

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

JULIANA ALVES FREITAG

**ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO NA RAMA DE  
MANDIOCA (*Manihot esculenta crantz*)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO  
2013

JULIANA ALVES FREITAG

**ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO NA RAMA DE  
MANDIOCA (*Manihot esculenta crantz*)**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos – COPEQ – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Câmpus Toledo, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Silvana Fernandes Montanher

TOLEDO  
2013

**TERMO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**JULIANA ALVES FREITAG**

**ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO NA RAMA DE  
MANDIOCA, *Manihot esculenta crantz***

Trabalho apresentado como forma de avaliação para o Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Tecnologia em Processos Químicos da UTFPR, *Campus* Toledo, e aprovado pela banca examinadora abaixo.

*Silvana S. Montanher*

---

Prof Dr<sup>a</sup> Silvana Fernandes Montanher

*Viviane Lobo*

---

Prof Dr<sup>a</sup> Viviane Lobo

*Karina Graziella Fiametti*

---

Prof Dr<sup>a</sup> Karina Fiametti

Toledo, 22 Agosto de 2013

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela dádiva da vida, pela saúde, pela família maravilhosa que tenho, pelos amigos queridos.

Aos meus pais, pelo exemplo de caráter e dignidade, pela educação, por todos os esforços realizados para que eu concluísse esta graduação, e principalmente por todo amor que sempre dedicaram a mim.

Ao meu esposo, pelo amor, companheirismo, compreensão e apoio.

À minha orientadora querida, Dr<sup>a</sup> Silvana Fernandes Montanher, pelo acompanhamento, dedicação e principalmente pela paciência durante o decorrer deste trabalho.

À todos os professores do curso de Tecnologia em Processos Químicos, pelo conhecimento e experiências compartilhados.

À todos os meus amigos queridos, pelo apoio e amizade.

Aos meus colegas de universidades, que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

## RESUMO

FREITAG, Juliana A. Adsorção do corante Azul de Metileno na rama de mandioca (*Manihot esculenta crantz*). 2013. 41 p. Trabalho de Graduação. (Tecnologia em Processos Químicos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2013.

Os corantes em geral são aplicados em vários setores da indústria, são usados na indústria alimentícia, farmacêutica, têxtil e de papel. O corante azul de metileno é comumente empregado na produção de papel e outros materiais como poliésteres e nylons. Alguns corantes básicos apresentam atividade biológica e são utilizados como anti-sépticos. O azul de metileno apresenta em sua composição a estrutura da fenotiazina, composto que está presente em antihistamínicos e antipsicóticos. Quando aquecido o azul de metileno pode gerar óxido de enxofre e óxido nítrico; além de causar efeitos toxicológicos em organismos aquáticos e na qualidade da água. Por isso, freqüentemente surgem novos estudos relacionados ao tratamento destes efluentes. A adsorção em biomassas tem se mostrado uma opção rentável para o tratamento de efluentes líquidos contendo corantes ou outros poluentes, pois é uma técnica simples e de baixo custo uma vez que não exige altos investimentos iniciais. Seguindo este contexto o presente trabalho objetivou estudar a adsorção do corante Azul de Metileno na rama da mandioca. A biomassa foi caracterizada através da determinação da umidade e cinzas. Os estudos de adsorção foram conduzidos em sistema em batelada em temperatura ambiente. Os parâmetros avaliados foram: pH, força iônica, tempo de contato e isoterma de adsorção. Os melhores valores pH para a adsorção do Azul de Metileno na rama da mandioca foram de 5 e 8. No estudo da força iônica provou-se que o aumento da força iônica da solução diminui a eficiência da adsorção. O modelo de Isoterma de Langmuir foi o que melhor se adaptou aos dados experimentais, apresentando melhor linearidade ( $R^2 = 0,986$ ) quando comparado ao modelo de Freundlich ( $R^2 = 0,956$ ), utilizando o modelo de Langmuir pode-se também calcular a capacidade máxima de adsorção que foi de  $q_{m\acute{a}x}=90,1 \text{ mg g}^{-1}$ . Valores próximo foram encontrados para outras biomassas estudadas como adsorventes na literatura. Desta forma a rama da mandioca apresentou-se como um bom adsorvente na adsorção do corante Azul de Metileno.

**Palavras- chave:** Mandioca, Adsorção. Corantes. Isoterma.

## ABSTRACT

FREITAG, Juliana A. Adsorption of Methylene Blue dye in raw cassava (*Manihot esculenta crantz*). 2013. 41 p. Trabalho de Graduação. (Tecnologia em Processos Químicos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2013.

The dyes are generally applied in various industry sectors, are used in food, pharmaceutical, textile and paper. The methylene blue dye is commonly used in the production of paper and other materials such as polyesters and nylons. Some basic dyes exhibit biological activity and are used as antiseptics. The methylene blue present in the composition the structure of the phenothiazine compound is present in antihistamines, and antipsychotics. When heated methylene blue can generate sulfur oxide and nitric oxide and cause toxicological effects in aquatic organisms and water quality. So often there are new studies related to the treatment of these effluents. The adsorption in biomass has proved a profitable option for the treatment of wastewater containing dyes or other pollutants, it is a technical simple and low cost since it does not require high initial investment. Following this context, the present study investigated the adsorption of methylene blue dye in raw cassava. The biomass was characterized by the determination of moisture and ash. Adsorption studies were conducted in a batch system at room temperature. The parameters evaluated were: pH, ionic strength, contact time and adsorption isotherm. The optimum pH for the adsorption of Methylene Blue in raw cassava were 5 e 8. In the study of ionic strength proved that the increase of ionic strength of the solution decreases the efficiency of adsorption. The Langmuir isotherm model was the best adapted to the experimental data, showing better linearity ( $R^2 = 0.986$ ) when compared to the Freundlich model ( $R^2 = 0.956$ ) using the Langmuir model can also calculate that the maximum adsorption capacity was  $90.1 \text{ mg.g}^{-1} q_{\text{max}}$ . Values were found close to other biomass as adsorbents studied in the literature. Thus the raw cassava presented himself as a good adsorbent in the adsorption of the dye methylene blue.

**Keywords:** Adsorption. Dye. Isotherm.

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

ABAM Associação Brasileira de produtores de amido de mandioca.

adsorção ( $\text{L mg}^{-1}$  ou  $\text{L mol}^{-1}$ )

$C_e$  é a concentração de adsorvato remanescente na solução ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$C_f$  é a concentração do corante remanescente na solução após o contato com o adsorvente ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$C_i$  concentração inicial do adsorvato na solução ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$K_F$  Constante de Freundlich relacionada a capacidade de adsorção completa) ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$K_L$  Constante de Langmuir – constante de equilíbrio do processo de adsorção ( $\text{L mg}^{-1}$  ou  $\text{L mol}^{-1}$ )

ma é massa de amostra analisada (g);

mf massa final da amostra (massa da amostra mais massa do recipiente) (g);

mi é a massa inicial do recipiente utilizado na análise livre de umidade (g)

n constante de Freundlich relacionada a intensidade de adsorção

pH potencial hidrogeniônico;

$q_e$  é a quantidade de adsorvato retido no adsorvente ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$q_{\max}$  é a capacidade máxima de adsorção (formação da monocamada

T temperatura (K ou  $^{\circ}\text{C}$ )

t tempo (s, min ou h)

V volume de solução (L ou mL)

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Estrutura molecular do Azul de Metileno.....	15
<b>Figura 2</b> - Espectro de absorção no UV-Vis do Azul de Metileno.....	15
<b>Figura 3</b> -Curva de calibração para a quantificação do corante azul de metileno (comprimento de onda máximo $\lambda=665$ nm) .....	28
<b>Figura 4</b> - Efeito do pH na quantidade adsorção de azul de metileno na rama de mandioca .....	29
<b>Figura 5</b> - Influência da força iônica na adsorção de azul de metileno em rama de mandioca.....	31
<b>Figura 6</b> - Efeito do tempo de contato na eficiência de adsorção de azul de metileno na rama da mandioca .....	32
<b>Figura 7</b> - Isoterma de adsorção do corante azul de metileno na rama da mandioca (T= 25 °C) .....	34
<b>Figura 8</b> - Isoterma de adsorção do corante azul de metileno na rama da mandioca usando o modelo de Langmuir .....	35
<b>Figura 9</b> - Isoterma de adsorção do corante azul de metileno na rama da mandioca usando o modelo de Freundlich.....	35



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Caracterização físico-química da rama da mandioca .....	26
<b>Tabela 2</b> - Concentração conhecida da solução do corante azul de metileno e absorbância no comprimento de onda máximo $\lambda=665$ nm .....	27
<b>Tabela 3</b> - Eficiência de adsorção (q) em função do pH da solução de azul de metileno.....	29
<b>Tabela 4</b> - Influência da força iônica (NaCl) na quantidade de corante azul de metileno adsorvido na rama da mandioca.....	30
<b>Tabela 5</b> - Efeito do tempo de contato na eficiência de adsorção de azul de metileno na rama da mandioca.....	32
<b>Tabela 6</b> - Efeito da variação da concentração inicial de corante azul de metileno na eficiência de adsorção ( $q_e$ ) .....	33
<b>Tabela 7</b> - Parâmetros de Langmuir para a adsorção de azul de metileno na rama da mandioca.....	36
<b>Tabela 8</b> . Adsorção do corante Azul de Metileno em resíduos agrícolas.....	36

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1 OBJETIVOS .....	11
1.1.1 Objetivo Geral .....	11
1.1.2 Objetivos específicos .....	11
1.2 JUSTIFICATIVA .....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 CORANTES .....	13
2.2 ADSORÇÃO .....	14
2.2.1 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO .....	16
2.2.2 BIOMASSAS COMO ADSORVENTE .....	17
2.3 MANDIOCA .....	18
3 MATERIAL E METEDOS .....	19
3.1 MATERIAL .....	19
3.2 MÉTODOS .....	20
3.2.1 Obtenção da rama de mandioca .....	20
3.2.2 Preparação do material adsorvente .....	20
3.2.3 Caracterização do Material Adsorvente .....	20
3.2.3.1 Análise de Umidade .....	20
3.2.3.2 Análise de cinzas .....	21
3.2.3.3 Quantificação do Azul de Metileno .....	22
3.2.2 Estudo de adsorção .....	22
3.2.4.1 Efeito do pH .....	23
3.2.4.2 Efeito da força iônica .....	23
3.2.4.3 Estudo Cinético .....	23
3.2.4.4 Obtenção de isotermas de adsorção .....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ADSORVENTE .....	25
4.2 QUANTIFICAÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO .....	26
4.3 ESTUDOS DE ADSORÇÃO .....	27
4.3.1 Efeito do pH .....	27
4.3.2 Efeito da força iônica .....	29
4.3.3 Estudo Cinético .....	31
4.3.4 Isotermas de adsorção .....	32
5 CONCLUSÕES .....	37
REFERÊNCIAS .....	38

## 1 INTRODUÇÃO

O homem utiliza a água para muitas atividades em sua vida, sejam estas industriais, na agricultura, para geração de energia, para higiene pessoal e principalmente para suas funções vitais. Sendo assim tratar a água residual das indústrias é também realizar a manutenção da vida (SANTOS; ALSINA; SILVA, 2007).

Inúmeros são os poluentes provenientes dos efluentes, substâncias como agroquímicos, metais, corantes e composto orgânicos provenientes do petróleo, quando descartados diretamente ao meio ambiente pode causar sérios danos a fauna e a flora da região.

Os corantes são substâncias muito utilizadas nas indústrias químicas, atualmente cerca de 10.000 corantes são produzidos em escala industrial. Estes apresentam alta estabilidade biológica, o que dificulta sua degradação por processos convencionalmente aplicados, como por exemplo, o lodo ativo. A poluição visual apesar de ser o problema mais visível indicando a presença de corantes nas águas, não é o problema mais agravante, pois os corantes reduzem a passagem de luz solar pela água, impedindo assim que a flora aquática faça sua fotossíntese, prejudicando também a fauna e todo o ecossistema envolvido (DALLAGO; SMANIOTTO; OLIVEIRA, 2005).

A adsorção tem sido muito empregada no tratamento de efluentes industriais contendo corantes, pois é um processo de alta eficácia, simples, livre de lodos, e não exige altos investimentos iniciais, uma vez que o corante é retirado da fase aquosa e transferido para uma fase sólida, ou seja, para o material adsorvente (CARDOSO, 2010). Em busca de minimizar os custos do processo de adsorção, atualmente muitas biomassas tornaram-se alvo de inúmeras pesquisas, materiais como casca de pinhão, bagaço de cana-de-açúcar, bagaço de laranja, têm sido estudados (YMAMURA, YMAMURA, 2005; MONTANHER, 2009; CARDOSO, 2010).

A mandioca apresenta alta importância econômica, pois está presente em todo território nacional. Sendo seus principais subprodutos, fécula, polvilho e tapioca (ABAM, 2011). A rama da mandioca, que é considerada sobra após a colheita, pode ser deixada no solo para degradação e adubação, ou ser usada na alimentação do gado leiteiro, na forma *in natura*, forma de feno, como silagem ou em formulações de

rações como componente proteico e energético (EMATER, 2011). Como biomassa adsorvente a rama da mandioca foi estudada na adsorção de íons de cádmio e zinco e mostrou melhor desempenho quando submetida ao tratamento ácido (HORSFALL; ABIA, 2003).

Neste trabalho foi estudada a capacidade adsorvente da rama de mandioca na remoção do corante azul de metileno, com objetivo de criar nova alternativa para o tratamento de resíduos contendo corantes e apresentar aplicação para a rama da mandioca.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Determinar a eficiência da adsorção do Azul de Metileno utilizando a rama da Mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) como adsorvente.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Preparar e caracterizar a rama de Mandioca como adsorvente;
- Estudar a adsorção do corante azul de metileno em rama de mandioca usando sistema em batelada;
- Avaliar o efeito do pH da solução do azul de metileno na eficiência da adsorção pela rama de mandioca;
- Observar o efeito da força iônica da solução do azul de metileno na eficiência da adsorção;
- Estudar a cinética de adsorção, obtendo-se o tempo de equilíbrio;
- Construir isotermas de adsorção, utilizando os modelos matemáticos de Langmuir e de Freundlich.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A preservação do meio ambiente tem sido motivo de preocupação para o ser humano, o crescimento da indústria química faz com que ocorra o aumento do volume de resíduos lançados na natureza. Muitas indústrias utilizam corantes em seus processos produtivos, desta forma é importante que se criem novas técnicas de controle e remoção dos corantes dos efluentes residuários, antes de descartá-los (KIMURA *et al.*, 1999).

Os corantes mesmo em pequenas concentrações em soluções aquosas são capazes de apresentar forte coloração, isto ocorre devido a presença de grupos funcionais que absorvem radiação eletromagnética, ou seja, cromóforos, como carbonila, azo, nitro e nitroso (KIMURA *et al.*, 1999). A presença de coloração na água causada pelos corantes reduz a penetração de luz impedindo assim a fotossíntese da flora aquática (CARDOSO, 2010).

Algumas técnicas como precipitação química, fotocatalise heterogênea, floculação, coagulação, redução e troca iônica, têm sido empregadas para a remoção de metais pesados e corantes de efluentes industriais. Essas técnicas nem sempre são eficientes e podem apresentar custo elevado.

A adsorção é uma técnica muito empregada para a remoção de cor. Atualmente muitos estudos focam no uso das biomassas vegetais como adsorventes, devido ao baixo custo e eficiência apresentada. Vários trabalhos já mostraram a eficiência desta técnica na remoção de corantes em soluções aquosas utilizando biomassas como: bagaço de cana-de-açúcar, sabugo de milho, serragem de madeira, mesocarpo do coco, entre outros (SANTOS; ALSINA; SILVA, 2007).

Segundo a ABAM (Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca) o Paraná é o terceiro produtor de mandioca do país e o primeiro produtor de amido de mandioca do Brasil, 65% em 2007 (ABAM, 2011), tendo em vista estas informações, torna-se importante estudar a rama da mandioca como adsorvente, gerando assim uma nova aplicação a esta parte da planta que não apresenta finalidade no mercado, aproveitando ainda seu baixo custo e abundância no estado do Paraná.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

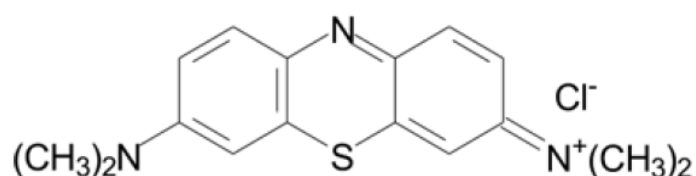
### 2.1 CORANTES

O russo Yuri Gagarin foi o primeiro homem a ver o Planeta Terra do espaço, ao invés de dizer “a Terra é redonda” ele exclamou “ a Terra é azul”, esta reação mostra o fascínio que a cor exerce sobre o homem. Desde os primórdios da humanidade, o homem utiliza as cores, sendo o primeiro corante conhecido o Negro de Fumo. Com o passar do tempo, muitos outros corantes de origem natural foram sendo descobertos. Hoje aproximadamente dez mil corantes e pigmentos são utilizados industrialmente (OLIVEIRA, 2007).

Os corantes têm inúmeras aplicações no âmbito industrial, sendo que estes muitas vezes são descartados, devido às perdas nos processos, junto aos demais efluentes nos corpos aquáticos, acarretando em problemas ambientais tais como a degradação da biota aquática e tornando a água imprópria para consumo humano (SALLEH *et al.*, 2011).

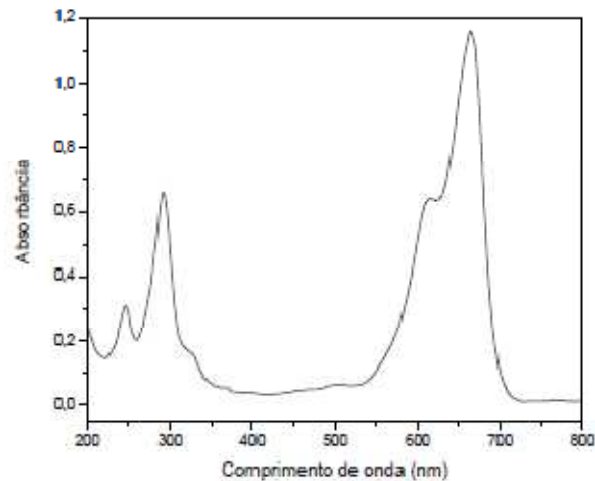
Pertencentes as classe dos compostos orgânicos com grupos aromáticos complexos os corante são moléculas estáveis, sendo assim de difícil biodegradação. São classificados pela estrutura química e solubilidade, os solúveis em água são os mais difíceis de serem eliminados (CARDOSO, 2010).

O corante azul de metileno é um composto aromático heterocíclico, de massa molecular de 373,92 g/mol e fórmula molecular  $C_{16}H_{18}N_3SCl$  (Figura 1) (SANTOS, 2010), sólido, de cor verde escuro, bastante solúvel em água e etanol, sendo que em solução apresenta coloração azul (SALLEH *et al.*, 2011).



**Figura 1. Estrutura molecular do Azul de Metileno**  
**Fonte: (CARDOSO, 2010).**

A absorbância máxima de uma solução de Azul de Metileno ocorre em comprimento de onda máximo 665 nm, mostrada no espectro de absorção no ultravioleta visível (UV-Vis) (Figura 2),(SANTOS, 2010).



**Figura 2. Espectro de absorção no UV-Vis do Azul de Metileno**  
**Fonte: (SANTOS, 2010).**

O corante apresenta ainda caráter catiônico, liga-se através de ligação iônica com grupos de cargas opostas presentes nas fibras, possui ampla aplicação, é comumente utilizado como indicador químico, como corante bacteriológico, é aplicável na coloração de papeis, tintura temporária de cabelo e tingimento de algodões e lãs (CARDOSO, 2010).

## 2.2 ADSORÇÃO

Ao misturar-se uma solução diluída de um corante a um sólido finamente dividido, observa-se uma descoloração elevada. Isso mostra que o corante é adsorvido sobre a superfície sólida. A intensidade da adsorção depende da temperatura, da natureza da substância adsorvida (adsorvato), da natureza e estado de agregação do adsorvente e da concentração do corante (CASTELLAN, 2001). A adsorção na fase líquida é um dos métodos mais populares e eficientes na remoção

de poluentes de efluentes, o processo de adsorção sólido-líquido, explora a capacidade que certos sólidos têm de concentrar em sua superfície substâncias específicas presentes em soluções aquosas (ROYER, 2008). Quando se estuda a técnica de adsorção em soluções diluídas de corantes, tempo de equilíbrio, força iônica e pH são fatores de extrema relevância.

O tempo de equilíbrio fornece informações valiosas para condução de estudos de adsorção, ou mesmo para a projeção de uma estação de tratamento de efluentes, pois é importante saber quanto tempo o sistema levará para estabilizar e alcançar o seu máximo de adsorção. O pH também é um parâmetro que deve ser levado em consideração, pois mudanças nos valores de pH, podem diminuir o número de cargas negativas ou positivas nos sítios ativos da superfície dos adsorventes, provocando uma alteração na carga superficial. O pH tem efeito mais pronunciado quando corantes catiônicos são empregados como adsorvato, desta forma a carga superficial do adsorvente interfere diretamente no processos de adsorção. Em um processo de adsorção onde há adição de sais, pode ocorrer forte interação eletrostática entre o adsorvente e o sal, o aumento da força iônica poderá diminuir a adsorção. Porém se esta interação for fraca, um aumento da força iônica poderá aumentar a capacidade de adsorção (COTTET, 2009).

Entre o adsorvente e o adsorvato pode ocorrer dois tipos de interação, a adsorção física e a adsorção química. Na adsorção física, ocorre apenas a ação das forças de van der Waals entre o adsorvato e a superfície do adsorvente. Já na adsorção química, as moléculas do adsorvato unem-se à superfície do adsorvente por ligações químicas, usualmente covalentes (CASTELLAN, 2001).

A adsorção tem sido considerada superior quando comparada a outras técnicas tanto para reutilização de águas como para a recuperação do material adsorvente após o seu uso. O primeiro passo para um processo de adsorção bem sucedido é a escolha do material adsorvente, que deve ser de alta capacidade de adsorção e elevada eficiência para remoção do adsorvato, o adsorvente deve estar disponível em abundância e apresentar baixo custo (ROYER, 2008)

O adsorvente mais utilizado é o carvão ativo, por possuir alta eficiência, no entanto, o preparo desse material pode ser demorado, envolver reagentes químicos e consumo de energia o que resulta em um custo elevado (GUPTA, SUHAS, 2009).



### 2.2.1 Isotermas de adsorção

Um modo de expressar a relação de equilíbrio entre a concentração de adsorvato na solução ( $C_e$ ) e sua concentração no adsorvente ( $q_e$ ), em determinada temperatura, é traçando-se um curva de  $q_e$  em função de  $C_e$ . Estas curvas são as isotermas de adsorção (MONTANHER, 2009). Para obter isotermas, uma quantidade determinada do adsorvente é adicionada a soluções de corantes de concentrações conhecidas mantendo a mistura em contato por tempo suficiente para atingir o equilíbrio e temperatura constante.

As isotermas de adsorção são importante ferramentas para a determinação da capacidade de adsorção do adsorvente e para a descrição do comportamento do mesmo em contato com o adsorvato em solução aquosa (SALLEH *et al.*, 2011).

Os modelos de Langmuir e de Freundlich são os modelos mais usados de isotermas para o ajuste de dados de adsorção de espécies em solução (OLIVEIRA, 2002). O modelo de Langmuir baseia-se na idéia de que ocorre adsorção máxima de adsorvato, formando-se assim uma monocamada saturada de moléculas do mesmo na superfície do material adsorvente. Considerando que não exista nenhuma interação lateral entre a moléculas adsorvidas (CARVALHO; FUNGARO; IZIDORO, 2010).

A isoterma de adsorção de Langmuir é expressa pela seguinte equação linearizada:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} \cdot K_L} + \frac{1}{q_{\max}} \cdot C_e \quad (1)$$

Onde:

$C_e$  é a concentração de adsorvato remanescente na solução;

$q_e$  é a quantidade de adsorvato retido no adsorvente;

$q_{\max}$  é a capacidade máxima de adsorção (formação da monocamada completa);

$K_L$  é a constante de equilíbrio do processo de sorção;

No modelo de Freundlich, não há formação de monocamada, ele descreve o equilíbrio em camadas heterogêneas. Podendo ser representado pela seguinte equação linearizada:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

Onde:

$C_e$  é a concentração de adsorvato remanescente na solução;

$q_e$  é a quantidade de adsorvato retido no adsorvente;

$K_f$  e  $n$  são constantes relacionadas com a capacidade de adsorção e a intensidade de adsorção, respectivamente (CARVALHO; FUNGARO; IZIDORO, 2010).

## 2.2.2 Biomassas como adsorventes

O termo biomassa diz respeito à fração biodegradável de materiais como resíduos agrícolas (incluindo substâncias animais e vegetais), resíduos florestais e industriais (VOS, 2006). Quando biomassas são utilizadas como materiais adsorventes, o processo de adsorção pode ser chamado também de bioadsorção e a biomassa é um bioadsorvente.

Uma vez que alguns adsorventes possuem elevado valor comercial, as biomassas têm despertado interesse, como uma opção de minimizar o custo no tratamento de efluentes empregando a técnica de adsorção (SANTOS; ALSINA; SILVA; 2007).

A biomassa além de possuir propriedades adsorptivas de poluentes, sejam metais ou compostos orgânicos, também apresenta a vantagem de ser um resíduo de custo mínimo, sendo biodegradável e renovável (YMAMURA; YMAMURA, 2005).

Entre as vantagens de se usar um bioadsorvente de baixo custo destacam-se as seguintes (VAGHETTI, 2009):

- Possuem baixo ou nenhum valor comercial, sendo sobras de processos produtivos, ou por estarem na natureza em grandes quantidades.

- Geralmente as biomassas estudadas têm origem regional, de forma que possa ser utilizadas pelas indústrias da mesma região, minimizando assim custos com transporte.
- Não necessitam de grandes tratamentos, como de insumos químicos, durante a etapa de preparação dos mesmos.
- São provenientes de fontes renováveis, assim não há risco de escassez dos mesmos.
- Dependendo de sua estrutura química, e da interação com o adsorvato podem ser reutilizados após processos de dessorção.

A preparação das biomassas consiste em um série de tratamentos físicos simples e de baixo custo como: lavar, secar, triturar, moer e peneirar. Após peneirado o material já pode ser empregado como adsorvente (VAGHETTI, 2009).

A eficiência na utilização de biomassas como adsorventes já foi provada por vários autores. Foram estudados bioadsorventes como: farelo de arroz na remoção de íons metálicos em soluções aquosas (OLIVEIRA, 2002), sabugo de milho, serragem de madeira, mesocarpo do coco, bagaço de cana-de-açúcar na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluente aquoso (SANTOS; ALSINA; SILVA, 2007), bagaço de laranja como sorvente de íons metálicos presentes em soluções aquosas (MONTANHER, 2009), entre outros.

### 2.3 MANDIOCA

Originada na América do Sul a *Manihot esculenta Crantz*, conhecida popularmente por mandioca, macaxeira ou aipim, é fonte de carboidratos, podendo ser utilizado *in natura* ou na forma de farinha e fécula para alimentação humana e como ração para nutrição animal, desenvolve-se bem em regiões de climas tropicais e subtropicais sendo que o Brasil ocupa o segundo lugar na produção mundial da mandioca (EMBRAPA, 2011).

A mandioca pertence a família das Euforbiáceas, é uma planta perene, arbustiva, a parte mais importante da planta é a raiz, recomenda-se o plantio de maio a outubro, a colheita é feita de forma manual através do arranquio das raízes, dependendo do ciclo da variedade plantada (CEPLAC, 2011).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os equipamentos, vidrarias e reagentes listados abaixo:

Equipamentos:

- Espectrofotômetro UV- Vis (PG T-80);
- pHmêtro de bancada (POLICONTROL);
- Banho termostatizado (DELEO);
- Estufa (SOLAB);
- Balança analítica (SHIMADZU, AY 220);
- Liquidificador
- Peneira
- Centrífuga de tubos (BIOENG);

Vidrarias:

- Balões Volumétricos de diversos volumes
- Erlenmeyers de 125 mL
- Béqueres de diversos volumes

Reagentes:

- Azul de Metileno
- Hidróxido de Sódio
- Ácido Clorídrico
- Cloreto de Sódio

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Obtenção da rama de mandioca

A rama da mandioca foi coletada na região rural de Maringá, posteriormente moída em moedor caseiro, e deixada secar ao sol durante o período de quinze dias.

### 3.2.2 Preparação do Material Adsorvente

Não houve a necessidade de secar o material estudado em estufa, pois o mesmo foi secado ao sol logo após a coleta, estando bem seco. A rama da mandioca foi triturada em liquidificador para obter uma biomassa com granulometria menor que 35 mesh, foi então armazenada em recipiente de vidro bem fechado, não foi necessário manter o material em congelador, por estar bem seco o mesmo pôde ser mantido em temperatura ambiente.

### 3.2.3 Caracterização do Material Adsorvente

A caracterização do material foi realizada através das análises físico-químicas de umidade e cinzas, seguindo as metodologias do Instituto Adolfo Lutz (2008).

#### 3.2.3.1 Análise de Umidade

A análise de umidade, realizada em estufa a 105°C, utilizando massa inicial de 0,2 g de amostra, após as 4 horas a amostra foi colocada em dessecador até

alcançar temperatura ambiente, então a amostra foi pesada em balança analítica para obter-se a massa final da amostra. O teor de umidade da amostra foi calcula através da equação:

$$\%H_2O = 100 - \frac{(mf-mi)x100}{ma} \quad (3)$$

Onde:

ma: é massa de amostra analisada

mi: é a massa inicial do recipiente utilizado na análise livre de umidade

mf: massa final da amostra (massa da amostra mais massa do recipiente)

### 3.2.3.2 Análise de cinzas

A análise de cinzas foi realizada em mufla a 550° C por 4 horas, utilizando massa inicial de 0,1 g de amostra. Após as quatro horas a amostra foi levada ao dessecador para resfriar até temperatura ambiente, então foi pesada em balança analítica para obter-se a massa final da amostra. O teor de cinzas foi calculado através da seguinte equação.

$$\%Cinzas = \frac{(mf-mi)x100}{ma} \quad (4)$$

ma: é massa de amostra analisada

mi: é a massa inicial do recipiente utilizado na análise livre de umidade

mf: massa final da amostra (massa da amostra mais massa do recipiente)

### 3.2.3.3 Quantificação do Corante Azul de Metileno

Para quantificar as soluções de azul de metileno utilizou-se curva de calibração seguindo a lei de Lambert-Beer, utilizando o espectrofotômetro UV-Vis, no comprimento de onda de 665nm. Preparou-se uma solução padrão de corante de azul de metileno de concentração de  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , a partir desta foram feitas diluições para obter as demais soluções do corante empregadas na construção da curva de calibração.

### 3.2.4 Estudos de Adsorção

Os estudos de adsorção foram realizados em batelada, utilizando 0,2 g de rama de mandioca em 25 mL de solução de azul de metileno  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , (exceto para a obtenção das Isotermas de adsorção) em um erlenmeyer 125mL e temperatura de  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , utilizando banho-maria termos tático com agitação constante, as amostras foram agitadas por um tempo determinado e centrifugadas para separar a solução de corante do material adsorvente.

A quantidade de corante retida na rama de mandioca foi calculada pela equação:

$$q_e = \frac{(C_i - C_f)}{m} \cdot V \quad (5)$$

na qual  $C_i$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) é a concentração inicial do corante na solução,  $C_f$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) é a concentração do corante remanescente na solução após o contato com a rama de mandioca,  $V$  (L) é o volume da solução e  $m$  (g) é a massa do material do adsorvente (MONTANHER, 2009). A quantificação de  $C_e$  foi realizada por espectrofotometria na região do visível, utilizando o comprimento de onda de 665nm.

#### 3.2.4.1 Efeito do pH

Para analisar o efeito do pH na eficiência do processo de adsorção 0,2 g da rama de mandioca foi agitada com 25 mL de solução de Azul de Metileno  $100 \text{ mg L}^{-1}$  em diferentes valores de pH (4 a 10), por 1 hora. Em seguida as misturas foram centrifugadas e as concentrações de azul de metileno remanescente nas soluções foram determinadas.

#### 3.2.4.2 Efeito da força iônica

O efeito da força iônica foi avaliado realizando o processo de adsorção usando 4 soluções de azul de metileno  $100 \text{ mg L}^{-1}$  (com o melhor pH determinado anteriormente) preparadas: somente com água destilada, com solução de NaCl  $0,001 \text{ mol L}^{-1}$ , com solução de NaCl  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e com solução de NaCl  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . Nesse experimento foi utilizado 0,2 g de rama de mandioca e 25 mL das soluções. Após uma hora de contato as misturas foram centrifugadas e as concentrações de azul de metileno remanescentes em solução foram determinadas.

#### 3.2.4.3 Estudo Cinético

Para esse experimento 0,2 g da rama de mandioca foi adicionada à 25 mL de solução de Azul de Metileno  $100 \text{ mg L}^{-1}$  (com o melhor pH determinado anteriormente) as misturas foram agitadas por intervalos de tempo de 10 min a 8 horas. Após o tempo de contato as misturas foram centrifugadas e as concentrações de azul de metileno remanescentes foram determinadas.



#### 3.2.4.4 Obtenção de isothermas de adsorção

Para obter as isothermas de adsorção, soluções de concentrações de 100, 200, 300, 500, 700, 800, 900 e 1000 mg L<sup>-1</sup> do corante azul de metileno foram preparadas em água destilada. Alíquotas de 25mL dessas soluções foram misturadas com a 0,2 g de rama de mandioca. As misturas foram colocadas em Banho-Maria (25°C) com agitação recíproca por 1 hora. Após o tempo de contato as misturas foram centrifugadas e as concentrações de azul de metileno remanescentes foram determinadas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ADSORVENTE

A caracterização físico-química da rama de mandioca foi feita através das análises de cinzas e teor umidade, ambas realizadas em duplicata, o resultado médio para cada análise é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1: Caracterização físico-química da rama da mandioca**

<b>Parâmetro medido</b>	<b>Resultado Obtido (%)</b>
Umidade	6,73
Cinzas	4,41

**Fonte: Auditoria própria**

Valores próximos aos resultados encontrados para teor de cinzas e umidade, quanto a caracterização de biomassas, foram citados por Werther *et al.*, (2000), quando a biomassa utilizada foi resíduo de soja, onde o teor de cinzas foi de 5,1% e de umidade foi de 6,3%. Vieira (2012) encontrou valores parecidos aos apresentados neste trabalho, quando a biomassa analisada foi bagaço de cana-de-açúcar carbonizado, obtendo teor de umidade foi de 6,98% e o teor de cinzas de 4,91%, sendo que o bagaço de cana *in natura* apresentou teor de umidade de 46,16% e cinzas de 0,94.

Os resultados de teor de umidade e cinzas em biomassa geralmente variam devido as condições em que a mesma se encontra, ou devido ao tipo de processamento pelo qual a biomassa passou.

## 4.2 QUANTIFICAÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO

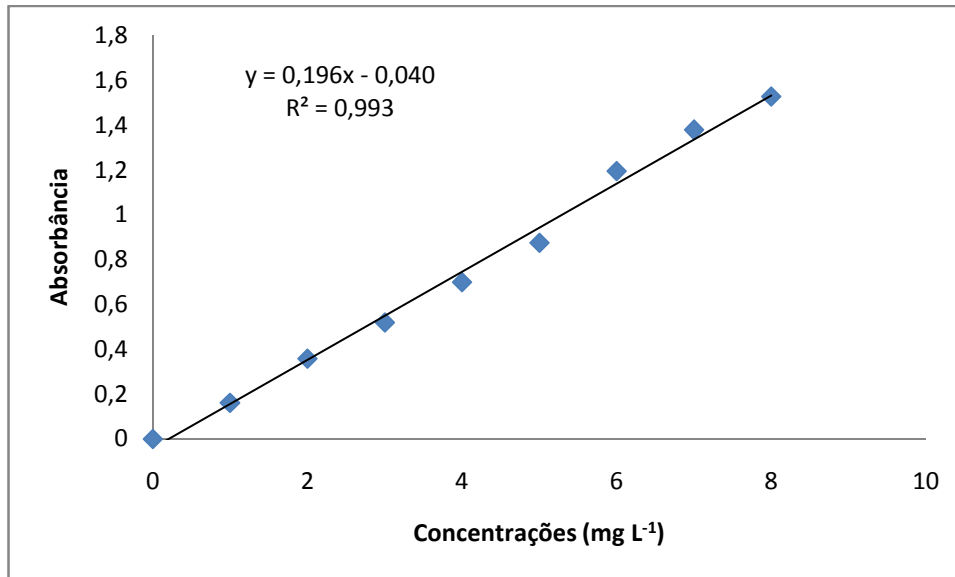
A concentração de uma amostra não é uma grandeza física observável. Em um processo analítico quantitativo esta é sempre determinada indiretamente através da medida de outra grandeza como: absorvância ou emissão de luz, condutividade entre outras. Então para chegar ao valor da concentração de uma amostra, deve-se encontrar um função que relacione as medidas efetivamente realizadas com a concentração procurada, ou seja, é necessário realizar uma calibração (PIMENTEL, NETO, 1996).

Para determinar as concentrações remanescentes ( $C_f$ ) de Azul de Metileno nas soluções após os testes de adsorção, utilizou-se a equação da reta que foi obtida através da curva de calibração (Figura 3) elaborada com base nos dados mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2- Concentração conhecida da solução do corante azul de metileno e absorvância no comprimento de onda máximo  $\lambda=665$  nm**

Concentrações (mg L <sup>-1</sup> )	Absorvância
0	0
1	0,161
2	0,358
3	0,520
4	0,700
5	0,875
6	1,195
7	1,379
8	1,528

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 3. Curva de calibração para a quantificação do corante azul de metileno (comprimento de onda máximo  $\lambda=665$  nm).  
Fonte: Autoria própria**

Como mostra a Figura 3, a curva de calibração apresentou boa linearidade, obtendo-se  $R^2 = 0,993$ . Desta forma pode-se utilizar a equação da reta,  $y = 0,196X - 0,04$ , para quantificar as concentrações de Azul de Metileno nos experimentos de adsorção.

### 4.3 ESTUDOS DE ADSORÇÃO

#### 4.3.1 Efeito do pH

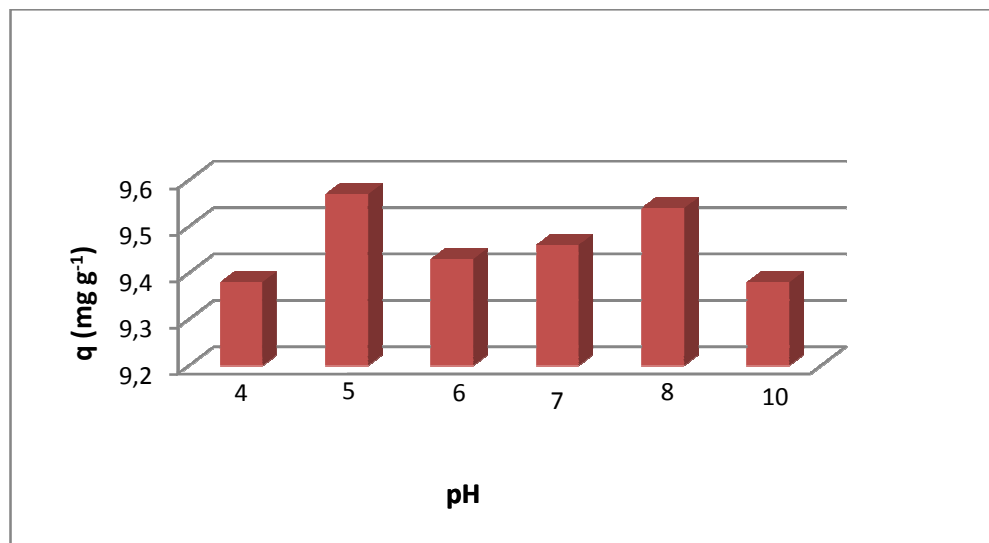
Soluções aquosas de corantes podem comportar-se, de maneiras distintas, perante a um determinado material adsorvente quando se varia o pH da solução (CARDOSO, 2010). Nas biomassas adsorventes esta mudança de pH pode ativar ou desativar sítio ativos presentes, modificando a capacidade de adsorção do bioadsorvente (VAGHETTI, 2009). Desta forma, procurou-se determinar o pH ideal para alcançar maior eficiência na adsorção do Azul de Metileno na rama da mandioca, os resultados do efeito do pH são apresentados na Tabela 3 e Figura 4.

**Tabela 3. Eficiência de adsorção (q) em função do pH da solução de azul de metileno.**

pH	Abs	C <sub>f</sub> (mg/L)	m (g)	(mg g <sup>-1</sup> )
4	1,041	5,52	0,2013	9,38
5	0,558	3,05	0,2026	9,57
6	0,913	4,86	0,2018	9,43
7	0,696	3,76	0,2034	9,46
8	0,592	3,22	0,2028	9,54
10	0,894	4,77	0,2031	9,38

**C<sub>i</sub> = 100 mg L<sup>-1</sup>**

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 4. Efeito do pH na quantidade adsorção de azul de metileno na rama de mandioca. Fonte: Autoria própria**

Os resultados mostram que a melhor faixa de trabalho é de pH 5 e 8, sendo o Azul de Metileno uma molécula catiônica (LEAL *et al.*,2012), ou seja carregada positivamente, em pH 5 pode apresentar maior adsorção pois este pH se aproxima muito do pH natural da solução que é de 5,5, desta forma em pH 5 há menor competição entre os íons em solução. Já em meio alcalino, ou seja pH 8, ocorre a ativação dos sítios ativos do adsorvente, favorecendo caráter o aniônico do mesmo,

isso aumenta as interações eletrostáticas entre estes e os grupos de caráter catiônico do corante.

Resultados semelhantes foram encontrados por Cottet (2009) após estudar o efeito do pH na adsorção de Azul de Metileno em argila modificada e concluiu que em pH natural a quantidade adsorvida foi maior do que no experimento com diferentes valores de pH inicial. Leal *et al.* (2012), ao estudar a adsorção de Azul de Metileno em resíduos de babaçu, concluiu que em pH 7 a eficiência de adsorção era maior.

#### 4.3.2 Efeito da força iônica

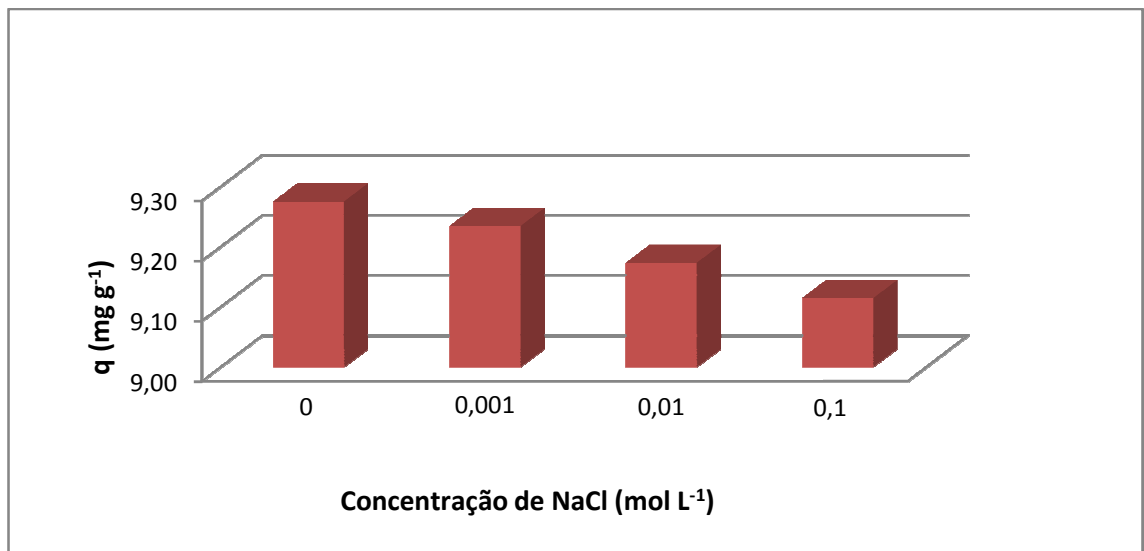
Efluentes industriais podem conter vários tipos de eletrólitos, que podem influenciar no processo de adsorção (SANTOS, 2010). Com isso, é importante avaliar os efeitos da força iônica na remoção do Azul de Metileno em soluções aquosas. Na Tabela 4 e Figura 5, nota-se o efeito da força iônica na adsorção do corante Azul de Metileno na rama da mandioca quando se utilizou NaCl como eletrólito em pH 5,5.

**Tabela 4- Influência da força iônica (NaCl) na quantidade de corante azul de metileno adsorvido na rama da mandioca.**

NaCl(mol L <sup>-1</sup> )	Abs	C <sub>f</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	m (g)	q (mg g <sup>-1</sup> )
0	1,162	6,13	0,2024	9,28
0,0010	1,197	6,31	0,2029	9,23
0,010	1,274	6,70	0,2034	9,17
0,10	1,587	8,30	0,2012	9,12

**C<sub>i</sub> = 100 mg L<sup>-1</sup>**

**Fonte: Aatoria própria**



**Figura 5. Influência da força iônica na adsorção de azul de metileno em rama de mandioca.**

**Fonte: Aatoria própria**

A presença de sal inorgânico na solução pode ter dois efeitos opostos. Se as interações eletrostáticas entre o sal e as moléculas do adsorvato forem opostas, a quantidade adsorvida deve diminuir com o aumento na concentração de íons na solução (SANTOS, 2010). Embora a variação de  $q$  (mg g<sup>-1</sup>) em relação a força iônica, tenha sido pequena, os resultados obtidos mostram que a quantidade de corante adsorvida é inversamente proporcional a concentração de NaCl, ou seja quanto maior a concentração de NaCl na solução do corante menor é a eficiência da adsorção do Azul de Metileno na rama da mandioca.

Ao estudar o efeito da força iônica na adsorção de Azul de Metileno em coco de babaçu modificado, utilizando KCl como eletrólito Cottet (2009) observou que com o aumento da concentração de KCl em solução também houve um decréscimo na adsorção do corante.

#### 4.3.3 Estudo Cinético

O tempo de equilíbrio é um fator muito importante nos estudos de adsorção. No tratamento de efluentes é fundamental saber quanto tempo que o adsorvente leva para alcançar sua capacidade máxima de adsorção. A Tabela 5 mostra o estudo cinético para a adsorção do Azul de Metileno na rama da mandioca quando em pH 5,5, variando o tempo de contato de 10 a 480 minutos (8 horas).

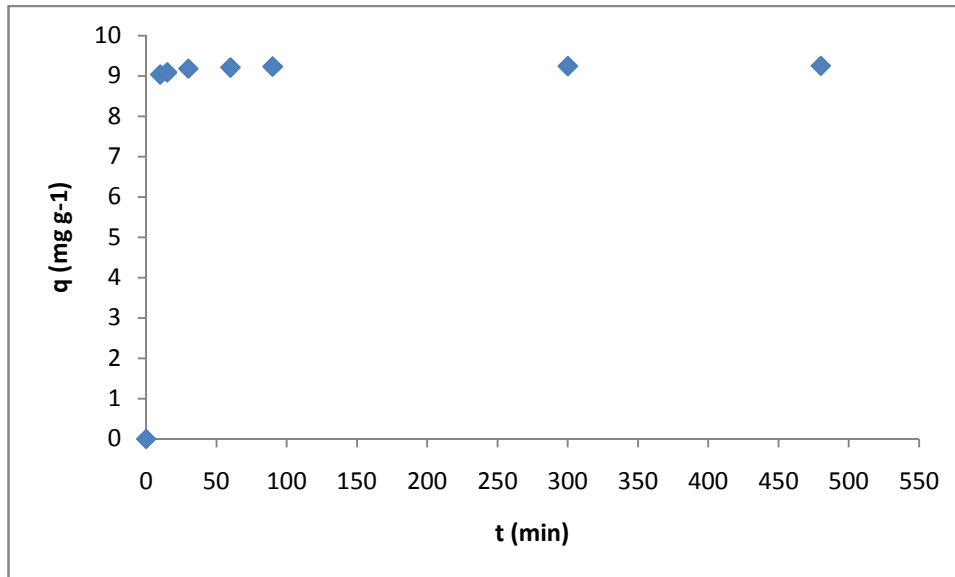
**Tabela 5- Efeito do tempo de contato na eficiência de adsorção de azul de metileno na rama da mandioca.**

t (min)	Abs	m (g)	C <sub>f</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	q (mg g <sup>-1</sup> )
10	1,695	0,2017	8,85	9,04
15	1,581	0,2018	8,27	9,09
30	1,355	0,2023	7,12	9,18
60	1,278	0,2019	6,72	9,24
90	1,190	0,2028	6,28	9,24
300	1,228	0,2023	6,47	9,25
480	1,234	0,2022	6,50	9,25

**C<sub>i</sub> = 100 mg L<sup>-1</sup>**

**Fonte: Autoria própria**





**Figura 6- Efeito do tempo de contato na eficiência de adsorção de azul de metileno na rama da mandioca.**

**Fonte: Autoria própria**

Observando a Figura 6, nota-se que nos primeiros 10 minutos de contato uma quantidade significativa de corante ( $9,04\text{mg g}^{-1}$ ) é adsorvida pela rama da mandioca. A velocidade de remoção foi maior no início devido à maior área superficial disponível de adsorvente, a remoção rápida do adsorvato e o alcance de equilíbrio em um período curto de tempo indicam que o adsorvente é eficiente (CARVALHO, 2010). Após 60 minutos (1 hora) de contato o equilíbrio do sistema é alcançado, removendo 90,1% da concentração inicial do corante, que era de  $100\text{ mg L}^{-1}$ .

Várias biomassas foram estudadas como adsorventes, sendo que no geral a maioria alcançou o máximo de adsorção, em relação ao tempo de contato, em tempos curtos de 20 a 60 minutos. Leal *et al.*,(2012), estudou a adsorção de Azul de Metileno em resíduos de babaçu e atingiu o equilíbrio de adsorção em 30 minutos, removendo cerca de 88% da concentração inicial do corante que foi de  $100\text{ mg L}^{-1}$ .

#### 4.3.4 Isotermas de adsorção

Uma isoterma de adsorção apresenta a relação de equilíbrio existente entre a concentração do adsorvato na solução e o adsorvato retido no adsorvente, a uma

determinada temperatura. As isotermas de adsorção foram obtidas variando-se a concentração inicial de corante na solução, sendo que as concentrações empregadas são mostradas na Tabela 6.

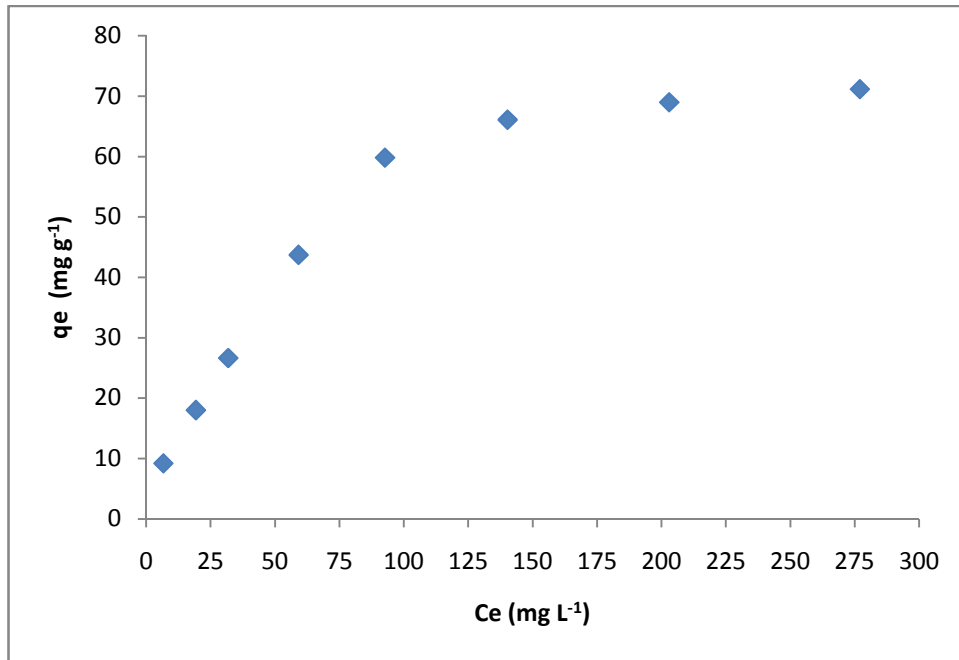
**Tabela 6: Efeito da variação da concentração inicial de corante azul de metileno na eficiência de adsorção ( $q_e$ ).**

$C_i$ (mg L <sup>-1</sup> )	Abs	$C_e$ (mg L <sup>-1</sup> )	m (g)	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> )
100	1,281	6,74	0,2023	9,22
200	0,339	19,34	0,2005	18,02
300	0,210	31,89	0,2013	26,64
500	0,424	59,18	0,2017	43,71
700	0,687	92,73	0,2031	59,80
800	0,510	140,31	0,1997	66,07
900	0,756	203,06	0,2021	68,97
1000	1,046	277,04	0,2033	71,12

**Tempo de contato = 1h**

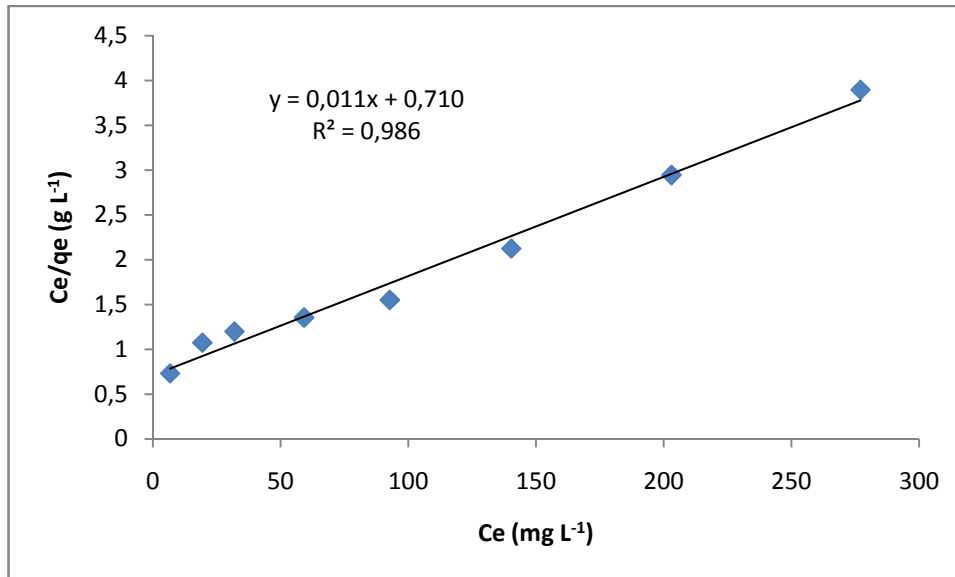
**Fonte: A autoria própria**

Uma isoterma de adsorção é dita favorável quando apresenta formas convexas, indicando que o  $q_e$  aumenta com o aumento do  $C_e$ . Observando a Figura 7, que mostra a isoterma obtida através da curva de  $q_e$  *versus*  $C_e$ , pode-se dizer que é uma isoterma favorável. A partir de 70 mg g<sup>-1</sup> pode-se observar que o  $q_e$  tende a se manter constante, indicando que o bioadsorvente alcançando seu ponto de saturação.

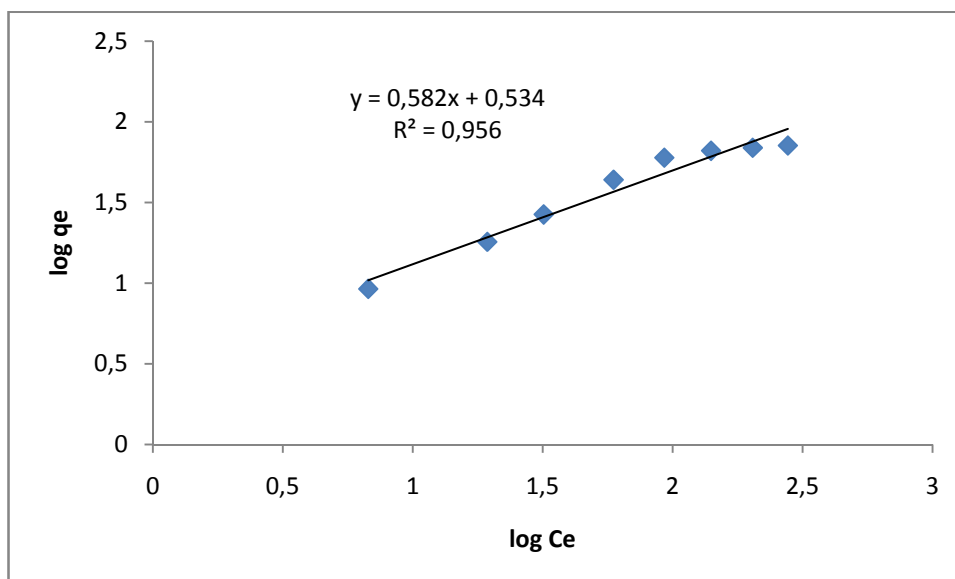


**Figura 7. Isoterma de adsorção do corante azul de metileno na rama da mandioca (T= 25 °C). Fonte: Autoria própria**

Os parâmetros de isotermas de equilíbrio podem fornecer algumas informações sobre o mecanismo de adsorção e propriedades superficiais bem como a afinidade do adsorvente (CARDOSO, 2010). A literatura apresenta vários modelos matemáticos que permitem a linearização da isoterma, neste trabalho foram aplicados os modelos de Langmuir e Freundlich, as Figuras 8 e Figura 9 mostram os dois modelos respectivamente.



**Figura 8. Isoterma de adsorção do corante azul de metileno na rama da mandioca usando o modelo de Langmuir. Fonte: Autoria própria**



**Figura 9. Isoterma de adsorção do corante azul de metileno na rama da mandioca usando o modelo de Freundlich. Fonte: Autoria própria**

Comparando a Figura 8 com a Figura 9, pode-se dizer que o modelo matemático de Langmuir foi o mais adequado para descrever o processo de adsorção do corante Azul de Metileno na rama da mandioca, pois apresentou maior linearidade ( $R^2 = 0,986$ ) comparado ao modelo de Freundlich ( $R^2 = 0,956$ ).

Analisando os dados experimentais pelo modelo de Langmuir, calculou-se os parâmetros de Langmuir obtidos dos coeficientes angular e linear da reta representada na Figura 8, que são mostrados na Tabela 7.

**Tabela 7. Parâmetros de Langmuir para a adsorção de azul de metileno na rama da mandioca.**

$q_{m\acute{a}x}$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_L$ (L mg <sup>-1</sup> )	$R^2$
90,1	0,0156	0,986

**Fonte: Autoria própria**

Rafatullah et al. (2009), cita em sua revisão, a capacidade de adsorção de vários resíduos agrícola que foram estudados utilizando como adsorvato o corante Azul de Metileno, a Tabela 8 mostra o  $q_{m\acute{a}x}$  de algumas biomassas que se aproximam muito do resultado encontrado neste trabalho.

**Tabela 8- Adsorção do corante Azul de Metileno em resíduos agrícolas.**

Resíduo sólido agrícola	$q_{m\acute{a}x}$ (mg g <sup>-1</sup> )
Casca de coco	99,0
Casca de café	90,1
Casca de madeira	84,5
Casca de alho	82,6

**Fonte: (RAFATULLAHA ET al.,2009)**

Comparando os resultados de  $q_{m\acute{a}x}$  apresentados na Tabela 8 com o valor obtidos neste trabalho, 90,1 mg g<sup>-1</sup>, pode-se dizer que a rama da mandioca é um bom adsorvente, quando comparadas a outras biomassas já estudadas na adsorção do Azul de Metileno.

## 5. CONCLUSÕES

Após o término dos experimentos relacionados à adsorção e avaliação dos resultados analíticos, pode-se concluir que: a adsorção do corante azul de metileno pela rama da mandioca sofre influência de diferentes fatores, tais como pH, força iônica, tempo de contato e concentração do corante.

O estudo do efeito do pH indicou que quando a solução estava próxima de seu pH natural (5,5), ocorreu maior adsorção devido a inexistência de íons em solução. Já em pH 8 a adsorção também foi favorecida devido ao caráter catiônico do Azul de Metileno. Portanto pode-se dizer que a maior adsorção do Azul de Metileno na rama da mandioca ocorre em pH 5 e 8.

A presença do NaCl em solução com o corante azul de metileno exerceu um influência negativa na adsorção do corante na rama, uma vez que ao aumentar a concentração de NaCl em solução, diminuiu-se a eficiência da adsorção.

No estudo relacionado ao tempo de contato, o equilíbrio foi alcançado aos 60 minutos do início da adsorção, este tempo pode ser considerado curto, e corresponde ao encontrado na literatura, quando se trata de adsorção em biomassas.

O modelo de isoterma de Langmuir foi o que se ajustou aos dados experimentais. Através dele calculou-se a capacidade máxima de adsorção da rama da mandioca que foi de  $90,1 \text{ mg g}^{-1}$ .

Baseado nos estudos de adsorção realizados neste trabalho conclui-se que a rama da mandioca se apresentou como um bom adsorvente quando utilizada na adsorção do corante Azul de Metileno. Além de ser uma biomassa de baixo custo, a quantidade máxima adsorvida está de acordo com outros estudos presentes na literatura para biomassas de resíduos agrícolas.

## REFERÊNCIAS

ABAM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE AMIDO DE MANDIOCA. **Notícias**. Disponível em: <[http://www.abam.com.br/includes/menu3/noticias\\_imp.php?id=286](http://www.abam.com.br/includes/menu3/noticias_imp.php?id=286)> Acesso em: 09, set, 2011.

CARDOSO, Natali F., **REMOÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO DE EFLUENTE AQUOSOS UTILIZANDO CASCA DE PINHÃO IN NATURA E CARBONIZADA COMO ADSORVENTE**. 2010, 54f. *Dissertação (Mestrado em Química). Programa de Pós Graduação em Química. Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2010.*

CARVALHO, Terezinha E. M. de.; FUNGARO, Denise A.; IZIDORO, Juliana C. de.; Adsorção do corante reativo Laranja 16 de soluções aquosas por zeólita sintética. **Química Nova**, Vol. 33, No. 2, 358-363, 2010.

CASTELLAN, Gilbert. **FUNDAMENTOS DE FÍSICO-QUÍMICA**. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.; 2001.

CEPLAC – COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANTIO DA LAVOURA CACAUEIRA. **Radar técnico**. Disponível em: < <http://www.ceplac.gov.br/restrito/radar.asp>> **CULTURAS ATENDIDAS: MANDIOCA**. Acesso em: 05, dez, 2011.

COTTET, Leila.; **MODIFICAÇÃO DA ARGILA MONTMORILONITA E DO CARVÃO DE COCO DE BABAÇU ATIVADO COM ÓXIDO DE FERRO: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO NA ADSORÇÃO DO AZUL DE METILENO**. 2009, 90 f. *Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química aplicada. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2009.*

DALLAGO, Rogério M.; SMANIOTTO, Alessandra; OLIVEIRA, Luiz C. A.; Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. **Quim. Nova**, Vol. 28, No. 3, 433-437, 2005.

EMATER-RO – ASSOCIAÇÃO DE ASSISTENCIA TECNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE RONDONIA. **Publicações**. Disponível em: <<http://www.emater-ro.com.br/publicacoes.php?pasta=8>> **IMPORTÂNCIA DO USO DA RAMA DE MANDIOCA NA ALIMENTAÇÃO DO GADO LEITEIRO** - 23/06/2010. Acesso em: 26, out, 2011.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA . **O produtor pergunta e a Embrapa responde.** Disponível em: <[http://www.cnpmf.embrapa.br/index.php?p=perguntas\\_e\\_respostas-mandioca.php](http://www.cnpmf.embrapa.br/index.php?p=perguntas_e_respostas-mandioca.php)> **PERGUNTAS E RESPOSTAS: MANDIOCA.** Acesso em: 02, de, 2011.

GUPTA, V.K; SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal – a review. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 2313-2342, 2009.

HORSFALL Jr, M.; ABIA, A. A.; Sorption of Cadmium (ii) and Zinc (ii) ions from aqueous solutions by cassava waste biomass (*manihot sculenta cranz*). **Water Research**, v.37, p. 4913-4923, 2003.

INSTITUTO ADOLF LUTZ. **Métodos Físico-Químicos Para Análise de Alimentos.** 2008. p. 1020. Coordenadores Odair Zenebon, Neus S. Pascuet e Paulo Tiglea. São Paulo, 2008.

KIMURA, Irene Y.; JUNIOR, Afonso C. G.; STOLBERG, Joni; LARANJEIRA, MAURO C. M.; FAVÉRE, Valfredo T. de; **EFEITO DO pH E DO TEMPO DE CONTATO NA ADSORÇÃO DE CORANTES REATIVOS POR MICROESFERAS DE QUITOSANA.** Polímeros: Ciência e Tecnologia. Julho/Setembro, 1999.

LEAL, Paulo. V. B; GREGÓRIO, Airton M; OTONI, Emiret; SILVA, Paulo R. da; KRAUSER, Maíke de O; HOLZBACH, Juliana C. Estudo da Adsorção do Corante Azul de Metileno em Resíduos de Babaçu. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. Gurupi, v. 3, n.4, p. 166-171, Nov. 2012.

MONTANHER, Silvana F.; **UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA DE BAGAÇO DE LARANJA COMO MATERIAL SORVENTE DE ÍONS METÁLICOS PRESENTES EM SOLUÇÕES AQUOSAS.** 2009, 156 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

OLIVEIRA, Elisângela A. de.; **BIOMASSAS VEGETAIS COMO MATERIAIS SORVENTES: UTILIZAÇÃO DO FARELO DE ARROZ NA REMOÇÃO DE ÍONS METÁLICOS EM SOLUÇÕES AQUOSAS.** 2002, 57 f. Dissertação (Mestrado) Centro de ciências exatas – Universidade Estadual de Maringá, 2002.

OLIVEIRA, Elisângela A. de.; **ESTUDO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA DE LUFFA CYLINDRICA NA DESCONTAMINAÇÃO DE EFLUENTES CONTENDO ÍONS METÁLICOS E CORANTES TÊXTEIS.** 2007, 164 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.



PIMENTEL, Maria F.; NETO, Benício B. de.; Calibração: Uma revisão para químicos analíticos. **Quim. Nova**, Vol. 19, No. 3, 268-277, 1996.

RAFATULLAHA Mohd; SULAIMANA Othman; HASHIMA Rokiah; AHMADB Anees. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. **Journal of Hazardous Materials**. p. 70 – 77, 2009.

ROYER, Betina.; **REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO CASCA DE SEMENTES DE *Araucaria Angustifolia* COM BIORSORVENTES**. 2008, 68 f. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SALLEH, Mohamad A. M.; MAHMOUD, Dalia K.; KARIM, Wan A. W. A.; AZNI, Idris. Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review. **Desalination**, v. 280, p. 1-13, 2011.

SANTOS, Andressa.; **ARGILAS MONTMORILONITAS NATURAIS E MODIFICADAS COM SURFACTANTE APLICADAS NA ADSORÇÃO DO AZUL DE METILENO E PNITROFENOL EM SOLUÇÃO AQUOSA**. 2010, 114 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2010.

SANTOS, Elba G.; ALSINA, Odelsia, L. S.; SILVA, Flávio L. H.; Desempenho de biomassas na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos. **Quim. Nova**, Vol. 30, No. 2, 327-331, 2007.

VAGHETTI, Júlio C. P.; **UTILIZAÇÃO DE BIORSORVENTES PARA REMEDIAÇÃO DE EFLUENTES AQUOSOS COMTAMINADOS COM IOS METÁLICOS**. 2009, 99f. Tese (Doutorado em Química). *Programa de Pós Graduação em Química. Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2009.*

VIEIRA, Ana C.; **CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA PROVENIENTE DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS**. 2012, 56 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2012.

VOS, R. Defining biomass: which types of biomass will count as renewable energy sources. **Refocus**, v. 7, n. 5, p. 58-59, 2006.

WERTHER J.; SAENGER, M.; HARTGE, E. U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. **Progress in energy and combustion science**. Alemanha: Pergamon, v.26, p. 1-27, 2000.

YMAMURA, *Amanda G. P.*; YMAMURA, *Mitiko*. **ESTUDO DA CINÉTICA E DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE U PELO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**. International Nuclear Atlantic Conference. São Paulo, 2005.