) and Pb (II) from aqueous solution using animal charcoal derived from cow boné. **Pelagia Research Library**, USA, n.3 , p. 648-657. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatística da Produção Pecuária**. 2013. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos\\_201302\\_publ\\_completa.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201302_publ_completa.pdf)>. Acesso: 16 out. 2013.

IZIDORO, Juliana de C. **Estudos Sobre a Remoção de Íons Metálicos em Água Usando Zeólitas Sintetizadas a Partir de Cinzas de Carvão**. 2008. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

KARL; IMHOFF, Klaus. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias**. São Paulo: Edgard Blücher, 1 ed. 1986.

KIEHL, E. J.; PORTA, A. **Análises de lixo e composto**. 1. ed. Piracicaba: Departamento de solos, geologia e fertilizantes, ESALQ, 1980.

KUNZ, Airton; HIGARASHI, Martha M.; OLIVEIRA, Paulo A. de. Tecnologias de manejo e tratamento e dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, set./dez. 2005.

LUZ, Adriana D. da. **Aplicação de coluna de adsorção em leito fixo para a remoção de compostos btx multicomponentes presentes em efluentes petroquímicos**. 2012. 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MARCATO, Simara M.; LIMA, Gustavo J. M. M. de. Efeito da restrição alimentar como redutor do poder poluente dos dejetos suínos. 2005. **Revista Bras. Zootec.**, Viçosa, v.34, n. 3, p. 855-863, 2005.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. **Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse**. 4ed. Singapore: McGraw-Hill, Inc. International Edition, 2003.

MOHAMMED, Abubakar; ABOJE, Alechenu A.; AUTA, Manse; JIBRIL, Mohammed. A Comparative Analysis and Characterization of Animal Bones as Adsorbent. **Pelagia Research Library**, USA, n.3, p. 3089-3096. 2012.

OENNING JR, Airton. **Avaliação de Tecnologias Avançadas para o Reúso de Água em Indústria Metal-mecânica**. 2006. 248 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, Roberto A. de; URBINATI, Estevão. Coliformes totais e termotolerantes no solo fertirrigado com águas residuárias de suinocultura tratadas em reatores anaeróbios e aeróbio. In: SIMPÓSIO SOBRE AGRÍCOLA E GESTÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAL, 3.. 2013, São Pedro. **Anais...** São Pedro: 2013 p. 12-14.



MATTIAS, Jorge L. **Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de Santa Catarina**. 2006. 164 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa, Santa Maria, 2006.

MCCABE, Warren L.; SMITH, Julian S.; HARRIOTT, Peter. **Unit Operations of Chemical Engineering**, 5. Ed. Singapore: McGraw-Hill, 1993.

MIERZA, José C.; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na Indústria: uso racional e reuso**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MORAES, Luciana. de M.; PAULA JR., Durval R. de. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de resíduos da bovinocultura e da suinocultura. **Eng. Agríc.**, Botucatu, v. 24, n. 2, p.445-454, maio/ago. 2004.

NETO, Mário S. de A. **Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator anaeróbio compartimentado seguido de reator UASB**. 2007. 192 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2007.

NUNES, José A. **Tratamento Físico- Químico de Água Residuárias Industriais**. 3. ed. Aracaju: Editora Triunfo, 2001.

NUVOLARI, Ariovaldo; ARAÚJO, Roberto de; MIYASHITA, Nelson J.; RIBEIRO, Jose T.; RODRIGUES, Roberta B.; TELLES, Dirceu D. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2. ed. São Paulo. Editora: Blucher, 2003.

PEREIRA, Edilaine R.; DEMARCHI, João J. A. de A.; BUDIÑO, Fábio E. L. **A questão ambiental e os impactos causados pelos efluentes da suinocultura**. 2009. Disponível em:<[http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_3/QAmbiental/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/QAmbiental/index.htm)>. Acesso: 26 nov. 2013.

RAMOS, Paulize H.; GUERREIRO, Mário C.; RESENDE, Eliana C. de; GONÇALVES, Maraísa. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 32, n. 5, p. 1139-1143, mai. 2009.

REVISTA AGROPECUÁRIA. Viçosa, 2014. Disponível em:<<http://www.revistaagropecuaria.com.br/categoria/areas/pecuaria/suinos/>>. Acesso: 14 ago. 2014.

RIBEIRO, Marcus V. **Uso de Carvão de Osso Bovino na Defluoretação de Água para Uso em Abastecimento Público**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

ROESLER, Marli R.V.B.; CESCNETO, Eugênia A. A produção de suínos e as propostas de gestão de ativos ambientais: o caso da região de Toledo – Paraná. **GEPEC**, v.7, n.7.2003.

SEGANFREDO, Milton A. Uso de dejetos suínos como fertilizantes e seus riscos ambientais. *Gestão ambiental na suinocultura*. 1. Ed. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2007.

SHIN, Eun J., LAUVE, Alexander; CAREY, Maxwell; BUKOVSKY, Eric; RANVILLE, James F.; EVANS, Robert J.; HERRING, Andrew M. The development of bio-carbon adsorbents from Lodgepole Pine to remediate acid mine drainage in the Rocky Mountains. **Elsevier Science: Biomass and Bioenergy**. v. 32, p. 267-276, out. 2008.

SOARES, Daniel de A. **Estudo da Adsorção de Níquel e Zinco por Meio do Carvão Ativado de Osso Bovino**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

TEDESCO, Marino J.; GIANELLO, Clésio; BISSANI, Carlos A.; BOHNEN, Humberto; VOLKWEISS, Sergio J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre. Editora: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TELLES, Dirceu D.; COSTA, Regina P. (Coord.) **REÚSO DA ÁGUA: conceitos. Teorias e práticas**. 2ed. São Paulo. Editora: Blucher, 2010.