

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
ENGENHARIA CIVIL

LÍVIA FERNANDA SILVA

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE SERRAGEM COMO ADSORVENTE
ALTERNATIVO NA REMOÇÃO DE VERDE DE MALAQUITA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

LÍVIA FERNANDA SILVA

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE SERRAGEM COMO ADSORVENTE
ALTERNATIVO NA REMOÇÃO DE VERDE DE MALAQUITA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, pela Coordenação
de Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dra.
MorganaSuszekGonçalves

Co-Orientadora: Prof^a. Dra. Karina
Querne de Carvalho

CAMPO MOURÃO

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso Nº 45

UTILIZAÇÃO DO PÓ DE SERRAGEM COMO ADSORVENTE ALTERNATIVO NA REMOÇÃO DE VERDE DE MALAQUITA

por

Lívia Fernanda Silva

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15h e 50 min. do dia 18 de fevereiro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^ª. Dr^ª. Karina Querne de Carvalho

(UTFPR)

Co-orientadora

Prof^ª. Msc. Paula Cristina de Souza

(UTFPR)

Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Kreutz

(UTFPR)

Prof^ª. Dr^ª. Morgana Suszek Gonçalves

(UTFPR)

Orientadora

Responsável pelo TCC: **Prof. Msc. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof^ª Dr. Marcelo Guelbert

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico este trabalho aos meus orientadores, meus pais Fernando e Léia, as minhas irmãs Lauriê e Lara, e a minha prima Andréa, pela compreensão de minha ausência, por sábios conselhos, por todo amor e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser meu esteio, meu caminho, minha luz. Por toda a sabedoria e paciência dada nas horas em que, sem Ele, não conseguiria atingir meus objetivos.

À minha mãe Léia, por ser um exemplo de caráter, do qual sempre me espelharei e me orgulharei. Pelo amor e confiança que depositou em mim, pela amizade, conselhos e, por acima de tudo, ter acreditado que eu seria capaz mesmo quando eu duvidava.

Ao meu pai Fernando, por suas poucas e fortes palavras, pelo amor e apoio necessários para que essa etapa fosse concluída.

Às minhas irmãs, Lauriê e Lara, por seu amor incondicional, pela preocupação, torcida, conselhos dados, por serem meus maiores orgulhos. Sei que nosso laço vai além da fraternidade.

À minha prima Andréa Akucevikus Molina, por ser como uma irmã, pelo amor, preocupação e principalmente pelo exemplo através de sua capacidade de lidar com a vida como uma criança e saber ter responsabilidade de um adulto quando preciso.

Aos meus amigos Flávia Rogério, Juliano Amador da Silva e Sálua Braz Abdalla, por demonstrarem que o verdadeiro laço de amizade transcende anos, distâncias e barreiras.

Aos amigos André Luiz do Nascimento (Gabé), Aline Paula Pitol (Pity), Bruna Lermen (Pote), Bruno Plácido Casado (Idi), Jaqueline Ribeiro, Priscila Pires de Araújo Pereira (Field), Raí Nagaoka (Nag), Roberto Ferreira Coelho Junior (Betão) e Maiko Cristian Sedoski pelas incontáveis ajudas e noites de estudo, pelas conversas jogadas fora, pelas festas, caronas, companheirismo necessário, que foram essenciais com que se criassem laços pra uma vida toda e formássemos uma família.

Às minhas companheiras de moradia Alessandra Monique Weber e Thaís Craveiro que fizeram da divisão de tarefas domésticas um começo para uma amizade e companheirismo e que tornaram a nossa casa um lar.

À minha orientadora, Professora Dra. Morgana Suszek Gonçalves, pela instrução e exemplo de capacidade e profissionalismo, ajuda e paciência necessárias para a conclusão deste trabalho.

À co-orientadora Professora Dra. Karina Querne de Carvalho, por ser além de uma professora, uma amiga. Pelos conselhos sábios, por seu amor em tudo que faz e pela confiança depositada enquanto trabalhamos juntas.

Ao Professor Dr. Fernando Hermes Passig pela oportunidade dada através da pesquisa.

À todos os professores da Coordenação de Engenharia Civil e Ambiental pelos ensinamentos.

Aos amigos do laboratório Daniel Shuzolkeno, Layane Lunardi Martins e Nayara Romano a toda ajuda prestada.

À todos meus amigos de turma que direta ou indiretamente me apoiaram durante o curso.

Aos técnicos do laboratório Kássia Ayumi Segawa do Amaral e Marcelo Nunes de Jesús pela ajuda prestada para realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de inovação científica e recursos financeiros para o projeto.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná – câmpus Campo Mourão, pelo espaço cedido para a realização deste trabalho.

RESUMO

SILVA, L. F. **Utilização do pó de serragem como adsorvente alternativo na remoção de verde de malaquita.** 2014. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência do uso do pó de serragem como adsorvente alternativo na remoção de verde de malaquita em solução aquosa. Para isso, foram realizados testes cinéticos de remoção e construídas as isotermas de adsorção de acordo com os modelos de Freundlich, Langmuir e Temkin. No estudo cinético utilizou-se 7 g de pó de serragem em solução contendo verde de malaquita com concentração inicial de $9,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e pH inicial de 4,22. O tempo de adsorção variou de 0 a 90 min. A maior porcentagem de remoção alcançada no experimento foi de 94,6%. O modelo de Lagergren de pseudo-segunda ordem apresentou melhor ajuste dos dados experimentais na adsorção do corante verde de malaquita, com coeficiente de determinação de 0,9936 e resultados mais aproximados entre os valores da quantidade bioadsorvida no equilíbrio (q_e) experimental e calculada. Nas isotermas de bioadsorção, 0,30 g de massa do bioadsorvente foi adicionada em 15 mL de solução aquosa contendo verde de malaquita em diferentes concentrações iniciais de 0, 3, 6, 12, 20 e 25 mg L^{-1} . O modelo da isoterma de Freundlich descreveu melhor o comportamento dos dados experimentais, com um R^2 de 0,9117. O modelo de Langmuir não foi capaz de ajustar os dados experimentais, apresentando R^2 de 0,2031. A capacidade máxima de bioadsorção experimental (q_m) do verde de malaquita no pó de serragem foi de $1,53 \text{ mg.g}^{-1}$.

Palavras-chave: Bioadsorvente. Corante verde de malaquita. Isoterma. Cinética de remoção.

ABSTRACT

SILVA, L. F. **The use of sawdust as an alternative adsorbent for the removal of malachite green.** 2014. 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

This study aimed to evaluate the efficiency of using sawdust as an alternative adsorbent for the removal of malachite green in aqueous solution. For this, removal kinetic tests were performed and built the adsorption isotherms according to the models of Freundlich, Langmuir and Temkin. Kinetic study used 7 g of sawdust in solution containing malachite green with initial concentration of 9.0 mg L^{-1} and initial pH of 4.22. The adsorption time ranged from 0 to 90 min. The highest removal percentage achieved in the experiment was 94.6%. The model of Lagergren of pseudo-second order showed better agreement with experimental data on the adsorption of the malachite green dye, with a correlation coefficient of 0.9936 and more approximate results between the experimental and calculated values of biosorbed amount at equilibrium (q_e). In the biosorption isotherms, 0.30 g of the biosorbent mass was added to 15 ml of an aqueous solution containing malachite green in different initial concentrations of 0, 3, 6, 12, 20 and 25 mg L^{-1} . The Freundlich isotherm model best described the behavior of the experimental data, with an R^2 of 0.9117. The Langmuir model was not able to fit the experimental data, showing R^2 of 0.2031. The maximum experimental biosorption capacity (q_m) of malachite green to sawdust was 1.53 mg g^{-1} .

Keywords: Biosorbent. Malachite green dye. Isotherm. Kinetics of removal.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 08 |
| 2 OBJETIVOS..... | 10 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 10 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 10 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 11 |
| 3.1 CINÉTICA DE ADSORÇÃO..... | 14 |
| 3.1.1 Cinética de Pseudo Primeira Ordem..... | 14 |
| 3.1.2 Cinética de Pseudo Segunda Ordem..... | 15 |
| 3.1.3 Cinética da Difusão Intrapartícula..... | 15 |
| 3.2 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO..... | 16 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS..... | 18 |
| 4.1 PREPARO DO BIOSSORVENTE E SOLUÇÕES..... | 18 |
| 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE SERRAGEM..... | 18 |
| 4.3 ESTUDO CINÉTICO..... | 19 |
| 4.4 ISOTERMAS DEBIOSSORÇÃO..... | 20 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 23 |
| 5.1 ESTUDO CINÉTICO..... | 23 |
| 5.2 ISOTERMAS DE BIOSSORÇÃO..... | 25 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 28 |
| REFERÊNCIA..... | 29 |

1 INTRODUÇÃO

Dentro do aspecto ambiental um dos maiores problemas encontrados é a disposição final de efluentes oriundos da indústria têxtil que, se não tratados adequadamente, podem causar diversos danos ambiental e sócio econômico.

O tingimento é um dos principais processos para o sucesso comercial dos produtos têxteis. Além da padronização e beleza da cor, o mercado exige características básicas em seu produto de consumo, como elevado grau de fixação em relação à luz e resistência do material em todas as etapas do uso. Para isso, a coloração deve apresentar resistência quanto aos agentes desencadeadores do desbotamento e ser ainda economicamente viável (GUARATINI; ZANONI, 1999).

Para Hart (1994), a relação de água consumida no tingimento de fios acrílicos e nylon varia de 80 a 170 L/kg e para malha de algodão de 80 a 160 L/kg. Garg et al. (2004) afirma que uma indústria de tingimento têxtil utiliza cerca de 1000 L de água para cada 100 kg de roupa processada.

Um dos principais problemas encontrados no tratamento de efluentes têxteis é a remoção da cor da água, pois esta além de causar impacto estético, impede a entrada de luz no meio, o que retarda a atividade fotossintética e interfere no crescimento da biota aquática, pois os corantes podem ser tóxicos para os organismos aquáticos e trazer risco a saúde humana (GARG et al., 2004).

De acordo com Sperling (2005), o tratamento das águas residuárias deve adequar-se à qualidade desejada, ou seja, ao padrão de qualidade associado aos conceitos de nível e eficiência do tratamento. Ainda conforme o autor, uma forma de minimizar o uso discriminado da água é realizar a cobrança pelo seu uso, a aplicação de legislações e a fiscalização do cumprimento dos limites estabelecidos, que contribuem na busca por mais tecnologias de tratamento, visando menor consumo de água e técnicas de reuso.

Os processos tradicionais de tratamento de efluentes têxteis contemplam coagulação-floculação-decantação e adsorção, que apresentam

eficiência na remoção de materiais particulados e em suspensão coloidal (FREIRE; FREITAS, 2010).

Dentre os diversos adsorventes existentes no mercado, o carvão ativado é o material mais utilizado para remoção de corantes de solução aquosa, devido a sua alta capacidade de adsorção e elevada eficiência de remoção (WANG e LI, 2007). Segundo Gupta e Suhas (2009), um adsorvente pode ser considerado de baixo custo, se requerer pouco processamento para ser empregado, estiver disponível em abundância na natureza ou apresentar-se com um subproduto industrial. Alguns exemplos de biossorventes utilizados são: argilas (EL-MOUZDAHIR et al., 2010), silicatos (ROYER et al., 2009), zeólitas naturais (ALPAT et al., 2008), bagaço de frutas e restos de folhas de chá (GUPTA E SUHAS, 2009), pele de tangerina (PAVAN et al., 2007), casca de castanha do Pará (BRITO et al., 2010) tem sido usados como adsorventes alternativos ao carvão ativado.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi avaliar a eficiência do pó de serragem do gênero *Pinus sp.* como material adsorvente em substituição ao carvão ativado para remoção de cor de efluente têxtil sintético contendo verde de malaquita.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência do uso do pó de serragem como adsorvente alternativo na remoção de verde de malaquita em solução aquosa.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos corresponderam a:

- Realizar estudo cinético de remoção;
- Construir as isotermas de adsorção de acordo com os modelos de Langmuir, Tenkim e Freundlich.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Devido ao setor de indústria têxtil ser um dos maiores consumidores de água e seus efluentes necessitarem de prévio tratamento por gerarem impactos ambientais, observa-se a real necessidade de pesquisas para melhorar a qualidade do efluente, permitindo que seu despejo não cause danos ao ambiente.

O efluente da indústria têxtil tem como característica elevadas concentrações de corantes, que contribuem significativamente para poluição de recursos hídricos, por dificultarem a penetração dos raios solares, prejudicando o metabolismo fotossintético de algumas espécies. Os corantes apresentam acentuado potencial recalcitrante, além de serem cancerígenos e mutagênicos (FREIRE e FREITAS, 2010).

Os corantes são aplicados em vários segmentos industriais, dentre eles o setor alimentício na coloração de molhos, geléias, biscoitos, sorvetes, temperos e alimentos em geral, na indústria cosmética na coloração de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes e na indústria têxtil na coloração de fibras e tecidos (BRASIL, 2012).

Os efeitos da contaminação de rios e lagos com corantes provocam, além de poluição visual, sérios danos a fauna e flora destes locais sendo que a maior preocupação ambiental com os corantes é sua absorção e reflexão da luz solar na água, o que interfere no crescimento de bactérias insuficiente para degradação biológica de impurezas (DALLAGO et al., 2005).

Esses corantes são resistentes à descoloração, luz, água e a produtos químicos devido a sua estrutura complexa e origem sintética (PERUZZO, 2003). A fixação da molécula do corante às fibras geralmente é feita em solução aquosa e pode envolver basicamente quatro tipos de ligações: ligação iônica, de hidrogênio, de van der Waals e covalentes (IMMICH, 2006).

O verde de malaquita é um corante encontrado na forma sólida e cristalina e utilizado no segmento têxtil em tingimentos de materiais como juta, algodão, seda, lã; veterinário como fungicida e bactericida para tratamento odontológico; alimentício para dar pigmentação aos alimentos; na aquicultura como agente fungicida e para tratamento odontológico. Segundo Costa (2009),

o verde de malaquita é conhecido como altamente tóxico para alguns peixes de água fresca, depositando-se em sua forma límpida nos músculos e tecidos.

A estrutura molecular do verde de malaquita é a de um trifenilmetano catiônico (Figura 1).

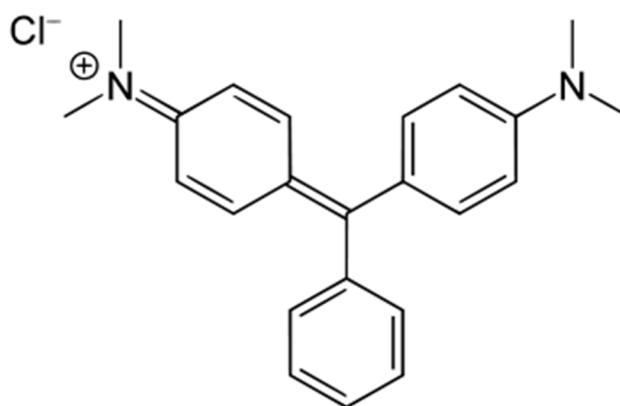


Figura 1: Estrutura Molecular do trifenilmetano (verde de malaquita)

Fonte: Merck Chemicals (2013)

Testes realizados em laboratório revelaram que ratos alimentados com verde de malaquita em concentrações de 100 ppb por mais de dois anos mostraram sinais de tumores (COSTA, 2009).

Soluções coloridas contendo corantes em efluentes industriais têxteis, tinturaria e indústrias de impressão podem causar câncer de pele, devido à fotossensibilização e danos fotodinâmicos (SHILPA et al., 2009).

Para tratamento dos efluentes da indústria têxtil surgiram diversos tipos de mecanismos de tratamento de remoção tais como a adsorção, agentes floculadores e coagulantes, filtração, osmose reversa, aplicação de fotocatalise, processos oxidativos e utilização de ozônio, possibilitando o reuso da água (COSTA, 2009).

Um dos métodos utilizados para remoção do verde de malaquita é a utilização de espuma de poliuretano (EPUs) que constituiu fase sólida eficiente para extração desse corante na presença de surfactantes aniônicos, em meio aquoso e na pré-concentração para determinação analítica (LEITE et al., 2008).

Nascimento et al. (2012) obtiveram faixa de pH de 6,5 a 7,15 no tratamento anaeróbio de água residuária contendo verde de malaquita durante

todo o processo, indicando condição para desenvolvimento de micro-organismos. Os autores notaram eficiência de remoção de DQO de até(57,7%) e de cor de (62,3%) no sistema anaeróbio em batelada.

O processo de adsorção tem se mostrado uma boa alternativa de tratamento, alcançando altos índices de eficiência de remoção, já que os adsorvatos são transferidos da fase aquosa para a fase sólida, reduzindo consideravelmente a disponibilidade dos corantes para os organismos vivos (COSTA, 2009).

A adsorção é um processo no qual ocorre interação entre adsorvato e o adsorvente, onde são influenciadas pela temperatura do meio, tamanho dos poros do adsorvente e tempo de contato entre fases (COSTA, 2009).

Dentre diversos adsorventes existentes no mercado, o carvão ativado é o mais utilizado para remoção de corantes de solução aquosa, devido a sua alta capacidade de adsorção e elevada eficiência de remoção sendo de $1,97 \times 10^{-4}$ mol/g para o corante violeta básico 3 e $5,27 \times 10^{-4}$ mol/g para o corante ácido preto 1 (WANG, 2007).

Para Souza (2013 apud FORGACS et. al, 2004, p.01) o carvão ativado é estruturalmente amplo em área superficial e possui elevada porosidade, mas seu elevado custo de mercado e dificuldade de reaproveitamento fez com que se buscassem novos adsorventes para o tratamento de efluentes.

Assim, surgiu a necessidade de biossorventes, ou seja, um adsorvente que não possua atividade metabólica, podendo reter corantes por troca iônica e atração eletrostática. Alguns exemplos de biossorventes utilizados são: bagaço de cana de açúcar (SOUZA, 2013), pele de maracujá (PAVAN et. al 2007), lodo ativado residual (VASQUES, 2008), casca de eucalipto (MORAIS 1996), açai (AMAVISCA et. al 2011), gergelim (ALMEIDA et. al, 1999) , pó de serragem (GARG et. al, 2004), borra de café (AZOUAOU et. al, 2010), entre outros.

O pó de serragem é comumente conhecido como um material de baixo custo, fácil obtenção e um resíduo orgânico facilmente reciclável.

3.1 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

Os estudos cinéticos são de muita importância, pois é por meio dos modelos cinéticos que se obtêm informações sobre o comportamento adsorvato-adsorvente e a eficiência do processo de adsorção (OLIVEIRA, 2009).

Os modelos que mais se destacam são o de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e difusão intrapartícula.

3.1.1 Cinética de Pseudo-Primeira Ordem

A equação (1) foi a primeira equação proposta por Lagergren (HO; McKAY, 1999), para a velocidade de adsorção de um sistema sólido/líquido, baseado na capacidade do sólido. Esta é uma das equações mais usadas para a velocidade de adsorção de soluto em solução líquida (VASQUES, 2008), e descreve a taxa de adsorção em função da capacidade de adsorção (MÓDENES et al., 2011).

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \quad (1)$$

Em que q_e e q_t são as quantidades bioadsorvidas (mg.g^{-1}) no equilíbrio e no tempo t , respectivamente; k_1 é a constante da taxa de bioadsorção de pseudo-primeira-ordem (min^{-1}).

Em muitos casos, a equação de pseudo-primeira ordem não possui bons ajustes para todo o período de adsorção então, a equação é geralmente aplicada acima dos 20-30 minutos iniciais do processo de adsorção (AKSU; TEZER, 2000).

3.1.2 Cinética de Pseudo-Segunda Ordem

A equação de pseudo-segunda ordem pode ser expressa, de forma linearizada pela equação 2.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2)$$

Em que k_2 é a constante da taxa de biossorção de pseudo-segunda ordem ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

3.1.3 Cinética da Difusão Intrapartícula

A etapa limitante do processo de adsorção pode ser consequência de um mecanismo de difusão intrapartícula muito lento, sendo a etapa de adsorção sobre a superfície interna um processo instantâneo (HO;McKAY, 1999). É descrita pela Equação (3).

$$q_t = K_{in} t^{1/2} \quad (3)$$

A velocidade da difusão dentro da partícula é obtida por linearização da curva $q_t = f(t^{1/2})$. Tais gráficos podem apresentar uma multi-linearidade, indicando que duas ou mais etapas limitam o processo de adsorção (VASQUES, 2008).

Em que K é a constante de velocidade de difusão intrapartícula ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1/2}$).

3.2 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

O conceito fundamental da ciência de adsorção é nomeado como isoterma de adsorção. É a relação de equilíbrio entre a quantidade do material adsorvido e a pressão ou a concentração na fase fluida em massa a temperatura constante. A isoterma de adsorção é a principal fonte de informação sobre o processo de adsorção (DABROWSKI, 2001).

Segundo Alves (2013), na classificação das isotermas há seis tipos característicos (Figura 2), sendo a isoterma do tipo I quando ocorre a quimiossorção com características de sólidos microporosos; a isoterma do tipo VI encontrada quando acontece adsorção física.

A adsorção física de múltiplas camadas sobrepostas em sólidos não porosos ou macro porosos é representada pelas isotermas de tipo II e III, cujas quantidades adsorvidas tendem ao infinito, quando P/P_0 tende a 1,0 (SCHMAL,2010).

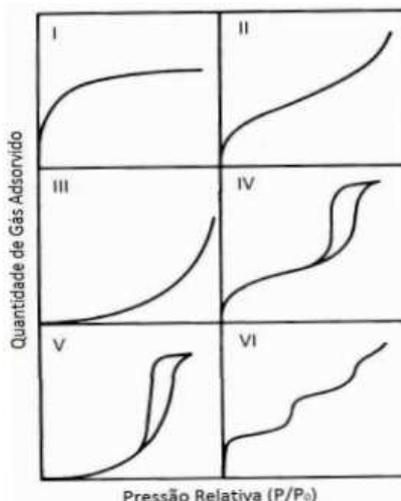


Figura 2: Tipos de Isotherma de Adsorção

Fonte: Schmal(2010)

As isotermas são feitas em sistema de batelada, onde determinados volumes fixos da solução são colocados em contato com determinada quantidade de adsorvente, variando a concentração da solução.

Existem vários modelos que apresentam as isotermas e cinética de adsorção, tais como Freundlich, Langmuir (primeira, segunda, terceira e quarta ordem), Temkin, Dubinin-Radushkevich, Redlich-Peterson, Koble-Corrigan e Fritz-Schülder e Elovich (KAYRANLI, 2011).

Na maioria dos casos, observam-se isotermas favoráveis de adsorção de corantes em adsorventes, tais como os carvões ativados, cujos dados de equilíbrio são comumente ajustados aos modelos de Langmuir e Freundlich (YANG, 1987).

Segundo Oliveira e Franca (2009), o modelo de Langmuir é um dos mais simples que se conhece para a modelagem do equilíbrio de adsorção. Neste modelo é suposto que a superfície do adsorvente seja formada por planos perfeitos, de modo que a probabilidade de adsorção nos diversos sítios da mesma seja igual para todos eles.

No modelo de Freundlich, inteiramente empírico, é assumido que a superfície do adsorvente é heterogênea, isso é, irregular, o que acarreta na distribuição heterogênea de probabilidade de adsorção para os diferentes sítios da superfície do material (OLIVEIRA; FRANCA, 2009).

Segundo Atkins (1994), a teoria de Temkin considera que há diferenciação na estabilidade dos centros de absorção e que os sítios mais energéticos são primeiramente ocupados pelos íons em solução, sendo que a afinidade iônica tende a decrescer linearmente com o aumento da adsorção.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Esse capítulo descreve a metodologia aplicada no desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso para realização dos objetivos propostos. O trabalho foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Campo Mourão, no Laboratório de Saneamento (LABSAN).

4.1 PREPARO DO BIODSORVENTE E SOLUÇÕES

O pó de serragem foi coletado em uma serralheria no município de Campo Mourão- PR, seco em estufa a 105 °C por 24 h e peneirado em peneira de malha 50mesh (0,3 ABNT). A solução aquosa contendo verde de malaquita foi preparada com reagente sólido PA marca Nuclear, nas concentrações definidas para o estudo cinético e isotermas de adsorção; descritos no item 4.3 e 4.4.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE SERRAGEM

Para caracterização do pó de serragem, foram determinados, em triplicata, os parâmetros: matéria orgânica, concentração de carbono orgânico e teor de cinzas, através do método proposto por Kiehl e Porta (1980); teor de umidade e pH determinados segundo metodologia de Tedesco et al. (1995).

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios obtidos na caracterização do biossorvente utilizado nos experimentos.

Tabela 1 - Caracterização do biossorvente.

| PARÂMETROS | PÓ DE SERRAGEM |
|--------------------------------------|----------------|
| Matéria Orgânica (%) | 92,3 |
| Concentração de Carbono Orgânico (%) | 51,3 |
| Teor de Cinzas (%) | 0,86 |
| Teor de Umidade (%) | 6,9 |
| pH | 4,1 |

Fonte: autoria própria.

4.3 ESTUDO CINÉTICO

O experimento cinético foi conduzido, em regime batelada, a 30°C e 250 rpm. Foram utilizados 7 g do biossorvente em 1000 mL de solução de verde de malaquita com concentração inicial de 9,0 mg.L⁻¹ e pH inicial de 4,22. O tempo de adsorção variou de 0 a 90 min, onde amostras foram retiradas em intervalos de tempo de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 40, 60 e 90 min., filtradas e quantificadas por espectrofotometria UV-VIS em um espectrofotômetro Hach DR 5000 UV-VIS. As medidas de absorbância foram lidas no comprimento de onda de 617 nm, correspondente a máxima absorção do corante, identificado por experimento de varredura ao longo da faixa espectral de interesse (Fotografia 3a e 3b).



(a)

(b)

Fotografia1. (a) Solução aquosa com biossorvente em agitação de 250 rpm. (b) Equipamento espectrofotômetro Hachuv-vis DR5000.

Fonte: autoria própria.

Com os resultados do estudo cinético foram obtidos a eficiência de remoção e o tempo ótimo de remoção, onde a eficiência de remoção do corante da solução foi calculada por:

$$\text{Remoção (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

A quantidade de corante adsorvido (q), em mg.g^{-1} , foi obtida pela seguinte equação:

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (4)$$

Em que, C_0 e C_e são a concentração de verde de malaquita inicial e no equilíbrio (mg.L^{-1}), respectivamente; V é o volume de solução (L) e m é a quantidade de bioissorvente usado (g).

Foram determinadas as constantes de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem conforme equações de Lagergren.

4.4 ISOTERMAS DE BIOSSORÇÃO

Para obtenção das isotermas de bioissorção, 0,30 g de massa do bioissorvente foi adicionada em 15 mL de solução aquosa contendo verde de malaquita em diferentes concentrações iniciais (0, 3, 6, 12, 20 e 25 mg.L^{-1}) (Fotografia 2).



Fotografia 2. Diferentes concentrações de solução aquosa com verde de malaquita.
Fonte: autoria própria.

As amostras, referentes a cada concentração, foram mantidas em agitação de 250 rpm a 30 °C. Após o tempo de equilíbrio (90 min), as amostras foram submetidas à centrifugação a 3320rpm por 10 min (Fotografia 3) e o sobrenadante analisado quanto a concentração de verde de malaquita.



Fotografia 3. Centrifugação das amostras.
Fonte: autoria própria.

Todos os testes foram realizados em triplicata e os resultados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos de Langmuir, Freundlich e Temkin nas suas formas linearizadas, de acordo com as equações 5, 6 e 7, respectivamente:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{m\acute{a}x.} b} + \frac{C_e}{q_{m\acute{a}x.}} \quad (5)$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (6)$$

$$q_e = B \ln(K_T C_e) \quad (7)$$

Em que $q_{m\acute{a}x.}$ é a capacidade máxima de adsorção (mg.g^{-1}); b é a constante de biossorção (L.mg^{-1}); K_F e n são as constantes da isoterma de Freundlich para a capacidade de biossorção e intensidade de biossorção, respectivamente; B é a constante de Temkin que relaciona o calor de adsorção com o número total de sítios (mg.g^{-1}) e K_T é a constante de Temkin (L.mg^{-1}).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTUDO CINÉTICO

Com os resultados do estudo cinético observou-se que o tempo ótimo de remoção foi de 90 min, e que após este tempo a eficiência na remoção do corante passa a diminuir, em decorrência do processo de dessorção (Gráfico 1 e Tabela 2).

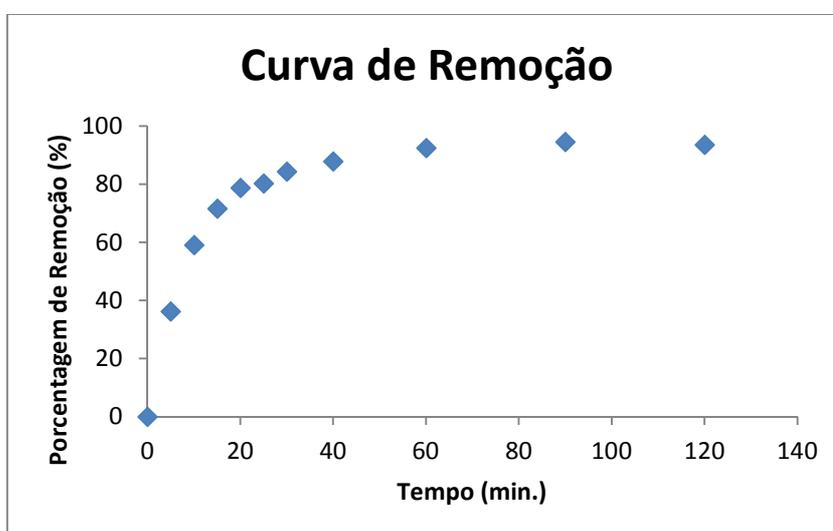


Gráfico 1. Cinética de bioissorção para o verde de malaquita.
Fonte: autoria própria.

Tabela 2–Tempo e porcentagem de remoção do verde de malaquita.

| Tempo (min.) | Remoção (%) |
|--------------|-------------|
| 0 | 0 |
| 5 | 36,3 |
| 10 | 59,2 |
| 15 | 71,7 |
| 20 | 78,8 |
| 25 | 80,3 |
| 30 | 84,4 |
| 40 | 87,9 |
| 60 | 92,5 |
| 90 | 94,6 |
| 120 | 93,7 |

Fonte: autoria própria.

A maior porcentagem de remoção alcançada no experimento foi de 94,6%. Este resultado indica a possibilidade do uso do pó de serragem no processo de remoção do corante verde de malaquita em solução aquosa, visando seu emprego em escala industrial no tratamento de efluentes contaminados por corantes.

Leite et al. (2009) encontraram remoção de 90% para o verde de malaquita, utilizando como adsorvente espuma de poliuretano. Valores similares de remoção de verde de malaquita foram observados por Alves (2013), sendo 95,6% utilizando caulinita, 99,3% para bentonita, e 99,4% para bentonita N₆. Para Bustos (2012) a porcentagem de remoção de verde de malaquita foi de 90% utilizando extratos naturais de mandioca. Em experimento realizado a remoção do corante verde de malaquita em solução aquosa, utilizando cascas de noz pecã, foi de 100% (ANAIS, 2010).

Para Alves (2013 apud NANDI et al., 2009, p.72) o pH da solução pode modificar a carga da superfície do adsorvente, o grau de ionização da molécula de adsorvato e o grau de dissociação de grupos funcionais sobre os sítios ativos do adsorvente.

Neste estudo o pH do biossorvente pó de serragem foi de 4,1. De acordo com Kollmann (1959), a madeira é um material ácido com pH variável de 3,3 a 6,5. Valores similar de 6,5 foi observado por Rangel et. al (2013) para pó de serragem. Antunes (2010) observou pH de 4,4 no pó de serragem de madeira para fins de adsorção.

O pH da solução inicial contendo verde de malaquita foi de 4,22, entretanto, após o ensaio cinético e a decantação do biossorvente por 15 minutos, o pH final da solução foi de 4,85, com um aumento em torno de 15%.

Os dados cinéticos foram ajustados aos modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem de Lagergren (Tabela 2). O modelo de pseudo-segunda ordem apresentou melhor ajuste dos dados experimentais na adsorção do corante verde de malaquita, com coeficiente de determinação de 0,9936. Além disso este modelo apresentou resultados mais aproximados entre os valores da quantidade biossorvida no equilíbrio (q_e) experimental e calculada.

Tabela 3–Parâmetros cinéticos de bioissorção do corante verde de malaquita em pó de serragem.

| Constantes Cinéticas de Bioissorção | | | | | | |
|--|---|---|----------------------|---|---|----------------------|
| q_e(exp.) (mg.g⁻¹) | Pseudo primeira-ordem | | | Pseudo segunda-ordem | | |
| | q_e(calc.) (mg.g⁻¹) | k₁ (min⁻¹) | R² | q_e(calc.) (mg.g⁻¹) | k₂ (g.mg⁻¹.min⁻¹) | R² |
| 1,20 | 0,8808 | 0,0607 | 0,9749 | 1,2667 | 0,1463 | 0,9936 |

Fonte: autoria própria.

O modelo de pseudo segunda-ordem descreve bem os processos de adsorção química que envolvem doação ou troca de elétrons entre o adsorvato e o adsorvente, como forças covalentes e trocas iônicas (HO, 2006; HO; MCKAY, 2000). Neste estudo a taxa de bioissorção de pseudo-segunda ordem (k₂) para o verde de malaquita em pó de serragem foi de 1,2667 g.mg⁻¹.min⁻¹. Alves (2013) encontrou valores de K₂, para adsorção de verde de malaquita, de 4,6704 e de 0,9829 utilizando como adsorventes caulinita e bentonita N₆, respectivamente.

5.2 ISOTERMAS DE BIISSORÇÃO

Os resultados experimentais obtidos foram ajustados às isotermas de bioissorção conforme os modelos matemáticos de Temkin, Langmuir e Freundlich nas suas formas linearizadas (Tabela 3), entretanto, o modelo de Langmuir não foi capaz de ajustar os dados experimentais, apresentando R² de 0,2031.

Tabela 4–Parâmetros das isotermas de Temkin e Freundlich para bioissorção de verde de malaquita.

| Modelos Matemáticos | | | | | |
|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|----------------------|
| Temkin | | | Freundlich | | |
| B | K_T | R² | K_F | 1/n | R² |
| 0,3614 | 7,4470 | 0,8041 | 0,5159 | 0,6136 | 0,9117 |

Fonte: autoria própria.

O parâmetro K_F é a constante de Freundlich e o parâmetro $1/n$ fornece informações sobre a isoterma e indica se a adsorção é favorável (valores entre 0 e 1) ou desfavorável (Lázaro et al., 2008). Já para a isoterma de Temkin, K_T é a constante da isoterma de Temkin e B é a constante relacionada ao calor de biossorção.

Neste estudo o parâmetro K_F de 0,5159 indica a capacidade de adsorção, e o parâmetro $1/n$ de 0,6136 mostra que a adsorção do verde de malaquita em pó de serragem é favorável, estando o valor entre 0 e 1. Peruzzo (2003) obteve valores para K_F de 17,5741 e $1/n$ de 0,2212 na adsorção de verde de malaquita em carvão ativado, em solução de pH neutro.

Alves (2013) em experimento realizado para verificação da adsorção de verde de malaquita em caulinita, encontrou para a isoterma de Freundlich, R^2 de 0,9867, K_F de 3,9765 e $1/n$ de 0,3267. Em bentonita N_3 , R^2 de 0,9616, K_F de 26,347 e $1/n$ de 0,3611. Em bentonita N_6 , R^2 de 0,9883, K_F de 59,2825 e $1/n$ de 0,2479. Para Temkin foi encontrado valor de K_T igual a 0,0041 para caulinita.

O maior valor do coeficiente de determinação (R^2) foi observado para o modelo matemático de Freundlich neste estudo, sendo assim, o que mais se ajusta ao comportamento adsorptivo do corante verde de malaquita utilizando-se o pó de serragem como biossorvente.

Nos estudos de Tahir e Rauf (2006), que utilizaram corante verde de malaquita e bentonita das regiões do Paquistão e Turquia como adsorvente, os dados experimentais se ajustaram aos modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich.

Koroishi et. al (2000) utilizou algas marinhas como biossorvente do corante remazol vermelho RG, e os dados experimentais também ajustaram-se ao modelo de Freundlich, assim como Oliveira e Franca (2009) que utilizou torta prensada de crambe (*crambeabyssinica*) como biossorvente do corante azul de metileno.

Através das isotermas de biossorção obtidas, pode-se comparar os modelos de Temkin e Freundlich com os dados experimentais (Gráfico 2).

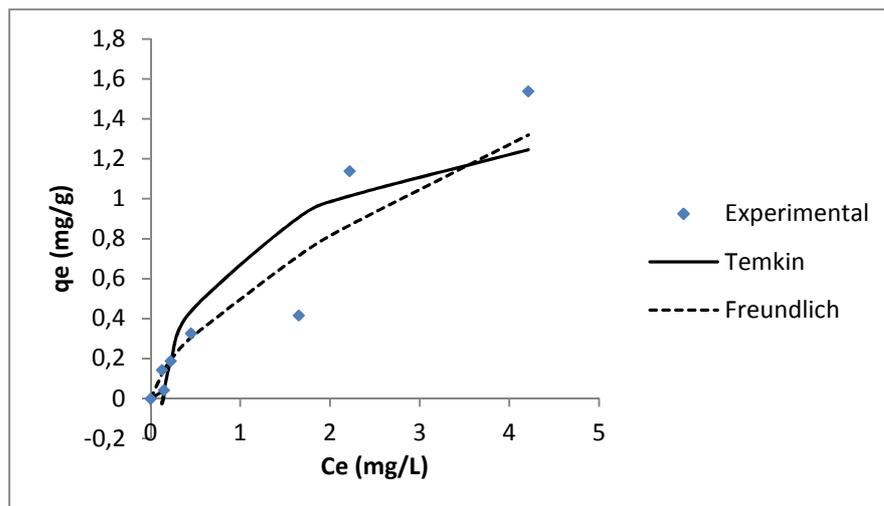


Gráfico 2 -Isotermas de bioadsorção do verde de malaquita em pó de serragem estimadas pelos modelos de Temkin e Freundlich.
Fonte: autoria própria.

Observa-se no Gráfico 2 que o modelo de Freundlich descreveu melhor o comportamento dos dados experimentais, em relação à bioadsorção de verde de malaquita em pó de serragem, confirmando os resultados mostrados na Tabela 3, tendo como base os coeficientes de determinação (R^2). Nota-se, ainda, que para concentrações mais elevadas de verde de malaquita, o modelo de Temkin tende a subestimar os valores de bioadsorção do corante.

Neste estudo, o valor experimental para a capacidade máxima de bioadsorção (q_m), com concentração inicial de até 25 mg.L^{-1} de verde de malaquita, foi de $1,53 \text{ mg.g}^{-1}$. Alves (2013), utilizou argilas como bioadsorvente em uma concentração inicial de até 400 mg.L^{-1} de verde de malaquita, e obteve valor experimental para bentonita N₆ de $290,77 \text{ mg.g}^{-1}$, para bentonita N₃ de $274,73 \text{ mg.g}^{-1}$ e para caulinita de $59,7 \text{ mg.g}^{-1}$.

6 CONCLUSÃO

O uso do pó de serragem na remoção de verde de malaquita em solução aquosa, obteve eficiência de 94,6%, sendo um indicativo da possibilidade do seu uso como bioadsorvente alternativo em processos adsorptivos no tratamento de efluentes.

O modelo cinético de Lagergren de pseudo-segunda ordem foi o que obteve melhor ajuste dos dados experimentais na adsorção do corante verde de malaquita, com coeficiente de determinação de 0,9936.

Para as isotermas utilizadas, o modelo de Freundlich descreveu melhor o comportamento dos dados experimentais, e a capacidade máxima de bioadsorção (q_m) experimental em pó de serragem, com concentração inicial de até 25 mg.L^{-1} de verde de malaquita, foi de $1,53 \text{ mg.g}^{-1}$.

REFERÊNCIAS

AKSU, Z.; TEZER, S. Equilibrium and kinetic modelling of biosorption of Remazol Black B by *Rhizopusarrhizus* in a batch system: effect of temperature. **ProcessBiochemistry**, v. 36, p. 431– 439, 2000.

ALMEIDA, F. A. C.; FONSECA, K. S.; GOUVEIA, J. P. G. Secagem natural de gergelim e determinação da umidade de equilíbrio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 03, n. 03, p. 343-348, 1999.

ALPAT, S.K., ÖZBAYRAK, Ö., ALPAT, S., AKÇAY, H. The adsorption kinetics and removal of cationic dye, toluidine blue O, from aqueous solution with Turkish zeolite. **J.Hazard Mater.** p. 151-213, 2008.

ALVES, F. C. **Estudo dos processos de adsorção utilizando argilas como adsorventes para remoção do corante verde de malaquita**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica), Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil, 2013.

AMAVISCA, C. V.; ROYER, B.; FERNANDES, T. H. M.; CALVETE, T.; CUNHA, M. L.; LIMA, E. C. Remoção do corante preto reativo 5 de efluentes aquosos utilizando talo de açaí. **Instituto de Química**. 2011.

ANAIS DO SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 2010, Rio Grande do Sul. Cascas de noz pecã. Um bioissorvente barato e eficiente para a remoção do corante catiônico verde malaquita de soluções diluídas, v.2, n.1, 2010. Disponível em: <<http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/5039>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

ANTUNES, M. L. P.; CAMARGO, S. R. G. de; JESUS, C. P. de; RUSSO, A. N. Estudo da utilização de serragem de madeira como adsorvente para tratamento de efluentes têxteis. **Revista de Estudos Ambientais**. v. 12, n.2 2010.

AZOUAOU, N.;SADAoui Z, DJAAFRI A, Mokaddem H. Adsorption of cadmium from aqueous solution onto untreated coffee grounds: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. **Journal of Hazardous Materials**. p. 126-134; 2010.

ATKINS, P. W.; **Physical Chemistry**; Oxford University Press; Oxford, 1994.

BUSTOS, J. A. R. **Uso dos extratos naturais de mandioca (*ManihotesculentaCrantz*) para tratamento de águas contendo resíduos orgânicos**. 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

Brasil. Anvisa. Resolução nº79, do dia 28 de agosto de 2000, anexo III. Apresenta a listagem de corantes utilizados nos cosméticos. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/cosmeticos/legis/especifica_registro.htm>. Acesso em: 15 ago. 2013.

Brasil. CNNPA. Resolução nº44, do dia 25 de novembro de 1977. Disponível em:< http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/44_77.htm>. Acesso em: 16 ago. 2013.

BRITO, S. M. O., ANDRADE, H. M. C., SOARES, L. F., DE AZEVEDO, R.P. The feasibility of using rosacanina galls as an effective new biosorbent for removal of methylene blue and Crystal violet. **J.Hazard Mater**. p. 84-174, 2010.

COSTA, Leonardo L. da. **Aplicação de nanotubos de titânia na fotodegradação de corantes**. 2009. 100 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

DABROWSKI, A. Adsorption – from theory to practice. **Adv. Colloid Interface Sci.**Pequim, v. 93, p. 135-224. jan. 2001.

DALLAGO R.M., SMANIOTTO A., OLIVEIRA L.C.A. Resíduos sólidos de curtume como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. **Química Nova**. Erechim, Rio Grande do Sul, v. 28, n. 3, p.433-437, 2005.

EL-MOUZDAHIR, Y., ELMCHAOURI, A., MAHBOUB, R., GIL, A., KORILI, S.A. Equilibrium modeling for the adsorption of methylene blue from aqueous solutions on activated clay minerals. **Desalination**, p.250-335, 2010.

FREIRE, Bentes F.; FREITAS, Lembo de S. Avaliação da Remoção de Cor de um Efluente Têxtil Sintético. Umuarama. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**. v. 7, n. 3, p. 241-249. set. 2010.

GARG, Vinod K.; MoirangthemAmita, Rakesh Kumar, Renuka Gupta. Basic dye (methylene blue) removal from simulated wastewater by adsorption using Indian Rosewood sawdust: a timber industry waste. **DyesandPigments**. Índia, v. 63, p. 243-250, mar. 2004.

GUARATINI, C. I. C.; ZANONI, B. V. M. Corantes Têxteis. Araraquara. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71-78, mar. 1999.

GUPTA, V. K., SUHAS, I. Application of low-cost adsorbents for dye removal. **J. environmanage**. Índia, v. 90, p. 2313-2342, jun. 2009.

HART, E., Reciclagem de Água, um Programa Economicamente Viável e Tecnicamente Inovativo. **QuímicaTêxtil**, p.07-10, 1994.

HO.S.Y; MCKAY, G. Pseudo-second order model for sorption process. **Process Biochemistry**. v. 34, p. 451-465, 1999.

HO, Y. S.; MCKAY,G. The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. **Water Resources**, New York, v. 34, n. 3, p. 735-742, 2000.

HO, Y. S. Review of second-order models for adsorption systems. **Journal of Hazardous Materials, Amsterdam**, v. 136, n. 3, p. 681-689, 2006.

IMMICH, Serafini Paula A. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de Azadirachta indica como adsorvente**. 2006. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

KAYRANLI, Birol. Adsorption of Textile Dyes Onto Iron Based Waterworks Sludge From Aqueous Solution; Isotherm, Kinetic and Thermodynamic Study. Ankara. **Chemical Engineering Journal**. v. 173, p. 782-791, jun. 2011.

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

KOLLMANN, F. Tecnologia de La Madeira y Sus Aplicaciones. Madrid: **Instituto forestal de Investigaciones y experiencias y servicio de lamadera**. Madrid, v.1, 1959.

KOROISHI, E. T.; BONAN, A. A.; ANDRADE, C. B. de; SILVA, A. F. da; SANTOS, W. L. F.; SILVA, C. F. da. Determinação de isotermas de adsorção de corante têxtil em carvão ativo, serragem e algas marinhas arribadas. **Acta Scientiarum**. v. 22. 2000.

LÁZARO, D.A.; MANSUR, M.B.; FRANCA, A.S.; OLIVEIRA, L.S.; ROCHA, S.D.F. Performance of cold-pressed cake from *Raphanus sativus* (L. Var.) oilseeds, a solid residue from biodiesel production, as adsorbent for basic dyes, **International Journal of Chemical Engineering**, v.1, p. 289-302, jul. 2008.

LEITE, B.T.; ROBAINA, F. N.; CASSELLA J. R. Estudo da remoção do corante catiônico verde de malaquita em meio aquoso empregando espumas de poliuretano. **Sociedade Brasileira de Química**, 31, 2009.

MERCK CHEMICALS. **Síntese Orgânica**. Alemanha: Frankfurter, 2013. 2 p. Acesso em: 16 set. 2013. <http://www.merckmillipore.com/brazil/chemicals/trifenilmetano/MDA_CHE.s1LaPgAAAEWeOEFVhTI>.

MÓDENES, A. P.; ESPINOZA, F. R.; ALFLEN, V. L.; COLOMBO, A.; BORBA, C. E. Utilização da macrófita *ageria* densa na biosorção do corante reativo 5G. **Engevista**, v.13, n.3, 2011.

MORAIS, Leonilde C. de P. **Tratamento de efluentes têxteis simulados usando técnicas de adsorção**. 1996. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996.

NASCIMENTO do P. T. A., DIAS F. A., SANTOS A. M. E. **Tratamento anaeróbio de água residuária sintética têxtil contando o corante verde de malaquita**. CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO. 7., 2012. Palmas, Tocantins.

OLIVEIRA, Victor F. de. ; FRANCA, Adriana S. **Estudo de equilíbrio de adsorção da torta prensada de crambe (crambeabyssinica) em sua aplicação como biosorvente em soluções aquosas de corante**. CONGRESSO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., jul. 2009. Uberlândia.

OLIVEIRA, C. S. **Estudo cinético e termodinâmico da interação de corantes aniônicos com escamas do peixe Piau (*Leporinuselongatus*)**. 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2009.

PAVAN, F. A., GUSHIKEM, Y., MAZZOCATO, A. S., DIAS, S. L. P., LIMA, E. C. Statistical design of experiments for optimization of batch adsorption conditions for removal of reactive red 194 textile dye from aqueous effluents **DyesPigm.** p. 256,2007.

PERUZZO, Lucile C. **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluente da indústria têxtil em colunas de leito fixo**. 2003. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

RANGEL, Felipe; CARVALHO, Karina Querne de; BAETTKER, Ellen Caroline; FREIRE, Flávio Bentes. Caracterização físico- química do carvão ativado e do pó de serragem para adsorção. Campo Mourão, 2013.

ROYER, B., CARDOSO, N.F., LIMA, E.C., RUIZ, V.S.O., MACEDO, T. R., AIROLDI, C. Application of cupuaçu shell as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution. **J.Colloid Interface Sci.** p.336-398, 2009.

SCHMAL, M. Cinética e reatores: aplicação na engenharia química. **Engenho de Dentro:Synergia**, 2010.

SHILPA, K. , ANIL K. , RITU V., RAKSHIT A., PINKI B. P. Cadmium sulfide photocatalysed reduction of malachite green by ascorbic acid and EDTA as reductantes. **J. Braz. Chem. Soc.** v.20. n 10. p.1821-1826, out. 2009.

SOUZA, Nilda K. **Adsorção de corantes catiônicos e aniônicos em solução aquosa usando novos materiais bi-funcionalizados a partir do bagaço de cana-de-açúcar**. 2013. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2013

SPERLING, Marcos V. **Introdução à Qualidade da Água e ao Tratamento de Esgoto, Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 3 ed: Belo Horizonte, 2005.

TEDESCO, Marino J.; GIANELLO, Clesio; BISSANI, Carlos A. et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Departamento de solos, UFRGS. 1995. (Boletim Técnico n. 5) 174p. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/41082320/Tedesco-et-al-1995>>. Acesso em: 2 ago. 2013.

VASQUES, A. R. **Caracterização e aplicação de adsorvente para remoção e corantes de efluentes têxteis em batelada e colunas de leito fixo**. 2008. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

WANG, S.; LI, H. Kinetic modelling and mechanism of dye adsorption on unburned carbon. **Dyes and pigments**. Australia, v. 72, p. 308-314, 2007.

YANG, R.T. Gas separation by adsorption processes. **Butterworths**, London. 1987.