

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

GUSTAVO VALCARENGHI
LUIZ FELIPE PRATA RIBEIRO

**ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO DE SOLUÇÃO AQUOSA COM
UTILIZAÇÃO DE PÓ DE SERRAGEM DE MDF E MADEIRITE E
CARVÃO ATIVADO GRANULAR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2013

GUSTAVO VALCARENGHI
LUIZ FELIPE PRATA RIBEIRO

**ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO DE SOLUÇÃO AQUOSA COM
UTILIZAÇÃO DE PÓ DE SERRAGEM DE MDF E MADEIRITE E
CARVÃO ATIVADO GRANULAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Engenharia de Produção Civil do Departamento de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial de obtenção de Engenheiro de Produção Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Karina Querne de Carvalho

CURITIBA
2013

FOLHA DE APROVAÇÃO

ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO DE SOLUÇÃO AQUOSA COM UTILIZAÇÃO DE PÓ DE SERRAGEM DE MDF E MADEIRITE E CARVÃO ATIVADO GRANULAR

Por

GUSTAVO VALCARENGHI
LUIZ FELIPE PRATA RIBEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 09 de outubro de 2013, pela seguinte banca de avaliação:

Profa. Orientadora – Karina Querne de Carvalho Passig, Dra.
UTFPR

Prof. Flávio Bentes Freire, Dr.
UTFPR

Prof. Fernando Hermes Passig, Dr.
UTFPR

Jéssica Luiza Bueno Trevisani, Eng..
UTFPR

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias, que têm papel fundamental na nossa formação e educação, fruto de muito esforço e trabalho.

A nossa orientadora Professora Dra. Karina Querne de Carvalho Passig e ao Professor Dr. Flávio Bentes Freire, pela colaboração, paciência e incentivo na condução deste trabalho.

Aos nossos companheiros e alunos da UTFPR, que sempre nos deram forças e apoio nos momentos difíceis, que foram essenciais para a realização deste trabalho e a todos os que colaboraram de maneira ou outra para nossa formação.

A UTFPR que nos deu a suporte para nos tornarmos profissionais capacitados, estamos honrados em fazer parte da história desta grande instituição.

Aos Renomados professores que sempre nos inspiraram a buscar de novos conhecimentos, hoje desejamos retribuir, mostrando o fruto de vossa dedicação.

Aos colegas Gustavo Macioski, Ellen Caroline Baettker e Felipe Rangel pela dedicação e esforço em nos auxiliar em todos os nossos experimentos.

Nossas singelas palavras sempre serão poucas perante a realização que nos promoveram.

RESUMO

VALCARENGHI, Gustavo. RIBEIRO, Luiz Felipe Prata. Adsorção de azul de metileno de solução aquosa com utilização de pó de serragem de MDF e madeirite e carvão ativado granular. 2013. 47 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

A indústria têxtil é caracterizada por produzir resíduos com alta concentração de corantes devido aos seus processos de tingimento. Para lançamento deste tipo de efluente em corpos receptores, um tratamento prévio para remoção da cor é necessário. Dentre os métodos de remoção de cor em efluentes, a adsorção tem sido bastante estudada para avaliar sua eficiência com diversos materiais alternativos, como a serragem de madeira, que além de ter um custo ínfimo, não necessita combustão, processo utilizado para ativação do carvão. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do pó de serragem de MDF e de madeirite como materiais adsorventes na remoção do corante azul de metileno na concentração de 0,15 g/L, como alternativa para o carvão ativado granular. Ensaio foram conduzidos com variação de massa de adsorvente (1 g, 2 g, 3 g, 4 g, 5 g e 6 g) e pH (5,5, 6,5, 7,5, 8,5, 9,5 e 10,5). Foi realizada caracterização físico-química com determinação de pH, densidade aparente, densidade específica, teor de umidade e granulometria do pó de serragem de MDF e madeirite e do carvão ativado granular. Os resultados dos ensaios indicaram: caráter ácido para o pó de serragem de MDF (pH $4,92 \pm 0,07$) e caráter neutro para o pó de serragem de madeirite (pH $7,08 \pm 0,02$). Nos ensaios de adsorção foram observadas melhores eficiências de remoção de corante de 98,2% (MDF), 97,9% (madeirite) e 100% (carvão ativado granular) para massa de adsorvente de 6 g; de 97,7% (MDF), 98,2% (madeirite) e 100% (carvão ativado granular) para pH de 7,5. Foi possível concluir que o pó de serragem de MDF e de madeirite são eficientes na remoção de cor pelo processo de adsorção em solução aquosa contendo azul de metileno.

Palavras-chave: Característica físico-química. Carvão ativado Granular. Corante. Cinética de Adsorção.

ABSTRACT

VALCARENGHI, Gustavo. RIBEIRO, Luiz Felipe Prata. Removal of methylene blue aqueous solution by adsorption using sawdust of MDF and plywood and granular activated carbon. 2013. 47 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

The textile industry is characterized of producing wastes with high concentration of dyes because of its dyeing process. To discharge this kind of effluent in the water bodies, a previous treatment for removing the color is necessary. Among the methods for removing color in effluents, the adsorption has been intensively studied to evaluate its efficiency using different alternative materials, such as wood sawdust, that have a low cost, do not require combustion process used to activate the carbon. Thus, the objective of this work was to evaluate the use of sawdust powder of MDF and plywood as adsorbent materials on the removal of methylene blue in the concentration of 0,15 g/L, as an alternative for granular activated carbon. Assays were carried out varying adsorbent masses (1 g, 2 g, 3 g, 4 g, 5 g and 6 g) and pH (5.5, 6.5, 7.5, 8.5, 9.5 and 10.5). Physical-chemical characterization was done determining pH, apparent density, specific density, moisture content and granulometry of sawdust powder of MDF and plywood and granular activated carbon. Results of the assays indicated: acid character for MDF sawdust ($\text{pH } 4.92 \pm 0.07$) and neutral character for plywood sawdust ($\text{pH } 7.08 \pm 0.02$). It was observed in the adsorption assays: higher efficiencies of dye removal of 98.2% (MDF), 97.9 (plywood) and 100% (granular activated carbon) with adsorbent mass of 6 g; 97.7% (MDF), 98.2% (plywood) and 100% (granular activated carbon) with pH 7.5. It was possible to conclude that MDF and plywood sawdust powder are efficient in the removal of color from aqueous solution containing methylene blue dye by adsorption process.

Keywords: Physical-Chemical Characterization. Granular Activated Carbon. Dye. Kinetics Adsorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura Molecular Do Corante Azul De Metileno	17
Figura 2 – Curva De Calibração Do Corante Azul De Metileno (396 Nm)	29
Figura 3 – Curva Granulométrica Do Pó De Serragem De Madeirite E De Mdf.	32
Figura 4 – Eficiência Da Remoção Do Corante Pelo Tempo Para Variação De Massa Para: Pó De Serragem De Mdf (A); Pó De Serragem De Madeirite (B); Carvão Ativado Granular	34
Figura 5 – Eficiência Da Remoção Do Corante Pelo Tempo Para Ph 7,5 E 6 G De Adsorvente Para O Pó De Serragem De Mdf, Madeirite E Carvão Ativado.....	36
Figura 6 – Eficiência Da Remoção Do Corante Pelo Tempo Para Variação De Ph Para Pó De Serragem De Mdf (A); Pó De Serragem De Madeirite (B); Carvão Ativado Granular (C).....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Volume de despejos provenientes de indústria de tecidos de rayon-viscose, algodão, poliéster-algodão e de poliéster-náilon	13
Tabela 2 – Fluxograma do beneficiamento têxtil	14
Tabela 3 – Características físico-químicas e consumo de água dos processos de beneficiamento têxtil.....	16
Tabela 4 – Massa específica e granulometria do carvão ativado (CA) e do carvão ativado granular (CAG)	20
Tabela 5 – Relação das normas utilizadas para os ensaios	23
Tabela 6 – Características físicas do carvão ativado e do pó de serragem de MDF e madeirite.....	31
Tabela 7 - Relação entre pH do adsorvente e pH ótimo de adsorção.....	38
Tabela 8– Parâmetros dos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e de pseudo-segunda ordem para remoção do azul de metileno	39

LISTA DE SIGLAS

ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira

ABIT – Indústria Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção

CA – Carvão Ativado

CAG – Carvão Ativado Granular

CAP – Carvão Ativado em Pó

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry

MDF – *Medium-density fiberboard*

Rpm – Rotações por minuto

ST – Sólidos Totais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	EFLUENTES TÊXTEIS	13
3.2	CORANTES	16
3.3	FORMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS	17
3.4	ADSORÇÃO	18
3.4.1	Materiais Adsorventes	19
3.5	ESTUDOS DE CASO	22
4	MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ADSORVENTE	23
4.1.1	pH	23
4.1.2	Densidade Aparente	24
4.1.3	Densidade Específica	25
4.1.4	Teor de Umidade	25
4.1.5	Ensaio de Granulometria	26
4.2	ENSAIOS DE ADSORÇÃO	27
4.2.1	Adsorção com Variação da Massa de Adsorvente	27
4.2.2	Adsorção com Variação do pH	28
4.2.3	Eficiência da Remoção de Corante	28
4.3.4	Cinética de Adsorção	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE SERRAGEM	31
5.2	VARIAÇÃO DA MASSA DE ADSORVENTE	33
5.3	VARIAÇÃO DO PH	36
5.4	CINÉTICA DE ADSORÇÃO	38

6	CONCLUSÃO	40
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil brasileira está entre as dez maiores do mundo em produção de fios, tecidos e malhas, contando com participação em torno de 3,5% no seu Produto Interno Bruto (PIB), segundo a ABIT (2006). Além disso, esse segmento industrial é caracterizado por requerer quantidades de água, corantes e produtos químicos utilizados ao longo de uma complexa cadeia produtiva.

Os efluentes têxteis são caracterizados por serem altamente coloridos, devido à presença de corantes que não se fixam às fibras durante o processo de tingimento gerando grande quantidade de resíduos (ZAMORA, KUNZ, MORAES, DURÁN; 2002). Diferentes tipos de corantes (naturais, reativos, ácidos, iônicos, dentre outros) podem ser usados pela indústria, gerando quantidade e variedade de efluentes, sendo que apenas 50% das fabricas aplicam processos para tratamento dos seus efluentes (ARRELKAS *et al.*, 2009).

No setor de tingimento de uma indústria têxtil, são gastos aproximadamente 1000 litros de água para cada 1000 kg de roupas processadas (GARG *et al.*, 2004).

As principais técnicas disponíveis para descoloração de efluentes têxteis envolvem principalmente processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica, fotoquímica e biodegradação (GUARATINI; ZANONI, 1999).

Geralmente são utilizadas combinações de processos para alcançar a qualidade desejada da água, pois os tratamentos simples, não tratam o efluente por completo, principalmente devido à natureza complexa dos efluentes (CRINI, 2005.)

O processo de adsorção não tem sido utilizado extensivamente no tratamento de efluentes industriais, mas a demanda por melhor qualidade neste tratamento, inclusive na redução da toxicidade, tem levado ao estudo do processo de adsorção com carvão ativado (METCALF; EDDY, 2004).

O carvão ativado é o adsorvente mais utilizado devido à sua excelente eficiência na remoção de cor. Garg *et al.* (2004) observaram remoção de 100% dos corantes e metais pesados ao utilizarem este adsorvente. Porém, seu uso é restrito devido ao seu custo de cerca de R\$50,00/Kg de carvão (ECOCARBO, 2012). Além disso, o carvão possui superfície eletricamente positiva, o que dificulta a adsorção de corantes catiônicos como o azul de metileno.

Devido à esses problemas, vários materiais de menor custo estão sendo estudados para remoção de diferentes tipos de corantes em diferentes condições de operações, como por exemplo, casca de banana, casca de coco, casca de arroz, casca de laranja, pó de serragem e pó de serragem de bambu (AMIT BHATNAGARA, MIKA SILLANPÄÄB, 2010). Apesar do rendimento do carvão ativado ser, em média, 50% superior dos demais adsorventes, os resultados tem demonstrado a viabilidade de uso destes materiais que possuem custo ínfimo, já que são encontrados como resíduo de outras indústrias.

O pó de serragem, encontrado em madeiras, marcenarias e obras de construção civil, apresentou ótimas características adsorventes nas pesquisas de Garg *et al.* (2004), sendo interessante o uso deste resíduo, como alternativa barata e ecológica, para remoção de corantes de efluentes têxteis. Outras pesquisas, como a de Antunes *et al.* (2010) e de Ikeno (2013) também apresentaram ótimos resultados na eficiência de remoção do corante com pó de serragem, e justificam um estudo aprofundado para outros tipos de serragem.

Dentro deste contexto, o presente trabalho de conclusão de curso apresenta um estudo sobre o uso do pó de serragem como material alternativo, econômico e sustentável na remoção de corante azul de metileno por adsorção.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a eficiência do pó de serragem de madeira de MDF e de madeirite e de carvão ativado granular na remoção de cor de solução aquosa contendo azul de metileno.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar caracterização físico-química dos materiais adsorventes;
- Avaliar o efeito da variação das massas dos materiais adsorventes na adsorção;
- Avaliar o efeito da variação do pH na capacidade de adsorção dos materiais adsorventes;
- Comparar os resultados obtidos com os ensaios realizados com ensaios realizados com carvão ativado granular e;
- Investigar a velocidade de adsorção do pó de serragem dos materiais adsorventes por meio de ajuste de modelo cinético de pseudo-primeira ordem de Lagergren e pseudo-segunda ordem.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EFLUENTES TÊXTEIS

Efluente é um termo usado para caracterizar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2011, p. 2).

Segundo Moraes (1999), o setor têxtil é conhecido por apresentar elevado potencial poluidor, abrangendo cinco campos distintos: efluentes líquidos, emissões de gases e partículas, resíduos sólidos, odores e ruídos.

Devido à expansão deste setor na economia brasileira e de muitos outros países, e conseqüentemente à maior geração de despejos, houve aparecimento de leis mais rígidas para regular a qualidade de efluentes têxteis (BRAILE; CAVALCANTI, 1993). Na Tabela 1 é apresentado o volume de resíduos gerados diariamente durante as várias etapas da produção de tecidos.

TABELA 1 – VOLUME DE DESPEJOS PROVENIENTES DE INDÚSTRIA DE TECIDOS DE RAYON-VISCOSE, ALGODÃO, POLIÉSTER-ALGODÃO E DE POLIÉSTER-NÁILON

Origem dos despejos	Volume (m ³ /d)
Tingimento dos fios	80
Engomagem	4
Desengomagem e lavagem	864
Cozimento e lavagem	1200
Alvejamento e lavagem	1728
Merceirização e lavagem	1037
Estamparia	549
Tinturaria	37
Lavagem	1350
Vaporização	5
TOTAL	6854

Fonte: BRAILE; CAVALCANTI, 1993.

O processo de produção da cadeia têxtil tem seu início com a matéria-prima passando pela fiação, tecelagem, acabamento e inspeção (IMMCHI, 2006). Após isso, ainda segundo a autora, são iniciados os processos de merceirização, purga, alvejamento químico e o tingimento. Após este último processo é dado

acabamento final ao produto. Na Tabela 2 é mostrado o fluxograma do beneficiamento têxtil.

TABELA 2 – FLUXOGRAMA DO BENEFICIAMENTO TÊXTEL

DEPÓSITO DE TECIDO CRU	
↓ DESEMGOMAGEM ↓ PURGA / ALVEJAMENTO ↓ MERCEIRIZAÇÃO ↓ CHAMUSCAGEM OU NAVALHAGEM ↓	BENEFICIAMENTOS PRIMÁRIOS
TINGIMENTO ↓ ESTAMPAGEM ↓	BENEFICIAMENTOS INTERMEDIÁRIOS
FELPAGEM ↓ RESINAGEM ↓ VAPORIZAÇÃO ↓ APLICAÇÃO DO AMACIANTE ↓ TERMIFIXAÇÃO ↓ PRÉ-ENCOLHIMENTO ↓ CALANDRAGEM ↓ REVISÃO DO TECIDO ACABADO ↓	BENEFICIAMENTOS FINAIS
DEPÓSITO DO TECIDO ACABADO	

Fonte: KUNZ, 1999 apud LIMA, 2004.

Segundo Kunz, Zamora, Moraes e Durán (2002), os efluentes têxteis caracterizam-se por serem altamente coloridos, devido à presença de corantes que não se fixam à fibra durante o processo de tingimento. Esses autores ressaltam

ainda que, aproximadamente 10.000 diferentes corantes e pigmentos são usados industrialmente, o que representa consumo anual de cerca de 7×10^5 toneladas no mundo e 26.500 toneladas somente no Brasil.

Corantes sintéticos são em sua maioria xenobióticos, e uma vez lançados nos corpos hídricos não são degradados por micro-organismos, pois estes não possuem enzimas específicas para sintetizar este tipo de composto (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Garg et al. (2004) ressaltaram ainda que a cor impede a entrada de luz, retarda as atividades fotosintéticas, inibe o crescimento da biota e também atrai íons metálicos que geram micro-toxinas para peixes e outros organismos. Os autores dizem ainda que até mesmo a concentração de 1 mg/L já influencia na coloração da água, tornando-a imprópria para consumo humano.

Conforme estabelecido na Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), o valor máximo permitido para cor aparente é de 15 uH. Assim, é evidente a necessidade de implantar processos eficientes de redução de cor, com menor custo e que minimizem os impactos ao ambiente.

De acordo com Sanin (1997), estudos realizados nas indústrias têxteis do estado de Baden Wurttemberg, na Alemanha, indicaram DQO média no efluente de 1700 mg O₂/L e DBO de 550 mg O₂/L, valores três vezes superiores ao proveniente de águas residuárias comuns. O autor afirma ainda que a principal fonte dessa carga provém do pré-tratamento, mais precisamente das operações de desengomagem e purga. Na desengomagem é retirada a goma polimérica, inserida anteriormente para tecelagem, em soluções fortemente alcalinas e à altas temperaturas. A purga tem o objetivo de retirar impurezas naturais do tecido ou fio, como gorduras, óleos e lubrificantes adicionados à fibra, necessitando de álcalis fortes.

No pré-tratamento, são eliminadas as substâncias adicionadas ao algodão nas etapas de tecelagem e as substâncias inerentes ao próprio algodão (BELTRAME, 2000). Na Tabela 2 é apresentado um resumo das características físico-químicas e do consumo de água por kg de tecido produzido em cada etapa do processamento industrial da fibra de algodão e de poliéster.

TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E CONSUMO DE ÁGUA DOS PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO TÊXTIL

Fibra	Processo	pH	DBO (mg/L)	ST (mg/L)	Água (L/kg)
Algodão	Engomagem	7,0 - 9,5	620 - 2500	8500 - 22600	0,5 - 7,84
	Desengomagem	-	1700 - 5200	16000 - 32000	2,5 - 9,17
	Purga	10 - 13	680 - 2900	7600 - 17400	2,59 - 14,18
	Limpeza	-	50 - 110	-	19,18 - 42,53
	Alvejamento	8,5 - 9,6	90 - 1700	2300 - 14400	2,5 - 124,26
	Merceirização	5,5 - 9,5	45 - 65	600 - 1900	232,7 - 308,2
	Tingimento:				
	Anilina preta	-	45 - 55	600 - 1200	125,1 - 191,8
	Básico	6,0 - 7,5	100 - 200	500 - 800	150,1 - 300,2
	Desenvolvimento da cor	5,0 - 10	75 - 200	2900 - 8200	142,2 - 208,5
	Direto	6,5 - 7,6	220 - 600	2200 - 14000	14,18 - 53,4
	Índigo	5 - 10	90 - 1700	1100 - 9500	5,0 - 50,0
	Naftol	5 - 10	15 - 675	4500 - 10700	19,2 - 140,1
	Enxofre	8 - 10	11 - 1800	4200 - 14100	24,2 - 213,5
À cuba	5 - 10	125 - 1500	1700 - 7400	8,34 - 166,8	
Poliéster	Purga	-	500 - 800	-	25 - 40
	Tingimento	-	480 - 27000	-	17 - 30
	Purga total	-	650	-	17 - 30

Fonte: PERES e ABRAHÃO, 1998 e CAVALCANTI, 1993.

Segundo Barbosa *et al.* (2009), o algodão ainda é a principal matéria-prima da indústria têxtil nacional, respondendo por 59% do consumo total de fibras.

3.2 CORANTES

Os corantes são geralmente constituídos de moléculas pequenas, que possuem dois grupos principais: o cromóforo, responsável pela cor, e o grupo funcional que permite a fixação do corante à fibra (SANTANA, 2010).

Ainda segundo Santana (2010), os corantes são classificados de acordo com a estrutura molecular e com a forma de coloração da fibra, também chamada de substrato têxtil. Quanto à forma de fixação, os corantes são classificados em: reativos, diretos, azóicos, ácidos, à cuba (ou corantes vat), de enxofre, dispersivos, pré-metálicos e branqueadores. Segundo Zamora, Kunz, Moraes e Durán (2002), os corantes reativos são os mais utilizados no mundo.

“AZO”, um antigo corante utilizado em indústrias têxtil, foi banido da comunidade europeia em 2003 depois da descoberta de que este possuía propriedades cancerígena (Conceição *et al.*, 2003).

Dentre eles, destaca-se o corante azul de metileno que é um corante básico, orgânico, aromático, heterocíclico e solúvel em água ou álcool (POGGERE; DAVIS; MONTANHER; LOBO, 2011). Segundo Fabrício *et al.* (2009), este corante é comumente utilizado na produção de papel e de outros materiais como poliésteres e nylons.

O aquecimento do azul de metileno pode gerar óxido de enxofre e óxido nítrico, além de causar efeitos toxicológicos em organismos aquáticos e na qualidade da água (GUIMARÃES, 2009).

Na Figura 1 é possível observar a estrutura molecular do corante azul de metileno.

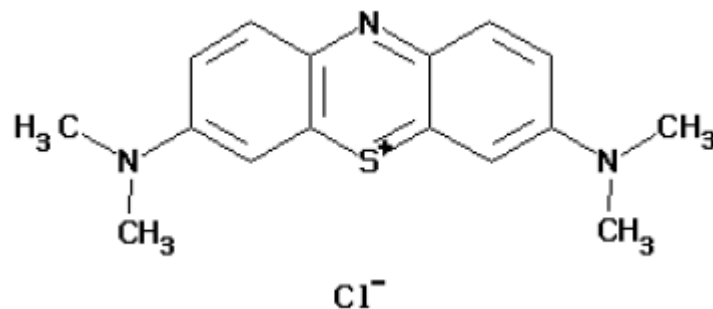


Figura 1 – Estrutura molecular do corante azul de metileno

Fonte: Merck Millipore Chemicals (2013)

3.3 FORMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Na Resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011) é definido como padrão de lançamento de efluente em corpos receptores: pH entre 5,0 e 9,0, remoção mínima de 60% da DBO (5 dias a 20°C), dentre outros.

Para fins de tratamento dos efluentes, existem operações físicas, processos químicos, combinação de processos físico-químicos e biológicos. As operações físicas são realizadas para remoção de sólidos suspensos, areia, óleos e

gorduras, utilizando grades, caixas de areia, tanques de decantação e filtros (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Os processos químicos e físico-químicos são utilizados para remover material coloidal, cor, turbidez, odor, ácidos, álcalis, metais pesados e óleos. Nesses processos são realizadas neutralizações dos despejos industriais para evitar lançamento de águas ácidas ou alcalinas no corpo receptor (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Nos processos biológicos acontece a estabilização dos despejos através de micro-organismos aeróbios ou anaeróbios que decompõem a matéria orgânica. Os processos podem ser: sistemas de lodos ativados, filtro biológico ou lagoa de estabilização aeróbia (SPERLING, 2005). Dependendo do efluente encontra-se o processo que melhor o trata, mas em alguns casos o tratamento biológico não é possível.

Para fins de remoção de corantes em efluentes, a adsorção com carvão ativado tem sido bem sucedida. A adsorção de corantes através de sólidos porosos envolve o transporte do corante da solução e a difusão das moléculas do corante para os poros do material adsorvente (SOARES, 1998).

3.4 ADSORÇÃO

Metcalf e Eddy (2004, p. 1138) definem adsorção como processo de acumulação de substâncias que estão em solução numa interface adequada e como operação de transferência de massa em que o constituinte na fase líquida é transferido para a fase sólida.

O termo “sorção” é usado para descrever todo tipo de captura de uma substância da superfície externa de sólidos, líquidos ou mesomorfos, bem como da superfície interna de sólidos porosos ou líquidos (INGLEZAKIS; POULOPOULOS, 2006, p. 31).

No processo, o adsorbato é a substância presente no líquido e que está sendo removida dele, e o adsorvente é o sólido, líquido ou gás no qual se acumula o adsorbato.

Dependendo do tipo de ligação envolvida, a adsorção pode ser classificada como física ou química.

A adsorção física, fisiossorção ou adsorção de Van der Waals é o resultado de forças intermoleculares de atração relativamente fracas entre as moléculas do adsorvente e do adsorbato e que por isso, torna o fenômeno reversível.

A adsorção química ou quimiossorção é o resultado da interação química de uma reação de substituição entre o adsorvente e o adsorbato. Frequentemente, este processo é irreversível. Neste tipo de adsorção, as forças de interação adsorvente-adsorbato são superiores às observadas na adsorção física, pois ocorre formação de uma ligação química entre as moléculas do adsorbato e do adsorvente.

Segundo Inglezakis e Pouloupoulos (2006, p. 31), a primeira utilização conhecida do processo de adsorção foi no ano de 3750 a.C. pelos egípcios e sumerianos que utilizavam carvão vegetal para redução de cobre, zinco e estanho para manufatura do bronze. Mas a primeira utilização da adsorção para propósito sanitário foi em aproximadamente 460 a.C. quando os fenícios utilizaram filtros de carvão vegetal para tratar água para fins de consumo.

A primeira aplicação da adsorção, baseada em estudos e experimentos, foi feita por Lowitz que utilizou carvão vegetal para descoloração de soluções de ácido tartárico em 1788. O carvão ativado foi somente reconhecido como material de purificação e separação eficiente na indústria química de sintéticos na década de 40.

3.4.1 Materiais Adsorventes

3.4.1.1 Carvão Ativado

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), há uma variedade de materiais que podem ser utilizados na fabricação do carvão ativado. No Brasil, predominantemente, utiliza-se madeira, carvão betuminoso e sub-betuminoso, ossos e cascas de coco.

Depois de alcançada a granulometria desejada, a produção envolve, basicamente, a carbonização e ativação (ou oxidação) para desenvolvimento dos vazios internos. A carbonização, ou pirólise, é feita na ausência de ar, em temperaturas compreendidas entre 500 e 800 °C, enquanto que a ativação é realizada com gases oxidantes em temperaturas de 800 a 900 °C (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Comercialmente, o carvão ativado é encontrado em grãos e em pó, sendo denominado de Carvão Ativado Granular (CAG) e Carvão Ativado em Pó (CAP).

As características físicas do carvão ativado dependem da origem do material utilizado em sua fabricação que pode ser de origem animal, vegetal ou mineral e do tipo de ativação, que pode ser física ou química.

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), diversos fatores podem influenciar na eficiência da adsorção, sendo: superfície específica, tamanho e estrutura dos poros e reatividade dos diferentes componentes do material, tamanho, massa molar e grupos funcionais das moléculas para o adsorvato, condutividade, pH, temperatura, carbono orgânico dissolvido, turbidez, metais dissolvidos, processo de ativação, dentre outros.

Na Tabela 4 são apresentadas a massa específica e a granulometria do carvão ativado e do carvão ativado granular.

TABELA 4 – MASSA ESPECÍFICA E GRANULOMETRIA DO CARVÃO ATIVADO (CA) E DO CARVÃO ATIVADO GRANULAR (CAG)

Tipo	Massa específica (kg/m³)	Granulometria (mm)
Carvão ativado	350 - 500	0,42 - 0,24
CAG	350 - 750	0,01 - 0,10

Fonte: (DI BERNARDO; DANTAS, 2005)

A classificação dos poros do carvão ativado, segundo à IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada) é baseada no diâmetro, sendo: macroporos com diâmetro superior a 50 nm, mesoporos com diâmetro de 2 a 50 nm, microporos com diâmetro de 0,8 a 2 nm e microporos primários com diâmetro inferior a 0,8 nm (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Quanto às características adsorptivas, Di Bernardo e Dantas (2005) descrevem que podem ser usados os parâmetros:

- Índice de Descoloração ou Número de Melaço: relacionado à capacidade do CA em adsorver moléculas de grande massa molar;
- Índice de Fenol: quantidade de CA necessária para diminuir a quantidade de fenol de 100 mg para 10 mg em solução aquosa;
- Índice de Azul de Metileno (IAM): capacidade do CA em adsorver moléculas com dimensões similares à do azul de metileno e relacionado à área superficial dos poros maiores que 1,5 nm (expresso em mg AM por g de CA) e;

- Número de Iodo (NI): quantidade de iodo que é absorvida pelo CA sob condições específicas e relacionado com adsorção de moléculas de pequena massa molecular (expresso em mg de iodo por g de CA).

Para especificação dos carvões ativados também são considerados parâmetros importantes:

- pH: potencial hidrogeniônico, mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade;

- densidade aparente: volume ocupado pelo material incluindo a porosidade, medido em unidade de massa por unidade de volume;

- densidade relativa: relação entre a densidade do material em relação à densidade da água;

- Teor de Umidade (%): quantidade de água por unidade de massa do carvão que indica a eficiência energética do carvão;

- Teor de matéria volátil (%): quantidade de material liberado quando o carvão é aquecido que indica a qualidade do carvão e;

- Teor de cinzas (%): material, principalmente óxidos, presente no carvão, que indica o grau de pureza.

3.4.1.2 Pó de Serragem

A madeira compensada é fabricada a partir de lâminas de pinos (*Pinus elliottii*), que é usado em larga escala dentro da construção civil tanto como madeirite como o MDF (*Medium-Density Fiberboard*).

O madeirite é um material confeccionado a partir de madeira seca que pode ser originária de reflorestamento, feito por meio da sobreposição de lâminas de madeira unidas por um adesivo. O posicionamento alternado dessas lâminas, formando um ângulo reto em relação às fibras que proporciona ao material maior resistência ao fendilhamento, melhor estabilidade dimensional, resistência ao empenamento entre outras propriedades (STAMATO; JUNIOR, 2002).

O *Medium-Density Fiberboard* (MDF) é um painel de madeira reconstituída, que na língua portuguesa significa placa de fibra de madeira de média densidade. Este material é fabricado através da aglutinação de fibras de madeira com resinas sintéticas e aditivos através da ação conjunta de pressão e calor durante a prensagem. A característica principal do MDF é a capacidade de

usinagem, tanto nas bordas quanto nas faces, onde a trabalhabilidade desta madeira em tornos e talhas fica fácil (ABIPA, 2013).

3.5 ESTUDOS DE CASO

Dentro deste tema sobre adsorção de corantes, há várias pesquisas científicas na comunidade acadêmica. As pesquisas geralmente se diferenciam por utilizarem diferentes tipos de adsorventes, tais como palha de palmeira (NASSAR; MAGDY, 1997), escória de aço e pena de ave (RAMAKRISHNA; VIRARACHAVAN, 1997), resíduos de siderúrgicas (AMORIM *et al.*, 2007), lama vermelha (SILVA FILHO *et al.*, 2008), resíduo de curtume (DALLAGO; SMANIOTTO; OLIVEIRA, 2005), cascas de semente de araucária (ROYER, 2007), dentre outros.

Vários estudos têm sido feitos com soluções aquosas de corantes com resíduos de madeira e carvão ativado como materiais adsorventes. Kannan *et al.* (2001) utilizaram carvão ativado comercial e outros tipos de adsorvente como casca de arroz, casca de coco, casca de bambu e palha na adsorção do corante azul de metileno. Os autores obtiveram resultados de número de iodo de 312 mg/g, 434,78 mg/g, 82,37 mg/g e 205 mg/g, respectivamente.

Garg *et al.* (2004) utilizaram pó de serragem do gênero *Indian Rosewood*, também para adsorção de solução aquosa contendo corante azul de metileno. Os autores concluíram que o pó de serragem possui menor capacidade de adsorção, porém maior viabilidade econômica.

Antunes *et al.* (2010) utilizaram pó serragem de madeira (não especificada) para adsorção do corante *Direct Green 26* e notaram alta porcentagem de remoção do corante, com redução de corante de até 78,8% para concentração de 500 mg/L.

Ikeno (2013) utilizou pó de serragem de madeira do gênero *Pinus sp.* para adsorção de solução aquosa contendo corante azul de metileno. O autor obteve maiores remoções do corante para massa de 1 g em temperaturas de 30 °C (81,60%), 40°C (81,80%) e 50°C (79,90%).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de caracterização do material e de adsorção foram realizados nos laboratórios de Saneamento, de Materiais e de Agregados do DACOC (Departamento Acadêmico de construção Civil) na sede Ecoville do câmpus Curitiba da UTFPR.

O pó de serragem de MDF e pó de serragem de madeirite utilizados no trabalho foram obtidos em uma fábrica de móveis e em uma obra de construção civil na cidade de Curitiba, estado do Paraná. O carvão ativado granular foi cedido pelo Prof. Flavio Bentes Freire.

Neste trabalho de conclusão de curso foi considerada somente a interface de adsorção líquido-sólido, na qual o adsorvato é o corante, que está presente nos efluentes provenientes da indústria têxtil, e o adsorvente é o carvão ativado e o pó de serragem.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ADSORVENTE

Para determinar as características físico-químicas foram feitas determinações do pH, densidade aparente, densidade específica, teor de umidade e granulometria das amostras de pó de serragem de MDF e de madeirite.

Na Tabela 5 são apresentadas as normas utilizadas nas determinações das características físico-químicas.

TABELA 5 – RELAÇÃO DAS NORMAS UTILIZADAS PARA OS ENSAIOS

Critério	Norma
pH	ASTM D 3838-80/1999
Densidade aparente	NBR 12076/1991
Densidade específica	NBR NM 23/2001
Teor de umidade	ASTM D 2867/2004
Granulometria	NBR NM 248/2003

4.1.1 pH

A determinação do potencial Hidrogeniônico das amostras de pó de serragem de MDF e de madeirite foi realizada em triplicata no Laboratório de Saneamento de acordo com a norma ASTM D 3838-80 (1999).

Cerca de 10 g de pó de serragem foram colocados em contato com 100 mL de água destilada deionizada, a qual foi aquecida à aproximadamente 90°C e agitada por 15 minutos \pm 10 s. Em seguida, filtrou-se a solução com papel filtro e deixou-a esfriar até a temperatura de 50 \pm 5°C e mediu-se o pH em pHmetro.

4.1.2 Densidade Aparente

A determinação da densidade aparente das amostras de pó de serragem de MDF e de madeirite foi realizada em triplicata no Laboratório de Saneamento de acordo com a NBR 12076-91.

Esta determinação foi feita com secagem, inicialmente, em estufa, na temperatura de 130 \pm 5°C, de massa de pó de serragem suficiente para encher uma proveta de 100 mL (durante um período de 3 horas). Após o resfriamento da amostra e da proveta em dessecador até a temperatura ambiente, a massa da proveta foi determinada e anotado o valor. Preencheu-se a proveta com serragem até a marca de 100 mL (100 cm³) e foi determinada sua massa. O valor medido foi subtraído pela massa da proveta para obter a massa do pó de serragem.

O fundo da proveta foi batido em superfície de madeira até a compactação do volume do pó de serragem. Anotou-se o volume correspondente ao nível ocupado pelo pó de serragem (mL) após a compactação e foi feito o cálculo de densidade aparente por meio da Equação 1.

$$\rho_a = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

ρ_a = Densidade aparente (g/mL ou g/cm³);

M1 = massa da proveta (g);

M2 = Massa do pó de serragem somada a massa da proveta (g);

V = Volume determinado após a compactação do pó de serragem (mL ou cm³).

4.1.3 Densidade Específica

A determinação da densidade específica das amostras de pó de serragem de MDF e de madeirite foi realizada em triplicata no Laboratório de Materiais de acordo com a NBR NM 23-2001.

Este ensaio foi realizado com adição de querosene até a primeira faixa de marcação, entre zero em um frasco de Le Chatelier. Foi feita a primeira leitura (V_1) com precisão de 0,1, medida em cm^3 . A massa de 25 g de pó de serragem foi colocada lentamente com o auxílio de um funil para deslocar o volume do líquido compreendido entre as marcas de 18 a 24 cm^3 da escala graduada do frasco. O frasco de Le Chatelier foi agitado levemente para eliminar as bolhas de ar e foi feita a segunda leitura (V_2). A massa específica do material foi calculada pela Equação 2.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

ρ = Densidade específica (g/cm^3);

M = massa do material adsorvente (g);

V = Volume deslocado pela massa do material ensaiado ($V_2 - V_1$) (cm^3).

4.1.4 Teor de Umidade

A determinação do teor de umidade das amostras de pó de serragem de MDF e de madeirite foi realizada em triplicata no Laboratório de Saneamento de acordo com o método de secagem em estufa da norma ASTM D 2867-04.

Na norma ASTM D 2867-4 é estabelecido que deve-se pesar de 1 a 2 g do material quando o mesmo não passar em peneira n° 50 (correspondente à abertura de 48 mesh ou 0,3 mm, segundo ABNT/ASTM) e de 5 a 10 g do material quando não passar por ela. Portanto, foram pesados 2 g de pó de serragem de MDF e 5 g do pó de serragem de madeirite em béqueres de 50 mL, previamente tarados em balança analítica, e anotadas as massas dos béqueres, das amostras de serragem e dos dois juntos.

Em seguida, os béqueres foram colocados na estufa a temperatura de $150^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ por período de 3 horas. Após esse período, as amostras foram

retiradas da estufa, resfriadas em dessecador com sílica gel até atingirem a temperatura ambiente e pesadas para ser efetuado o cálculo de determinação do teor de umidade conforme a Equação 3.

$$TU(\%) = \frac{(B-C)}{(B-A)} \cdot 100 \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

TU = Teor de umidade (%);

A = Massa do recipiente (g);

B = Massa do recipiente com a amostra original (g);

C = Massa do recipiente com a amostra seca (g).

4.1.5 Ensaio de Granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado em duplicata no Laboratório de Agregados da UTFPR de acordo com a NBR NM 248 (2003).

Uma massa de aproximadamente 50 g de cada pó de serragem foi colocada na estufa à temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Segundo a norma, a quantidade tem que ser tal que evite a formação de uma camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras. As massas das peneiras foram determinadas quando estas estavam vazias e posteriormente foi montado um conjunto único de peneiras, previamente limpas, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo de 0,15 à 4,76 mm. Após resfriamento do conjunto a temperatura ambiente, foi colocada a amostra do material na peneira superior de modo a evitar a formação de uma camada espessa sobre a peneira.

O conjunto de peneiras foi colocado em peneirador eletromecânico marca Comenco, durante 7 minutos. Após esse período, o conjunto foi retirado do peneirador e determinada a massa de cada peneira com o material que nela ficou retido.

Com os resultados foi plotado o gráfico da porcentagem de massa acumulada retida nas peneiras pela abertura das peneiras.

A porcentagem de massa retida acumulada na peneira foi calculado de acordo com a Equação 4.

$$RA (\%) = \frac{(B-A)}{(C)} \cdot 100 + D \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

RA = Retenção acumulada (%);

A = Massa do recipiente (g);

B = Massa do recipiente com a amostra retida naquela peneira (g);

C = Massa total de adsorvente (g);

D = Porcentagem de retenção da peneira anterior (%).

4.2 ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Os ensaios de adsorção foram realizados em duplicata no Laboratório de Saneamento da UTFPR de acordo com a metodologia proposta por Strohër (2010).

Para simular o teor de tinta do efluente têxtil, foi utilizada solução com corante azul de metileno ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) em pó da marca Quemis, na concentração de 0,15 g/L.

A solução com corante azul de metileno e a massa de cada material adsorvente foram colocadas no equipamento de *Jar Test* da marca PoliControl, modelo FlocControl II em rotação de 120 rpm a temperatura ambiente durante 150 min.

Alíquotas de 5 mL foram coletadas de cada jarro, em duplicata, em intervalos de tempo de 15, 30, 60, 90, 120 e 150 minutos. Após a coleta, foi feita leitura da absorbância das amostras no espectrofotômetro Femto, modelo 600 Plus com comprimento de onda de 396 nm, previamente calibrado com água.

4.2.1 Adsorção com Variação da Massa de Adsorvente

Para avaliar o efeito da variação da massa dos materiais adsorventes, foram preparadas soluções padrão com o corante em temperatura ambiente e pH conhecido (7,5) e foram pesadas amostras de 1, 2, 3, 4, 5 e 6 g de cada material adsorvente.

Em cada ensaio foram colocados 1 L da solução aquosa contendo corante e massa de adsorvente variando de 1,0 a 6,0 g em cada um dos 6 recipientes nos recipientes do equipamento de *Jar Test*.

A cada intervalo de tempo, após o início do ensaio, foram retiradas duas alíquotas de 5 mL de cada jarro e feita a leitura da absorbância no espectrofotômetro Femto, modelo 600 Plus com comprimento de onda de 396 nm, previamente calibrado com água.

Três ensaios foram realizados com cada material adsorvente, ou seja, pó de serragem de MDF, pó de serragem de madeirite e carvão ativado granular.

4.2.2 Adsorção com Variação do pH

Para avaliar o efeito da variação do pH, foram preparadas soluções padrão com o corante em temperatura ambiente, massa de adsorvente de 6 g e variação do pH para 5,5, 6,5, 7,5, 8,5, 9,5 e 10,5. Como a solução água/corante tem pH 7,5, não foi necessário realizar o experimento com este pH. Foi escolhida a massa constante de 6 g, pois esta massa foi a que apresentou maior eficiência.

Para realizar as correções de pH foram utilizadas solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de concentração 0,051 M para diminuir o pH e solução de hidróxido de sódio (NaOH) de concentração 0,0049 M para aumentar o pH. O pHmetro utilizado foi o de marca Phteck.

A cada intervalo de tempo, após o início do ensaio, foram retiradas duas alíquotas de 5 mL de cada jarro e feita a leitura da absorbância no espectrofotômetro Femto, modelo 600 Plus com comprimento de onda de 396 nm, previamente calibrado com água.

Três ensaios foram realizados com cada material adsorvente, ou seja, pó de serragem de MDF, pó de serragem de madeirite e carvão ativado granular.

4.2.3 Eficiência da Remoção de Corante

Para avaliar variação da concentração do corante pelo tempo de ensaio foi feita a curva de calibração do corante azul de metileno para o comprimento de onda de 396 nm, previamente determinado na varredura da solução de 0,15 g/L.

Na Figura 2 é apresentado o ajuste linear da curva de calibração que relaciona a concentração do corante azul de metileno e a absorbância lida no espectrofômetro.

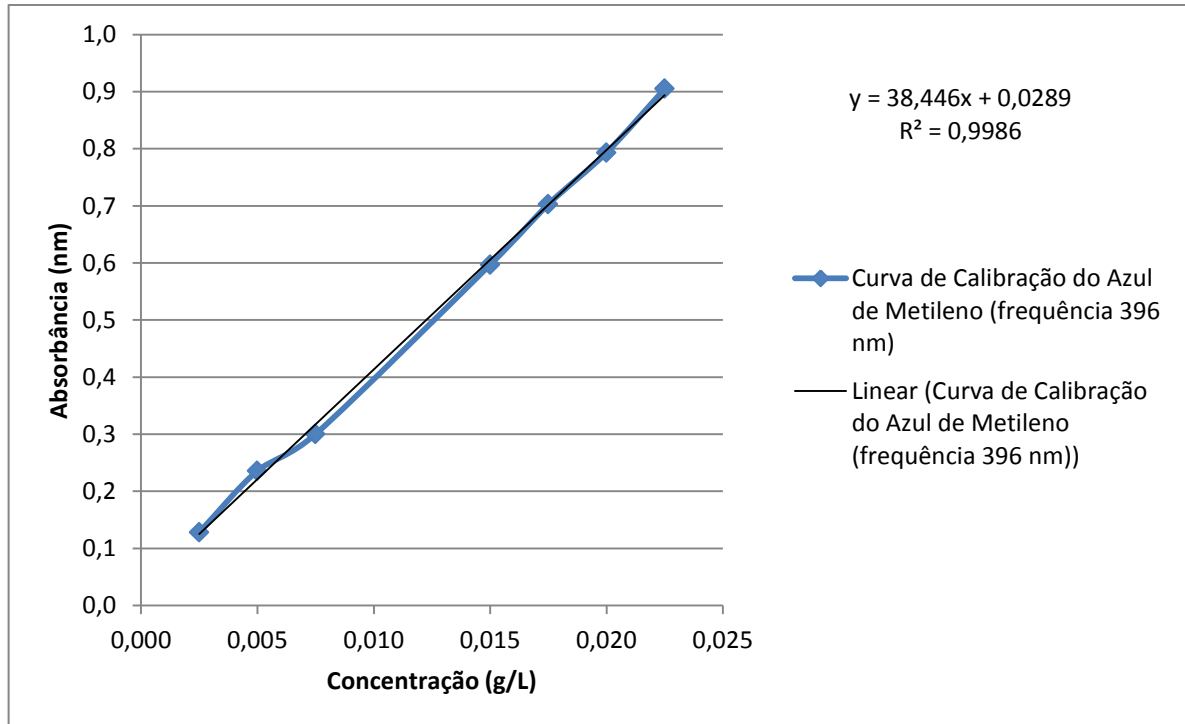


Figura 2 – Curva de calibração do corante azul de metileno (396 nm)

4.3.4 Cinética de Adsorção

A constante cinética de adsorção de pseudo-primeira ordem de Lagergren foi avaliada com as massas de 1 a 6 g de adsorvente em contato com 1 L da solução de azul de metileno por 150 minutos. Os resultados da concentração do corante foram aplicados no modelo cinético de pseudo-primeira ordem de Lagergren de acordo com a Equação 5, utilizada por Yan & Viraraghavan (2003):

$$\log(qe - qt) = \log qe - \frac{k_1}{2,203} t \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

q_t = Capacidade de adsorção em um tempo t (mg/g);

q_e = Capacidade de adsorção no equilíbrio (mg/g);

k_1 = Constante cinética de pseudo-primeira ordem de adsorção (1/min).

Os mesmos dados foram utilizados no ajuste do modelo cinético de pseudo-segunda ordem de Lagergren, de acordo com a Equação 6:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} \cdot t \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

k_2 = Constante cinética de pseudo-segunda ordem de adsorção (mg/g.min).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados em 3 partes: caracterização do pó de serragem de MDF, madeirite e de carvão ativado granular, resultados da remoção do corante em função da variação de massa e do pH.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE SERRAGEM

Os resultados da caracterização físico-química do pó de serragem de MDF e de madeirite e do carvão ativado granular foram obtidos pela média dos resultados dos ensaios (Tabela 6).

TABELA 6 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CARVÃO ATIVADO E DO PÓ DE SERRAGEM DE MDF E MADEIRITE

Característica	Carvão ativado granular	MDF	Madeirite
pH	6,7 ± 0,08	4,92 ± 0,07	7,08 ± 0,02
Teor de umidade (%)	9 ± 0,01	12,7 ± 3,56	27,2 ± 0,53
Densidade aparente (g/mL)	0,63 ± 0,01	0,226 ± 0,01	0,152 ± 0,001
Densidade específica (g/mL)	-	1,425 ± 0,05	1,401 ± 0,03

Os valores apresentados do parâmetro pH indicam acidez para o pó de serragem de MDF e neutro para o pó de serragem de madeirite. Segundo Kollmann (1959), a madeira é descrita com pH variando de 3,3 a 6,5. Antunes *et al.* (2012) verificaram pH do pó de serragem de madeira de 4,4; Garg *et al.* (2004) obtiveram faixa de pH para o pó de serragem de 6,5 a 7,5. Ikeno (2013) observou pH de 4,1 para o mesmo material adsorvente.

Como o corante azul de metileno é considerado básico, sua reação com adsorventes ácidos torna-o susceptível a maior interação, principalmente na sua superfície, quando a adsorção do complexo doador-receptor ocorre principalmente na superfície dos meso e microporos (TERZYK, 2003).

Considerando o teor de umidade, é possível notar que o madeirite ($27,2 \pm 0,53\%$) possui mais que o dobro do valor do MDF ($12,7 \pm 3,56\%$), e também é maior do que o do carvão ativado ($9 \pm 0,01\%$), ou seja, o madeirite foi o material mais poroso e provavelmente proporcionou maior retenção de líquido em seu interior. Estes valores apresentados são superiores aos encontrados por Garg *et al.* (2004) de 3,82% para o pó de serragem de *Dalbergia sissoo* tratada com ácido sulfúrico e 3% para o carvão ativado. Ikeno (2013) obteve teor de umidade de $11 \pm 1,0\%$, similar aos da serragem de MDF e madeirite deste trabalho.

Uma provável razão para a maior umidade do madeirite é a que por ter sido coletado *in loco* na cidade de Curitiba que possui elevada umidade.

A densidade aparente foi maior no MDF ($0,226 \pm 0,01$ g/mL) do que no madeirite ($0,152 \pm 0,001$ g/mL). Garg *et al.* (2004) obtiveram densidade aparente de 1,45 g/mL para pó de serragem de *Indian Rosewood*. Para o carvão ativado utilizado neste trabalho, o resultado obtido de $0,63 \pm 0,01$ g/mL foi superior aos verificados para os dois tipos de pó de serragem. Loureiro (2012) e Ikeno (2013) obtiveram densidade aparente de 0,62 g/mL e $6,15 \pm 0,53$ g/mL, respectivamente, ou seja, valores superiores aos encontrados neste trabalho.

Na Figura 3 é mostrada a porcentagem de retenção acumulada nas peneiras de 0,15 a 4,76 mm através das curvas do ensaio de granulometria do pó de serragem de MDF e de madeirite.

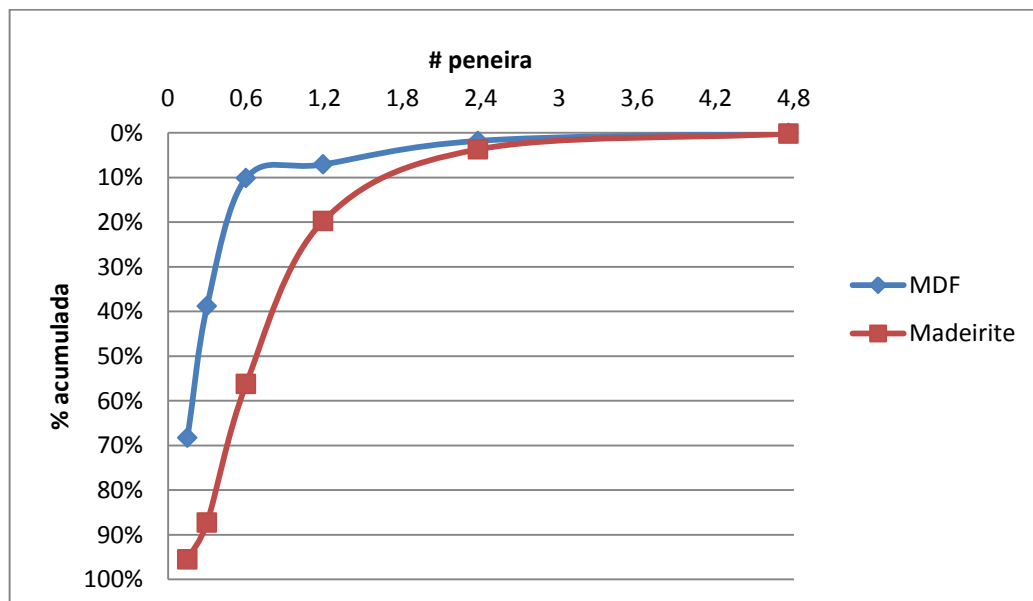


Figura 3 – Curva granulométrica do pó de serragem de madeirite e de MDF.

Pela Figura 3 é possível notar que a granulometria do pó de serragem de MDF apresentou maior porcentagem de retenção (média de 61%) entre a peneira de abertura 0,15 mm e o fundo. O pó de serragem de madeirite apresentou maior porcentagem de retenção (média de 34%) entre as peneiras de abertura 0,3 e 0,6 mm.

5.2 VARIAÇÃO DA MASSA DE ADSORVENTE

Na Figura 4 é apresentada a variação da remoção de corante azul de metileno em função da massa do adsorvente e do tempo para os diferentes tipos de adsorventes: pó de serragem de MDF, de madeirite e carvão ativado granular.

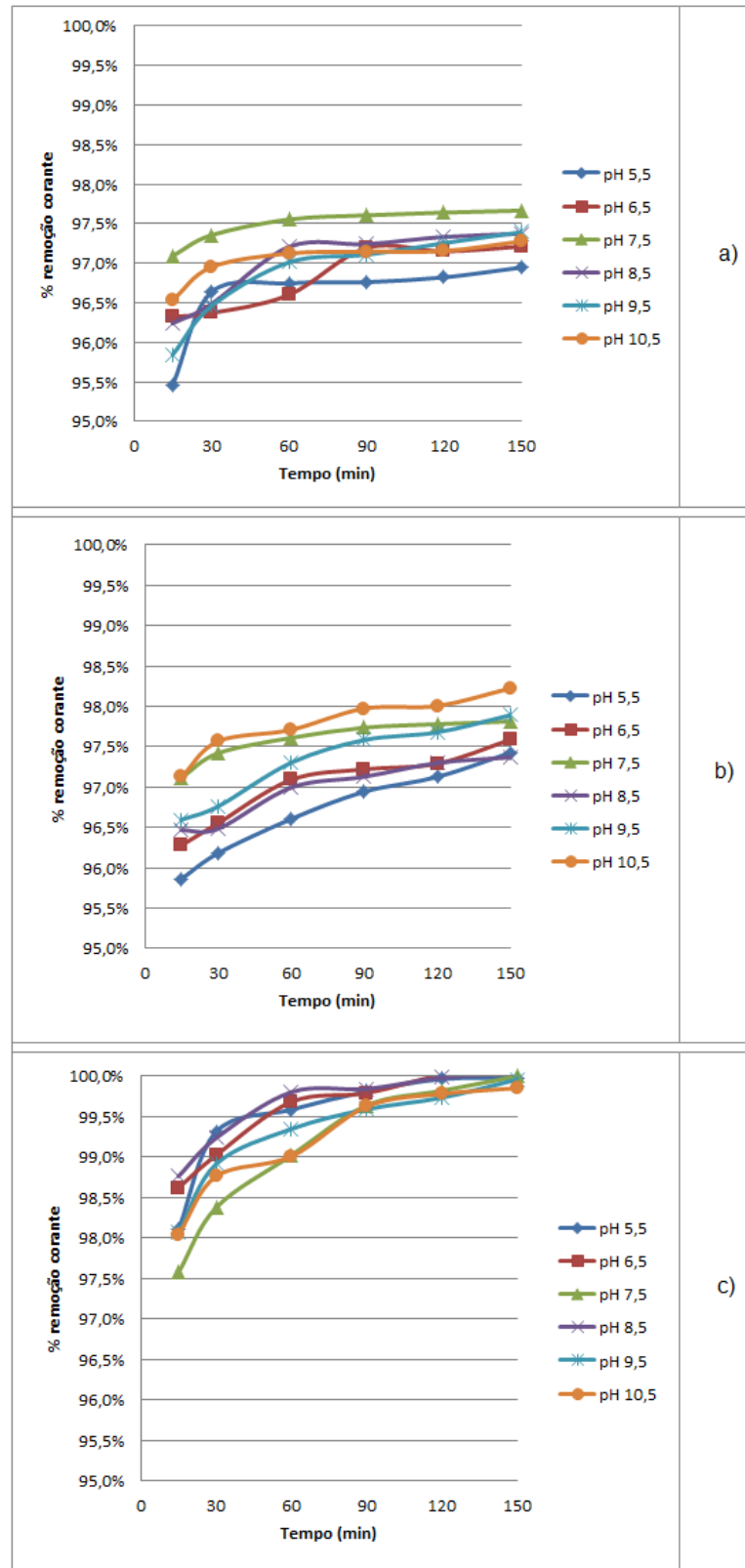


Figura 4 – Eficiência da remoção do corante pelo tempo para variação de massa para: pó de serragem de MDF (a); pó de serragem de madeirite (b); carvão ativado granular (c).

Na Figura 4 pode-se notar que, independentemente do tipo de adsorvente, os melhores resultados de remoção do corante foram obtidos com o aumento da massa de adsorvente. As maiores remoções no final dos 150 minutos aconteceram com a massa de 6 g de adsorvente para a serragem de MDF (98,2%), de madeirite (97,9%) e para o carvão ativado (aproximadamente 100%).

No experimento de Garg *et al.* (2004) o resultado foi semelhante, pois os autores notaram aumento da remoção de corante com o aumento da massa de adsorvente tanto para o pó de serragem *Indian Rosewood* quanto para o carvão ativado.

Geçgel *et al.* (2012) utilizaram o mesmo corante para adsorção com carvão ativado de casca de ervilha e encontraram aumento de 33,58% para 99,41% de remoção com aumento de massa de adsorvente de 0,05 g para 0,2 g.

O aumento da adsorção com o aumento da massa de adsorvente pode ser atribuído ao aumento da superfície de contato e pela disponibilidade de espaços livres para reter o corante. Isto também justifica a melhor eficiência do pó de serragem de MDF em relação ao de madeirite, como mostrado na Figura 5, pois o pó de serragem de MDF possui granulometria mais fina, tendo maior superfície de contato, gerando em média melhor remoção de corante de 1 ponto percentual. Ikeno (2013) também obteve melhor remoção para a maior massa de adsorvente.

Na Figura 5 é apresentada a eficiência da remoção do corante pelo tempo para pH 7,5 e massa de 6 g de adsorvente para o pó de serragem de MDF, madeirite e carvão ativado.

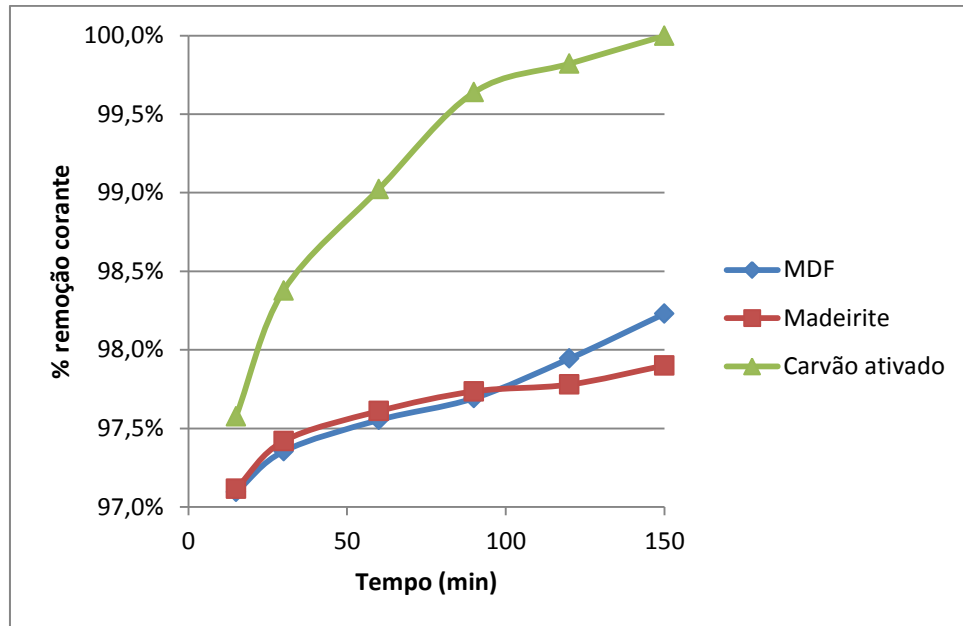


Figura 5 – Eficiência da remoção do corante pelo tempo para pH 7,5 e 6 g de adsorvente para o pó de serragem de MDF, madeirite e carvão ativado

5.3 VARIAÇÃO DO pH

A variação do pH da amostra foi realizada para investigar se há influência na remoção do corante nos ensaios. Na Figura 6 é apresentada a variação da remoção de corante azul de metileno em função do tempo e do pH em 5,5, 6,5, 7,5, 8,5, 9,5 e 10,5 com massa de 6 g de para pó de serragem de MDF e de madeirite e de carvão ativado granular.

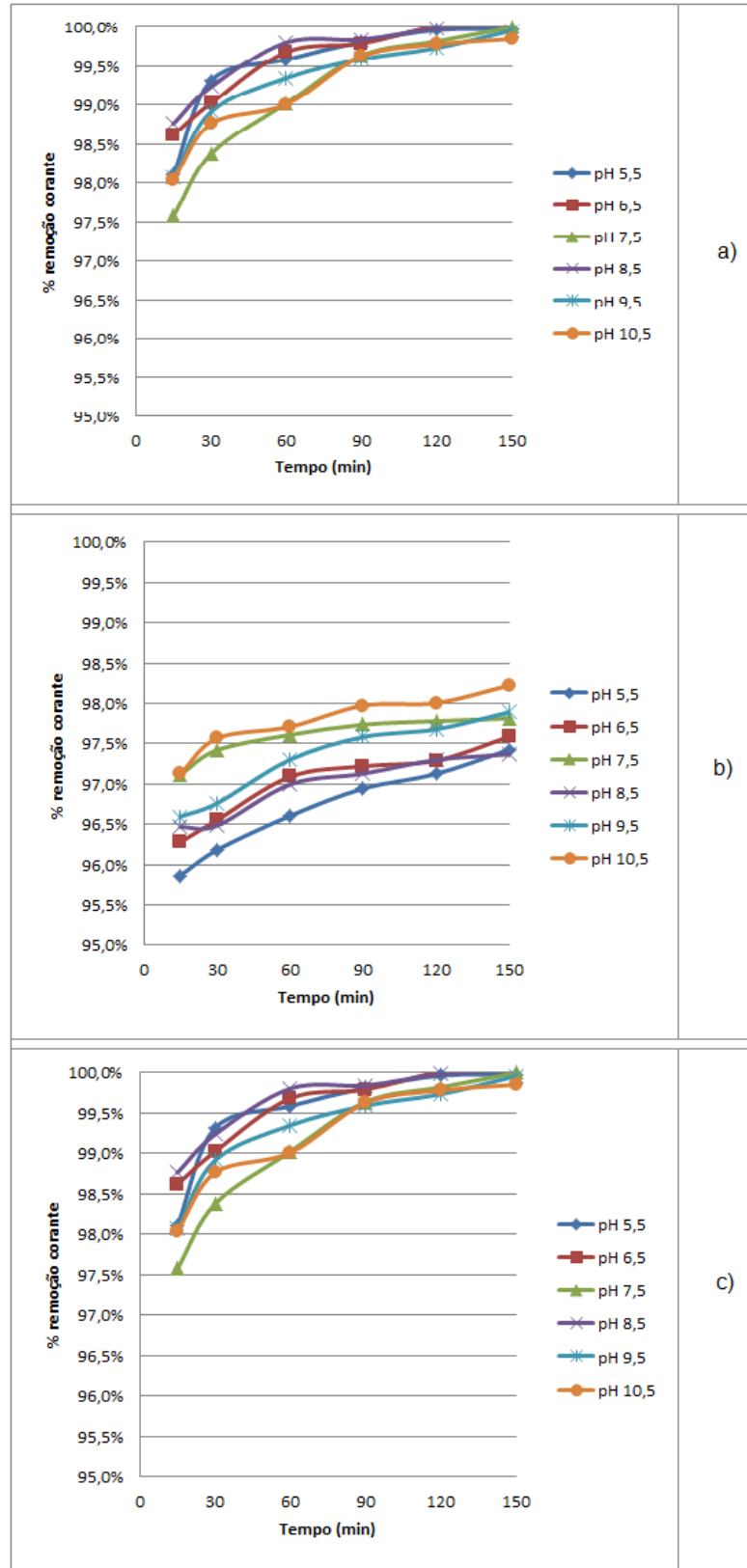


Figura 6 – Eficiência da remoção do corante pelo tempo para variação de pH para pó de serragem de MDF (a); pó de serragem de madeirite (b); carvão ativado granular (c).

Na Figura 6 pode-se notar que o melhor resultado de remoção do corante para o pó de serragem de MDF foi obtido com pH 7,5, com eficiência de 97,7% nos 150 minutos. Com o pó de serragem de madeirite, o melhor resultado foi obtido com pH 10,5 com eficiência de 98,2% nos 150 minutos. Com o carvão ativado granular, todas as amostras alcançaram 100% de remoção de corante nos 150 minutos, porém o que se manteve sempre com aumento da eficiência superior aos outros durante todo o tempo foi pH 7,5.

Garg *et al.* (2004) utilizaram o corante azul de metileno e obtiveram melhor eficiência em pH 7,0 para o pó de serragem *Indian Rosewood* e para o carvão ativado. Ikeno (2013) notou melhores resultados em pH 7,5, com 78,7% de remoção nos 150 minutos. Matos *et al.* (2011) estudaram o processo de adsorção do corante verde brilhante sobre ligno-celulose proveniente do talo de açaí e obtiveram melhor remoção com pH 9,0. Assim, é possível notar que a influência do pH depende do tipo de material adsorvente e do corante utilizado. Na Tabela 7 é mostrada a correlação entre o pH encontrado nos ensaios físico-químicos dos materiais adsorventes e o pH ótimo obtido nos ensaios de adsorção.

TABELA 7 - RELAÇÃO ENTRE PH DO ADSORVENTE E PH ÓTIMO DE ADSORÇÃO

Adsorvente	pH		pH ótimo	
MDF	6,7 ± 0,08	Neutro	7,5	Neutro
Madeirite	4,92 ± 0,07	Ácido	10,5	Básico
Carvão	7,08 ± 0,02	Neutro	7,5	Neutro

5.4 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

Os resultados obtidos para as constantes cinéticas de pseudo-primeira ordem (k1) de Lagergren e de pseudo-segunda ordem (k2) e seus respectivos coeficientes de correlação (R²) são apresentados na Tabela 8.

TABELA 8– PARÂMETROS DOS MODELOS CINÉTICOS DE PSEUDO-PRIMEIRA ORDEM E DE PSEUDO-SEGUNDA ORDEM PARA REMOÇÃO DO AZUL DE METILENO

Adsorvente	Massa (g)	k1 (1/min)	R ²	k2 (mg/g.min)	R ²
MDF	1 g	0,0316	0,4774	0,0366	1,0000
	2 g	0,0500	0,7257	0,0514	1,0000
	3 g	0,0474	0,7052	0,0462	1,0000
	4 g	0,0311	0,4057	0,0420	1,0000
	5 g	0,0350	0,4870	0,0578	1,0000
	6 g	0,0332	0,5241	0,0330	1,0000
Madeirite	1 g	0,0263	0,3949	0,0476	1,0000
	2 g	0,0387	0,5431	0,0680	1,0000
	3 g	0,0449	0,6590	0,0529	1,0000
	4 g	0,0484	0,7121	0,0514	1,0000
	5 g	0,0470	0,6644	0,0578	1,0000
	6 g	0,0408	0,5799	0,0578	1,0000
Carvão ativado granular	1 g	0,0263	0,3970	0,0476	1,0000
	2 g	0,0332	0,5677	0,0231	1,0000
	3 g	0,0442	0,7627	0,0185	1,0000
	4 g	0,0401	0,7294	0,0160	1,0000
	5 g	0,0447	0,7849	0,0578	1,0000
	6 g	0,0412	0,7411	0,0187	1,0000

Na Tabela 8 é possível notar que o melhor ajuste dos dados experimentais foi o do modelo de pseudo-segunda ordem de Lagergren para velocidade da adsorção, com valores médios de k2 de 0,0445, 0,0559 e 0,0303 para pó de serragem de MDF, madeirite e carvão ativado, respectivamente.

Ikeno (2013) encontrou para o ajuste de pseudo-primeira ordem valor médio de 0,036 1/min para o valor de k1, com valor de R2 médio de 0,912, valor bem próximo à 1, próximo ao valor encontrado no presente trabalho. Porpino (2009) encontrou 0,00161 1/min para a cinética de pseudo-primeira ordem e 0,00568 mg/g.min para a cinética de pseudo-segunda ordem para adsorção de Ferro (III) com casca de caranguejo.

6 CONCLUSÃO

Com este trabalho de conclusão de curso foi possível definir que o pó de serragem de MDF e de madeirite se mostraram satisfatórios, de acordo com os resultados obtidos nos ensaios, em substituição do carvão ativado.

A caracterização físico-química dos materiais adsorventes contribuiu para compreender o processo de remoção do corante. O pó de serragem de MDF teve caráter ácido ($4,92 \pm 0,07$), característica que pode indicar melhor reação química com o corante azul de metileno de caráter básico. O pó de serragem de madeirite tem caráter praticamente neutro ($7,08 \pm 0,02$), assim como o carvão ativado ($6,7 \pm 0,08$).

Foi verificado também que o aumento da massa de adsorvente contribui para o aumento da adsorção nos três casos. Quanto ao pH pode-se notar algumas divergências: O pó de serragem de MDF teve sua melhor performance quando submetido em soluções mais neutras, enquanto o madeirite é mais eficiente em ambientes básicos. O carvão ativado apresentou adsorção mais rápida em meio neutro, com pH próximo a 7,5.

Quanto ao teor de umidade, nota-se que os materiais menos úmidos possuem maior capacidade de adsorção, pois, provavelmente, devido ao fato que as massas foram determinadas com o pó de serragem úmido antes dos ensaios, ou seja, a massa de água contida dentro dos espaços vazios do pó deles também foi determinada. Assim as amostras mais úmidas tiveram menor massa de adsorvente e com isso menos superfície de contato.

O ajuste cinético de adsorção pelo modelo de pseudo-segunda ordem de Lagergren foi melhor no pó de serragem de madeirite, com maior velocidade na remoção do corante azul de metileno, seguido do pó de serragem de MDF e do carvão ativado granular.

Os ensaios de adsorção demonstraram a eficiência do pó de serragem de MDF e madeirite em comparação com o carvão ativado, adsorvente mais utilizado atualmente. A eficiência do carvão ativado para 6 g de adsorvente e pH de 7,5 (100%) se mostrou maior do que as do pó de serragem de MDF (98,2%) e de madeirite (97,9%).

Pode-se concluir que a adsorção do corante azul de metileno em solução aquosa com o pó de serragem de MDF e de madeirite é viável, considerando que é um resíduo facilmente encontrado, com menor custo em comparação ao carvão ativado.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- fazer experimentos com materiais de granulometria mais fina para que possam avaliar se a maior redução do tamanho das partículas continua a melhorar a adsorção;
- controlar ou ajustar o pH dos materiais para facilitar a comparação entre eles;
- executar os experimentos com equipamentos que possam manter a temperatura da solução perto da temperatura dos efluentes têxteis, assim os ensaios se tornariam mais semelhantes a aplicação real;
- fazer os mesmos experimentos com adsorbatos diferentes para identificar com quais deles o pó de serragem possui maior afinidade e;
- melhorar o estudo sobre cinética de adsorção em materiais adsorventes alternativos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPA, **Produtos e Tecnologia: MDF.** Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDF.php>>. Acesso em: 29 set. 2013.

ABIT, **Panorama do Setor Têxtil e de Confecções.** Disponível em: < http://abit.org.br/abitonline/2011/06_07/apresentacao.pdf>. Acesso em: 01 out 2013.

AMORIM, C.C. et al. **Remoção de corantes têxteis através da adsorção em resíduos do alto forno da indústria siderúrgica.** ..Anais In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte –MG, 2007.

AMIT, Bhatnagar; MIKA, Sillanpää. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. **Chemical Engineering Journal.** v.157, 277-296, 2010.

ANTUNES, Maria Lucia Pereira; CAMARGO, Stefan Rodrigues Guedes de; JESUS, Carolina Petrisin de; RUSSO, Ana Carolina. **Estudo da utilização de Serragem de Madeira Como Adsorvente Para Tratamento de Efluentes Têxteis.** Sorocaba. Estudos Ambientais. v. 12, n. 12 p 6-14, jul/dez. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800:** Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 12076:** Carvão Ativado Pulverizado – Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 248**: Agregado – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2867-04**: Standard Test Method for Moisture in activated Carbon. 2004.

_____. **ASTM D 3838-80**: Standard Test Method for pH of Activated Carbon. 1999.

BARBOSA, Marisa; JUNIOR, Sebastião; FREITAS, Benedito. **Comércio exterior brasileiro de têxteis e confecções: a contribuição da fibra de algodão**. 2009.

BELTRAME, Leocádia T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. 2000, 161p. Tese - Mestrado em Engenharia Química – UFRN. Natal, 2000.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Volume 2. 2ª edição. São Carlos: RiMa, 2005.

BRASIL. Resolução nº 430 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mai. 2011.

BRASIL. Portaria nº 2914/2011 do mês de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mai. 2011.

BRAILE, Pedro M.; CAVALCANTI, José E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 1º edição. São Paulo: CETESB, 1993.

CONCEIÇÃO, Vinicius; FREIRE, Flavio B., CARVALHO, Karina Q. Treatment of textile effluent containing indigo blue dye by a UASB reactor coupled with pottery clay adsorption. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 35, n. 1, p. 53-58, Jan-Mar., 2013.

CAVALCANTI, José E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 1ª edição. São Paulo: Engenho Editora, 2009.

CETESB, **Variáveis de qualidade das águas**. Disponível em:

<<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/34-variaveis-de-qualidade-das-aguas---old#>>. Acesso em: 09 abr. 2013.

CRINI, Grégorio. **Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review**. *Bioresource Technology*. Vol 97, n. 9, p.1061-1085, 2005.

DALLAGO, R.M., SMANIOTTO, A., OLIVEIRA, L.C. A. **Resíduos sólidos de curtume como adsorventes para a remoção de corante em meio aquoso**. *Química Nova*, v.28, p. 433, 2005.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água. Volume 2**. ABES, 1566 p. 2 ed, 2005.

FABRÍCIO, Tailena Naiara R.; BRAGA, Marylia A.; GOMES, Thamara Rosy; VASCONCELOS, Ana Karine P.; AQUINO, Marisete Dantas de; ARAÚJO, Rinaldo. **Produção de Biossurfactante e Biodegradação no Cultivo de Geobacillus Stearothermophilus com Corante Azul de Metileno**. Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 5., 2010, Maceió. Fortaleza, 2009. Disponível em: <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/view/1280>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

FRANCO, Luciana C. A. C. **Gestão dos efluentes das indústrias têxteis e os princípios da responsabilidade social em Sergipe, 2008**. 2009. 90f. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) – Universidade Tiradentes, Aracaju, 2009.

GARG, V. K.; MOIRANGTHEM, Amita, RAKESH, Kumar; RENUKA, Gupta. Basic dye (methylene blue) removal from simulated wastewater by adsorption using Indian

Rosewood sawdust: a timber industry waste. India, **Dyes and pigments** 63 p. 243-250, 2004.

GEÇGEL, Unal. OZCAN, Gulce, GURPINAR, Gizem Cagla. **Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Activated Carbon Prepared from Pea Shells (*Pisum sativum*)**. 2012. 10p. Journal of Chemistry, volume 2013, article ID 614083, 9 p.

GUARATINI, Claudia C. I.; ZANONI, Maria V. B. **Corantes Têxteis**. Química Nova, v. 23, p 71-78, 2000.

GUIMARÃES, Ulisses. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos**. São Paulo: Labsynth, 2009.

HARRELKAS, F.; AZIZI, A.; YAACOUBI, A.; BENHAMMOU, A.; PONS, M. N. **Treatment of textile dye effluents using coagulation-flocculation coupled with membrane processes or adsorption on powered activated carbon**. Desalination, v. 235, n1-3, p. 330-339, 2009.

IKENO, Daniel S. **Remoção de azul de metileno de efluente têxtil sintético por adsorção usando pó de serragem do gênero *Pinus sp.*** 2013. 60f. TCC - Campo Mourão, 2013.

IMMICH, A. P. S. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de *Azadirachta indica* como adsorvente**. Dissertação (mestrado em engenharia química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2006.

INGLEZAKIS, Vassilis; POULOPOULOS, Stravos. **Adsorption, ion exchange and catalysis: Design of operations and environmental applications**. 1ª edição. Amsterdam: Elsevier, 2006.

KANNAN, Nagarethinam; SUNDARAM, Mariappan Meenakshi. **Kinetics And Mechanism Of Removal Of Methylene Blue By Adsorption On Various Carbons**

– **A Comparative Study**. Tamil Nadu. Dyes and Pigments. v. 51, n. 2001, p 25-40, ago. 2001.

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

LIMA, A. L. **Degradação de corantes têxteis por bactérias**. São João da Boa Vista: Centro Universitário da Fundação de Ensino Octávio Bastos, 2004.

LIN, Sheng. H.; **Adsorption of Disperse Dye by Various Adsorbents**. J.Chem. Tech. Biotechnol. p 58-163. 1993.

LOUREIRO, Lorena F.; **Avaliação da adsorção do herbicida 2,4-D em carvão ativado em pó e granular por meio de análise de isothermas de adsorção utilizando diferentes qualidades de água**. 2012. 129f. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2012.

MATOS, N.; RODRIGUES, H.; ARAÚJO JR., E.; MOURA, J.; SILVA FILHO, E.; CLÁUDIO LIMA; ALENCAR, W. **Estudo do pH no processo de remoção do corante Verde Brilhante sobre Ligno-Celulose em solução aquosa**. Artigo 52º Congresso Brasileiro de Química. 2011.

MERCK MILLIPORE. 159270. **Azul de metileno** (C.I. 52015) (Darmstadt, Germany).

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4ª edição. New York: McGraw-Hill. 2004.

MORAIS, L.C. et al. **Reactive dyes removal from wastewaters by adsorption on eucalyptus bark: variables that define the process**. Water Research, v.33, p.979-988, 1999.

PERES, C. S.; ABRAHÃO, A. J. **Características e sistemas de tratamento de águas residuais das indústrias têxteis – uma primeira abordagem.** Química têxtil, São Paulo: ABQCT, v. 52, p. 22-39, 1998.

POGGERE, Paula A.; DAVIS, Rafael; MONTANHER, Silvana F.; LOBO, Viviane S. **Azul de metileno: propriedades e tratamentos.** Encontro de divulgação científica e tecnológica. UTFPR, Toledo, 2011.

PORPINO, K. **Biossorção de Ferro (II) por Casca de Caranguejo *Ucides Cordatus*.** 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2009.

RAMAKRISHNA, K. R., VIRARAGHAVAN, T. **Dye removal using low-cost adsorbents.** Water. Science. Technology., vol. 36, p.189–196. 1997.

ROYER, B. **Remoção de corantes têxteis utilizando casca de semente de *Araucária Angustifolia* como biossorvente.** Dissertação (mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2007.

SANIN, L. B. B. A. **A indústria têxtil e o meio ambiente.** Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, v. 46, p. 13-34, 1997.

SANTANA, Caroline Martins. **Estudo da degradação de corante têxtil em matrizes aquosas por meio de processos oxidativos avançados $O_3-H_2O_2/UV$ e foto-fenton.** 2010, 120p. Tese - Mestrado em Engenharia Química – USP, São Paulo, 2010.

SILVA FILHO, Ernesto B. da; ALVES, Maria C. M.; MOTTA, Maurício da; OLIVEIRA, Heveline H. da C.; JUNIOR, Walter B. **Estudo sobre a utilização da lama vermelha para a remoção de corantes em efluentes têxteis.** 2008. Química Nova, Vol. 31, N°5, 2008. ET AL., 2008.

SOARES, José Luciano. **Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas**. 1998. 100p. Dissertação - Pós-graduação em Engenharia Química – UFSC, Florianópolis, 1998.

SPERLING, Marcos von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª edição. Belo Horizonte: UFMG. 2005.

STAMATO, Guilherme Corrêa; JUNIOR, Carlito Calil. **Resistência ao embutimento da madeira compensada**. 2002. 28p. Caderno de Engenharia de Estruturas. São Carlos: USP. 2002.

STRÖHER, Ana Paula; **Tratamento Por Adsorção Em Bagaço De Laranja De Um Efluente Da Indústria Têxtil**. 2010. 62f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá – PEQ. 2010.

TERZYK, Artur P; **Further Insights Into The Role Of Carbon Surface Functionalities In The Mechanism Of Phenol Adsorption**. Torún. Journal of Colloid and Interface Science, v. 268, n. 2003, p 301-329. jun/2003.

TREVIZANI, Jéssica L. B. **Tratamento de efluente têxtil pelo processo de ozonização**. 2012. 64f. TCC – UTFPR, Campo Mourão, 2012.

ZAMORA, Patricio P.; KUNZ, Airton; MORAES, Sandra G.; DURÁN, Nelson. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Química Nova, Vol. 25, N°1, p. 78-82, 2002.

ZANOTELLI, C. T.; MEDEIROS, R.; DESTEFANI, A.; MIRANDA, L. M.; MORATELLI JR, A.; FISCHER, M. **Sistema de tratamento de efluentes da indústria têxtil**. UNIVILLE, Joinville.

YAN, Guangyu; VIRARAGHAVAN, Thiruvengkatachari. Heavy-metal Removal From Aqueous Solution by Fungus *Mucor rouxii*. Sask. **Water Research**, v. 37, n. 2003, p. 4489-4491, jul. 2003.