



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
FACULDADE DE QUÍMICA

ROMEU NICKOLAS SILVA DO CARMO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA PLANTA AGUAPÉ COMO BIODISSORVENTE:
REMOÇÃO DE Ni⁺² EM SOLUÇÃO AQUOSA**

MARABÁ - PARÁ

2017

ROMEU NICKOLAS SILVA DO CARMO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA PLANTA AGUAPÉ COMO BIODISSORVENTE:
REMOÇÃO DE Ni⁺² EM SOLUÇÃO AQUOSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciatura Plena em Química, Faculdade de Química, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará.

Orientador: Dr. João Batista Pereira Junior

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA

Carmo, Romeu Nickolas Silva do

Avaliação do potencial da planta aguapé como biossorvente: remoção de Ni^{+2} em solução aquosa / Romeu Nickolas Silva do Carmo; orientador, João Batista Perreira Junior. — 2017.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Ciências Exatas, Faculdade de Química, Curso de Licenciatura em Química, Marabá, 2017.

1. Resíduos industriais – Tratamento. 2. Água – Poluição. 3. Metais pesados – Aspectos ambientais. 4. Adsorção. I. orient. Perreira Junior, João Batista. III. Título.

ROMEU NICKOLAS SILVA DO CARMO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA PLANTA AGUAPÉ COMO BIODISSORVENTE:
REMOÇÃO DE Ni⁺² EM SOLUÇÃO AQUOSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciatura Plena em Química, Faculdade de Química, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará.

Data da defesa: 21 DE MARÇO DE 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Thiago Mielle Brito F. Oliveira – UNIFESSPA

Dr. João Batista Pereira Junior – UNIFESSPA

Prof. Dr. Adriano de Araújo Gomes – UNIFESSPA

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por todas as bênçãos e força que me deu nessa jornada cheia de barreiras. Sem a tua misericórdia e graça sobre minha vida eu não teria chegado até aqui.

Agradeço aos meus avós Ernane Cavalcante do Carmo e Nair Freire Silva do Carmo, por todo suporte, carinho e amor que recebi nessa caminhada.

À minha mãe Elizangela Silva Do Carmo que sempre foi meu maior exemplo de força, garra e perseverança, te amo muito mãe.

Aos meus grandes amigos do SINDICATIS, Paulinho, Jhonatan e Roberto, por todos esses anos de amizade, vocês sempre estiveram ao meu lado nos momentos bons e ruins dessa vida.

Aos meus grandes amigos de graduação, Jhuliana Santanna e Flavio Henrique por todos os momentos que passamos juntos, trabalhos, provas, seminários, tristezas, risos e vitórias. Agradeço a Deus por ter colocado vocês em minha vida.

Ao meu orientador Dr. João Batista Pereira Junior por todo o apoio e ajuda na elaboração desse trabalho, por toda paciência, ensinamentos e disponibilidade. Obrigado por tudo Junior, vou ser eternamente grato a tudo que fez por mim.

À Prof.^a Dr.^a Joana Luiza Pires pela oportunidade de iniciação científica nos estudos de adsorção, sou grato a tudo que a senhora fez por mim, que Deus abençoe a senhora grandemente.

Ao meu grande amigo de laboratório Heliton Bahia por toda ajuda e ensinamentos.

Aos professores da FAQUIM por toda a sabedoria e conhecimento transmitido durante o meu processo de formação.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram no meu processo de crescimento e formação, que Deus os abençoe eternamente.

Muito Obrigado!

Em tudo somos atribulados, mas não angustiados; perplexos, mas não desesperados; perseguidos, mas não desamparados; abatidos, mas não destruídos.

II Coríntios 4, 8-9

RESUMO

O intenso crescimento das indústrias vem exigindo um grande aumento no consumo de água para os mais variados fins. A contaminação de diversos ecossistemas aquáticos por efluentes contendo metais pesados tem sido um grande problema vivenciado pela população mundial. Nesse contexto a busca por alternativas limpas para o tratamento de águas contaminadas por metais pesados vem ganhando grande campo de estudo. Existem vários tipos de tratamento para efluentes industriais, porém são economicamente inviáveis devido aos elevados custos de operação e implantação. Uma das alternativas mais promissoras é a adsorção e se torna mais atrativa quando se utiliza adsorventes naturais, pois são de fácil acesso e baixo custo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a biomassa *in natura* de aguapé na remoção de íons Ni^{+2} em meio aquoso. Foi realizada a caracterização da biomassa em espectrômetro de infravermelho, onde foi possível evidenciar os grupos funcionais presentes na amostra, os quais são responsáveis pelo processo de adsorção. Para os estudos de adsorção foram avaliados: O tempo de contato de 0,2 g da biomassa para as concentrações de 25, 50 e 75 mg L^{-1} em tempos de 30 a 150 min. O efeito da dosagem de 0,2 a 1,0 g de biomassa em concentração fixa de 25 mg L^{-1} em tempos de 30 a 150 min. O efeito do pH 2, 3, 4, 5 e 6 para 1,0 g de biomassa na concentração fixa de 25 mg L^{-1} em tempo fixo de 90 min. Todos os testes foram realizados em triplicata sob agitação em 120 rpm a temperatura ambiente. Todas as amostras foram analisadas em espectrômetro de absorção atômica com chama. Após as análises obteve-se os resultados das médias onde foi possível calcular os valores em percentual de remoção para cada estudo. Para o estudo do tempo de contato de 0,2 g, a porcentagem significativa de remoção foi de 58% para a concentração de 25 mg L^{-1} no tempo de 150 min. No estudo de dosagem foi para 1,0 g que obteve-se a maior remoção, alcançando 85% em 90 min na concentração de 25 mg L^{-1} . Para o teste de pH o percentual de remoção chegou a 90% com a dosagem de 1,0 g da biomassa no tempo de 90 min na concentração de 25 mg L^{-1} , com o pH ótimo 6. Portanto pode-se inferir que nessas condições a biomassa de aguapé apresenta características significativas na adsorção de Ni^{+2} , podendo assim, ser uma alternativa aos processos clássicos de tratamento de efluentes.

Palavras-chaves: Adsorção. Aguapé. Biomassa. Níquel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo de adsorção.....	24
Figura 2. Esquema resumido da biossorção de metais pesados em solução aquosa por biomassas.....	27
Figura 3. Aguapé.....	30
Figura 4. Erlenmeyers com 0,2 g da biomassa de aguapé.	34
Figura 5. Soluções em contato com a biomassa sob agitação.....	34
Figura 6. Amostras coletadas.....	35
Figura 7. Espectro de Infravermelho (IV) da biomassa de aguapé in natura	37
Figura 8. Curva de calibração dos valores de absorbância versus concentração de Ni^{+2}	38
Figura 9. Efeito do tempo de contato na biossorção de Ni^{+2} (Dosagem – 0,2 g; Concentração inicial - 25, 50 e 75 $mg L^{-1}$; Velocidade agitação - 120 rpm).	39
Figura 10. Efeito da dosagem de biomassa na remoção de íons Ni^{+2} . (Concentração inicial - 25 $mg L^{-1}$; Tempo - 30, 60, 90, 120 e 150 min; Velocidade agitação - 120 rpm).....	41
Figura 11. Efeito do pH na adsorção de Ni^{+2} (Concentração inicial – 25 $mg L^{-1}$; Dosagem – 1,0 g; Tempo – 90 min).	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Padrões de lançamento de efluentes, de acordo com a RES. CONAMA N° 430, de 13/05/2011.	19
Tabela 2. Propriedades do níquel.	22
Tabela 3. Percentual de remoção em função do tempo de contato.	39
Tabela 4. Percentual de remoção das dosagens em função do tempo de contato. ...	42

LISTA DE SIMBOLOS E UNIDADES

Ni^{+2} – Íon Níquel (II)

pH – Potencial Hidrogeniônico

mA – Miliampère

cm – Centímetro

mm – Milímetro

nm –Nanômetro

rpm – Rotação por Minuto

g – Grama

min – Minutos

IV – Infravermelho

g/m^2 – Gramas por Metro Quadrado

g/cm^3 – Grama por Centímetro Cubico

C_o – Concentração Inicial

C_f – Concentração Final

% – Porcentagem

mg L^{-1} – Miligrama por litro

LISTA DE ABREVIATURAS

OEA - Organização Dos Estados Americanos

CONAMA - Conselho Nacional Do Meio Ambiente

FAAS - Espectrometria De Absorção Atômica com Chama

HCl – Ácido Clorídrico

NaOH – Hidróxido De Sódio

NiCl₂.6H₂O – Cloreto De Níquel Hexa Hidratado

%REM – Porcentagem De Remoção

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO.....	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 METAIS.....	18
3.1.1 Contaminação da água por metais pesados.....	20
3.1.2 Níquel	21
3.2 TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	23
3.2.1 Adsorção.....	23
3.2.2 Biossorção	25
3.2.3 Biossorventes	28
3.3 AGUAPÉ	29
3.4 ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÓMICA	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1 INSTRUMENTAÇÃO	32
4.2 REAGENTES E SOLUÇÕES.....	32
4.3 DESCONTAMINAÇÃO DOS MATERIAIS	33
4.4 PREPARO DA AMOSTRA.....	33
4.5 EXPERIMENTOS DE ADSORÇÃO	33
4.5.1 Influência do tempo de contato.....	33
4.5.2 Influência da dosagem de biomassa.....	35
4.5.3 Influência do pH.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO BIOSSORVENTE	37
5.2 CURVA DE CALIBRAÇÃO	38
5.3 EFEITO DO TEMPO DE CONTATO.....	38
5.4 EFEITO DA DOSAGEM DE BIOMASSA	40
5.5 EFEITO DO pH NA ADSORÇÃO.....	43
6. CONCLUSÃO.....	45
7. REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

A ação do homem vem provocando uma série de grandes alterações no meio ambiente sejam elas de forma positiva ou negativa (GASPAR, 2003). Nas últimas décadas, o aumento populacional junto ao crescimento das atividades industriais vem colaborando para o agravamento dos problemas ambientais, principalmente, em relação à preservação das águas superficiais e subterrâneas (COELHO et al., 2014). Por esse motivo, a legislação vem se tornando cada vez mais restritiva e a fiscalização mais presente, entretanto, relatos de despejos de toneladas de resíduos em córregos, rios e mares são bastante frequentes em todo o mundo (TIBURTIUS et al., 2004).

De acordo com a Organização dos Estados Americanos (OEA), as indústrias que mais contaminam o meio ambiente são as dos setores de mineração e metalurgia (SINGHAL e MEHROTRA, 1992). As indústrias de mineração e de beneficiamento de minérios, entre outras, são responsáveis pelo despejo ou descarga de uma grande quantidade de resíduos químicos letais (mercúrio, benzeno, enxofre, entre outros) nos solos, rios e mares, causando uma gama de impactos muitas vezes irreversíveis ao meio ambiente (RATTNER, 2009). Dentre esses resíduos gerados, destacam-se os metais pesados. Oliveira et al. (2001) afirmaram que, dentre as várias maneiras de contaminação do meio ambiente recorrente das diversas atividades industriais, a contaminação da água por metais pesados tem trazido muita preocupação aos pesquisadores e órgãos governamentais envolvidos no controle da poluição.

Alguns metais são nutrientes essenciais para o ser humano, como o ferro, níquel e manganês, pois são necessários para muitas das funções vitais do organismo humano. Porém, os metais essenciais também podem produzir efeitos tóxicos quando encontrados em elevadas concentrações (TÜZEN, 2003). O limite de toxicidade no homem é tanto maior quanto menos útil for a substância nas funções biológicas (MARTINS, 2002).

A presença de metais pesados no ambiente tornou-se uma grande ameaça devido à sua tendência bioacumulativa e elevada toxicidade (SILVA, 2015). Quando esses metais entram em contato com a natureza passam por um processo chamado bioacumulação, que é a acumulação de metais ao longo da cadeia alimentar (MARTINS, 2002). Por isso se faz necessário remover estes metais dos efluentes industriais antes de serem descartados ao meio ambiente (JOHNSON et al., 2008). Pantoja (2016) afirmou que, atualmente o grande desafio para a sociedade e de forma especial para a sociedade científica é encontrar o equilíbrio entre os processos produtivos essenciais para os seres humanos e o menor impacto possível ao meio ambiente. Baseado nesse fato, a preocupação com o tratamento efetivo dos efluentes contaminados com metais pesados e outras substâncias tóxicas, tem levado a necessidade de buscar métodos eficientes e economicamente viáveis destinados ao tratamento dessas áreas contaminadas. Existem diversas tecnologias de tratamento de efluentes, tais como: precipitação química, troca iônica, adsorção, filtração, flotação, processos eletroquímicos e biológicos.

Os processos de adsorção utilizando biossorventes vegetais é uma forma promissora, é economicamente viável e vêm apresentando bons resultados (WANG, 2006; BRITO et al., 2008). A vantagem da biossorção está na utilização da biomassa existente em quantidades abundantes, como por exemplo, algas ou resíduos agroindustriais (VOLESKY, 2001).

A tecnologia de adsorção por biossorventes oferece como vantagens: baixo custo operacional, alta eficiência de remoção de íons metálicos em soluções diluídas, possibilidade de recuperação dos metais, regeneração da biomassa e minimização do volume de lamas químicas, se comparado com os métodos convencionais de remoção de metais tóxicos de efluentes industriais (KRATOCHVIL e VOLESKY, 1998).

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial da planta aguapé como bioissorvente natural na remoção de íons Ni^{+2} em solução aquosa, visando a futura aplicação no tratamento de efluentes.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Analisar os aspectos que podem influenciar na remoção de íons Ni^{+2} pela biomassa da planta aguapé por meio dos seguintes parâmetros:

- Influência do tempo de contato;
- Influência da dosagem de biomassa;
- Influência do pH.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 METAIS

Segundo Hooda (2010), os metais pesados são elementos químicos que apresentam densidade superior a 6 g/cm^3 . O termo metal pesado é bastante utilizado nas literaturas atuais para instituir os metais classificados como poluentes do ar, água, solo, plantas e alimentos (MATOS et. al., 1996).

Mais de 20 espécies de metais são conhecidas pela presença no ciclo de vida dos organismos vivos, como Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn, são considerados elementos construtores no meio intracelular, e são essenciais para o bom funcionamento das atividades metabólicas, e instituem micronutrientes fundamentais às plantas e aos animais (KABATA-PENDIAS, 2011). Os metais que não possuem função determinada, como, radônio (Rn), céσιο (Cs) e estrôncio (Sr) e muitos metais de transição, são bioacumulados nas células por interações físico-químicas ou por mecanismos específicos de transporte (MONTEIRO, 2009). Recatalá et al. (2010) afirmaram que espécies de metais que não apresentam função biológica conhecida, como Cd e Pb, em níveis elevados podem causar disfunções graves ao organismo.

O crescimento industrial é uma das maiores fontes de poluição por metais tóxicos no cenário atual, o meio ambiente é contaminado por fertilizantes, queima de carvão e óleo, pesticidas, emissões de veículos, mineração, fundição, refinamento e incineração de resíduos urbanos e industriais (MONTEIRO, 2009). Quando a concentração de metais pesados lançados no meio ambiente por numerosos processos industriais é maior que os níveis definidos pelos órgãos competentes, dar-se início a um processo de degradação dos recursos naturais, em decorrência teremos sérios prejuízos a vida animal e à saúde humana (HAYASHI, 2001).

A resolução CONAMA N° 430, de 13 de maio de 2011 diz que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos nesta resolução. A Tabela 1 apresenta alguns padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2011).

Tabela 1. Padrões de lançamento de efluentes, de acordo com a RES. CONAMA N° 430, de 13/05/2011.

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Níquel total	2,0 mg L ⁻¹ Ni
Cadmio total	0,2 mg L ⁻¹ Cd
Chumbo total	0,5 mg L ⁻¹ Pb
Ferro dissolvido	15,0 mg L ⁻¹ Fe
Manganês dissolvido	1,0 mg L ⁻¹ Mn
Arsênio total	0,5 mg L ⁻¹ As
Zinco total	5,0 mg L ⁻¹ Zn

Fonte: BRASIL, CONAMA, 2011.

Prasad (2008) descreve para alguns metais a função no organismo humano e efeitos da toxicidade.

O **Ni** é um cofator para determinadas enzimas, é importante pois participa no metabolismo de metionina e vitamina B12, mas em elevadas concentrações gera toxicidade e leva a anemia e diminuição do crescimento.

O **Mn** é um componente fundamental de muitas enzimas e age como ativador enzimático, sua toxicidade acarreta o manganismo, uma doença neurológica.

O **Pb** não possui nenhuma função biológica conhecida, seu efeito tóxico acarreta problemas de anemia, problemas renais e reprodutivos, encefalopatia, problemas neurofísicos, hipertensão e inibição da síntese do heme.

Já o **Fe** é parte estrutural de proteínas heme: hemoglobina, mioglobina, e as proteínas dependentes de citocromo. O excesso de ferro no organismo pode ocasionar a problemas gastrintestinais, como vômitos e diarreia.

O **Cd** também não faz parte de nenhuma função biológica conhecida, sucedendo acumulação crônica nos rins que acarreta disfunções na urina. A sua

toxicidade ocasiona problemas reprodutivos, doenças cardiovasculares, câncer, hipertensão, entre outras.

O **Cr** age no metabolismo dos carboidratos e dos lipídios, no entanto, à toxicidade pode causar insuficiência renal e hepática.

Muhammad et al. (2011) afirmam que a ingestão em altas doses destes elementos vem a ocasionar graves problemas de saúde, incluindo parada cardíaca fatal, erupções cutâneas, fadiga, dores de cabeça, problemas cardíacos, tonturas e doenças respiratórias.

Portanto, estudos referentes à contaminação e toxicidade de metais pesados são de grande importância para o alcance de informações do teor destes elementos em várias áreas ambientais, podendo assim subsidiar ações, manejos e políticas públicas com a finalidade de prevenir e mitigar seus efeitos negativos na qualidade de vida da população e nos seres vivos (MENEZEZ, 2014).

3.1.1 Contaminação da água por metais pesados

A água está disponível de várias formas e é uma das substâncias mais comuns existentes na natureza, cobrindo cerca de 70% da superfície do planeta. É encontrada principalmente na fase líquida, construindo um recurso natural renovável por meio do ciclo biológico. A poluição das águas ocasiona vários distúrbios no equilíbrio ecológico do planeta, um dos fatores preocupantes habita no fato de que a maioria dos resíduos gerados pela indústria, esgotos domésticos, agricultura, resultado da atividade humana, acaba naturalmente se acumulando nas águas, o que é preocupante, pois sem água de qualidade não existiria vida (SILVA, 2010).

Os metais, quando lançados na água, agregam-se a outros elementos, formando diversos tipos de moléculas, as quais apresentam diferentes efeitos nos organismos devido a variações no grau de absorção pelos mesmos. O zinco, por exemplo, pode formar $ZnOH$, $ZnCO_3$; o mercúrio pode constituir $HgCl_2$, Hg_2SO_3 ; o

chumbo pode constituir PbOH , PbCO_3 , e assim por diante (A QUÍMICA DOS METAIS, 2010).

Segundo Silva (2010), os metais pesados são grande problema quando presentes em efluentes. A necessidade de purificar efluentes contendo íons metálicos resulta de sua natureza tóxica e não biodegradável, no qual pode acarretar a sérios problemas de acumulação durante os ciclos ecobiológicos.

Estas espécies metálicas quando presentes nos diversos efluentes, mesmo em pequenas concentrações, dão origem a vários problemas ambientais, como alterações das características físico-químicas da água, diminuição da biodiversidade e contaminação de organismos vivos. Estas espécies podem se acumular no leito dos sedimentos, no meio aquático podendo apresentar-se na forma dissolvida (íons simples ou complexos, quelatos organometálicos não ionizados ou complexados etc), ou ainda, como partículas em suspensão (hidróxidos, óxidos, silicatos etc), podendo alcançar elevadas concentrações, particularmente nos locais próximos ao ponto de descartes dos efluentes (AMORIM, 2000).

O acúmulo de metais e outros poluentes industriais pelos organismos podem ter efeito bastante abrangente já que possibilita o transporte dos contaminantes via teia alimentar para diversos níveis tróficos de cadeia alimentar. Este efeito culmina com a ocorrência das maiores taxas de contaminação nos níveis mais altos da teia trófica (A QUÍMICA DOS METAIS, 2010).

3.1.2 Níquel

O níquel é um metal branco-prateado, dúctil e maleável, as fontes de maior importância de níquel são encontrados através de minérios na forma de sulfeto, milerita e pentlandita, que se apresentam associados a outros sulfetos metálicos em rochas básicas, comumente acompanhados de cobre e cobalto, esses contribuem com mais de 90% do níquel extraído (SILVA, 2001).

O níquel pertence ao quarto período e ao décimo grupo da classificação periódica. Quimicamente, é menos reativo que o ferro e muitas vezes é depositado eletroliticamente sobre o aço para protegê-lo da corrosão (SILVA, 2010). A Tabela 2 apresenta as propriedades desse elemento.

Tabela 2. Propriedades do níquel.

Número atômico: 28	Ponto de ebulição: 2732 °C
Massa atômica: 58,71g/mol	Número de valência: 2,3
Isótopos naturais: 58, 60, 61, 62, 64	Raio iônico: (Ni ²⁺) 0,69 Å
Densidade: 8,902 g/cm ³ (25 °C)	Elétrons de valência: 3d ⁸ 4s ²
Ponto de fusão: 1453 °C	Forma cristalina: Cúbica de faces centradas

Fonte: Rubem, *apud* BASTOS, 2012.

O níquel é bastante empregado na indústria em ligas e deposição galvânicas sobre outros metais, é também utilizado como catalisador na hidrogenação de óleos vegetais, baterias, ligas de aço, confecções de moedas, sínteses de produtos químicos e farmacêuticos (SILVA, 2010).

A Rússia possui o primeiro lugar na produção mundial de minério de níquel concentrado através das empresas Norilsk Nickel, que detém 86% da produção do país (SILVA, 2001). Outros produtores do metal são Cuba, Porto Rico, Rússia, China e Brasil. No Brasil, as minas estão nos Estados do Pará e Goiás, e são exploradas pelas empresas Anglo American Brasil LTDA, Companhia Vale do Rio Doce e Grupo Votorantim (MONTEIRO, 2009).

O níquel é um metal que pode ser encontrado em todos os lugares, no ar, alimentos, água e solo. Uma parte do metal ocorre naturalmente no meio ambiente e outra é induzida como resultado da atividade humana. A exposição do homem ao níquel pode ocorrer por meio de contato com a pele, ingestão de alimentos ou através do fumo (SILVA, 2010).

O níquel pode ser cancerígeno quando presente em concentrações maiores que o organismo pode suportar. O cigarro é uma das fontes de contaminação de níquel que se acumula diretamente a nível pulmonar. Vinte cigarros por dia podem resultar em uma contaminação de 40 a 80 µg níquel/semana (MILORD, *apud* MOTEIRO, 2009).

Segundo Silva (2010), o níquel quando inalado pode causar dermatite, gengivites, erupções na pele, estomatite, tonturas, dores articulares, osteoporose e fadiga crônica.

A contaminação pelo níquel resulta na eliminação do metal pela urina. Deste modo, no caso de uma exposição ao metal, o exame de urina é indicado para confirmação da contaminação. Uma concentração de 0,025 mg L⁻¹ no organismo já é considerada muito crítica (MOURA, 2001).

3.2 TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Diversos fatores devem ser levados em consideração para a escolha da tecnologia a ser adotada para o tratamento dos efluentes, tais como: o volume do efluente a ser tratado, a composição química, as condições locais e os limites estabelecidos pela legislação local (PIMENTEL, 2011).

Dentre as várias tecnologias convencionais utilizadas tem-se: o tratamento biológico, filtração por membrana, adsorção em zeólitas sintéticas ou carvão ativado, troca iônica, precipitação química, coagulação/floculação, flotação, eletroquímica e extração com solventes (KURNIAWAN *et al.*, 2006; ZHOU *et al.*, 1999). A escolha do processo de tratamento leva em consideração as suas vantagens e desvantagens, a sua viabilidade técnica e econômica (PAGNANELLI, 2001).

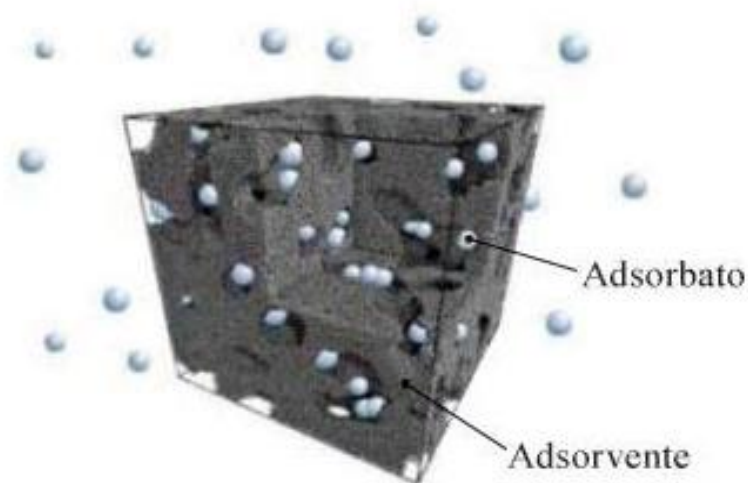
3.2.1 Adsorção

A adsorção é objeto de interesse dos cientistas desde o início do século, apresentando importância tecnológica, biológica, além de aplicações práticas na indústria e na proteção ambiental, tornando-se uma ferramenta útil em vários

setores. Adsorção é um dos processos mais eficientes de tratamento de águas e águas residuais, sendo empregadas nas indústrias a fim de reduzir dos seus efluentes os níveis de compostos tóxicos ao meio ambiente (NASCIMENTO et al., 2014).

Adsorção é definida como um processo no qual as moléculas que estão presentes em um fluido, líquido ou gás, podem acumular-se sobre a superfície de um sólido, devido ao resultado de forças que não se encontram de forma balanceadas (MOREIRA, 2010). Na adsorção a substância que é adsorvida denomina-se adsorbato e a substância que adsorve é o adsorvente (PEREIRA, 2008). Uma vez que os componentes adsorvidos, concentram-se sobre a superfície externa de um sólido, quanto maior for está superfície externa por unidade de massa sólida, tanto mais favorável será a adsorção (PANTOJA, 2016). Esse processo é mostrado na Figura 1.

Figura 1. Processo de adsorção.



Fonte: Neto, 2013.

Os adsorbatos, que constituem de íons ou moléculas, são atraídos para a zona interfacial devido à existência de forças atrativas (forças de Van Der Waals, interações eletroestáticas, como polarização, dipolo e quadrupolo), conhecida como sítios ativos, não compensadas na superfície do adsorvente. Na adsorção, a

concentração do adsorvato na fase fluida diminui sem alterar o volume do fluido (HINZ, 2001).

Dependendo da natureza das forças envolvidas, a adsorção pode ser classificada quanto a sua intensidade em dois tipos: adsorção física e adsorção química. Na adsorção química, também conhecida como quimissorção, a substância adsorvida reage com a superfície do adsorvente, a qual envolve a troca ou partilha de elétrons entre as moléculas havendo a formação de ligações químicas. Neste tipo de adsorção há a formação de uma única camada de substância adsorvida na superfície do adsorvente. Por sua vez, na adsorção física também conhecida como fisissorção não há a formação de ligações químicas. As moléculas são adsorvidas por meio de forças de Van der Waals (forças dipolo-dipolo e forças de polarização, envolvendo dipolos induzidos). Para este tipo de adsorção observam-se várias camadas de moléculas adsorvidas (McCABE, *apud* SOUSA, 2008). As duas técnicas se diferem do seguinte modo: enquanto o processo físico é rápido, não-específico e reversível, a adsorção química é limitada a alguns poucos ligantes com as ligações mais estáveis (CRISPIM, 2009)

Diversos fatores podem afetar a extensão no qual um dado composto irá adsorver sobre uma superfície porosa, como por exemplo, adsorvato, condições operacionais, natureza do adsorvente. As características do adsorvente incluem área superficial, tamanho do poro, densidade, grupos funcionais presentes na superfície. Por outro lado, a natureza do adsorvato, depende da polaridade, tamanho da molécula, solubilidade e acidez ou basicidade. As condições operacionais incluem, principalmente, temperatura, pH e natureza do solvente. Outro fator importante é a presença de espécies diferentes do adsorvato, que podem provocar competição por sítios de adsorção (COONEY, 1999; MCKAY, 1996;).

3.2.2 Bioissorção

Os procedimentos convencionais empregados na remoção de metais pesados de efluentes contaminados são a precipitação, a coagulação, a redução e a

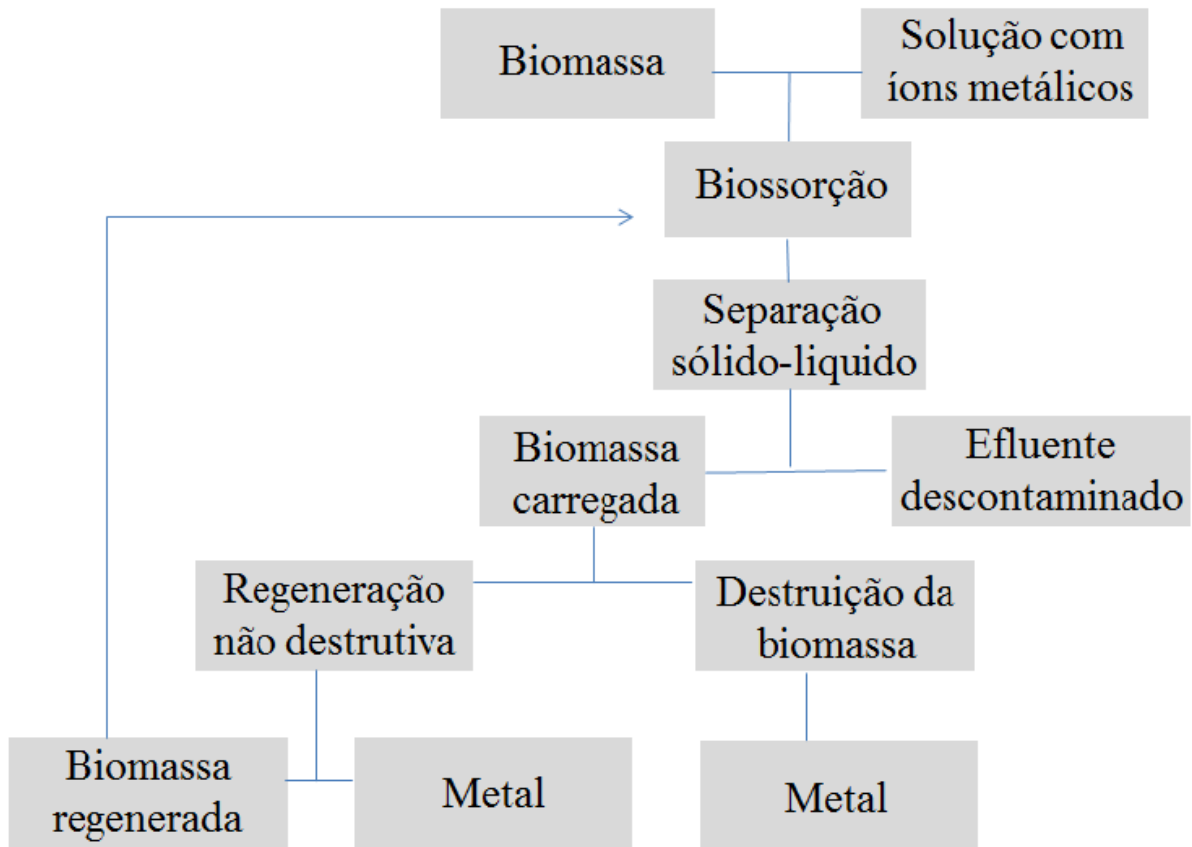
adsorção por carvão ativado (PINO e TOREM, 2011). Entretanto, tais métodos exibem altos custos, são complexos e possuem baixa eficiência de remoção, ocasionando limitações ao seu uso na remoção de metais (SILVA et al., 2014).

Um recurso tecnológico de extrema viabilidade empregado na remoção desses contaminantes é a biossorção, que é definida como sendo um processo em que se utiliza biomassa vegetal ou micro-organismos, na retenção, remoção ou recuperação de metais pesados de um ambiente líquido (SILVA et al., 2014).

Um material de origem biológica para ser utilizado como biossorvente deve possuir as seguintes características: ter baixo custo e ser reutilizável; deve ter um tamanho de partículas; a captura do metal deve ser eficiente e rápida; a separação do biossorvente da solução deve ser rápida, eficiente e barata; deve apresentar uma alta seletividade; a regeneração deve ser seletiva de metal e economicamente viável (CALFA e TOREM, 2007). A alta efetividade de um biossorvente depende de parâmetros como pH da solução, tipo de metal, concentração do íon, concentração da biomassa, volume, temperatura, ocorrência de pré-tratamento físico ou químico da biomassa, presença de vários ligantes na solução, sistema operacional empregado e da composição do efluente (SILVA et al., 2014).

O processo de biossorção se dá em diferentes etapas, que compreende a adsorção, uma separação sólido-líquido e uma possível regeneração da biomassa carregada com o metal (LUZ et al., 2002). Este processo versa essencialmente na ligação de espécies químicas metálicas em biossorventes, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2. Esquema resumido da bioissorção de metais pesados em solução aquosa por biomassas.



Fonte: Luz, 2002.

A bioissorção envolve uma fase sólida (adsorvente) e uma fase líquida (adsorvato). É nesta fase que se encontram as espécies dissolvidas que serão adsorvidas pelo fato do material adsorvente apresentar uma grande afinidade com tais espécies. O adsorvato é atraído pelo adsorvente por diferentes mecanismos. Sendo que cada mecanismo de remoção de metal pode ser diferente de um bioissorvente para outro, devido ao fato dessa remoção estar ligada aos grupos funcionais químicos existentes em sua estrutura (LAVARDA, 2010).

Os mecanismos envolvidos no processo de bioissorção diferem quantitativa e qualitativamente de acordo com as espécies utilizadas, a origem da biomassa e seu processamento. Tais mecanismos compreendem: complexação (formação de um

complexo a partir da associação de duas espécies); coordenação (ligação de um átomo central de um complexo com outros átomos por ligação covalente); quelação, (complexos formados por um composto orgânico são unidos ao metal por pelo menos dois sítios); troca iônica, (formação de espécies moleculares através do intercâmbio de íons); adsorção (sorção através da superfície do tecido orgânico); precipitação inorgânica (alteração no meio aquoso levando a uma precipitação do despejo) (PIETROBELLI, 2007).

Qualquer um destes mecanismos ou uma combinação destes pode ocorrer, uma ou várias espécies metálicas na biomassa. Os íons são atraídos pelos sítios ativos na superfície da partícula, onde existem diferentes grupos funcionais responsáveis pela união deles à superfície da partícula, tais como fosfato, carboxila, sulfeto, hidroxila e amina (VOLESKY, 2004).

A biossorção surge como um processo alternativo ou suplementar em decorrência de características como preço reduzido do material biossorvente, aplicação em sistemas com capacidade de detoxificar grande volume do efluente com custo baixo operacional, possível seletividade e recuperação da espécie metálica (PINO e TOREM, 2011).

3.2.3 Biossorventes

Biossorventes são materiais derivados de matéria-microbiana, algas ou mesmo alguma planta por meio de diferentes tipos de procedimentos simples, esses materiais de origem biológica podem ser utilizados para remoção de íons metálicos, dentre os quais podem-se destacar: os micro-organismos (bactérias, microalgas e fungos), os vegetais macroscópicos (algas, gramíneas, plantas aquáticas), partes ou tecidos específicos de vegetais (casca, bagaço, semente) e até mesmo subprodutos de origem de processamentos industriais (PIMENTEL, 2011). Eles podem ser quimicamente pré-tratados para melhor desempenho e/ou adequação para aplicações de processo.

Encontram-se na literatura várias pesquisas que utilizam materiais alternativos para remoção de metais pesados em soluções aquosas.

CHEN et al. (2010) aplicaram as partes aéreas da biomassa de aguapé na remoção de fosfato proveniente de águas residuárias da suinocultura. A eficiência adsorptiva do aguapé foi superior a 36% nos influentes produzidos pela suinocultura.

TARLEY e ARRUDA (2004) estudaram a eficiência da absorção dos metais Cd e Pb pela casca de arroz, e obtiveram resultados satisfatórios, onde o pH ótimo de remoção foi 4, com retenção de 4,23 mg/g para Pb e de 1,42 mg/g para Cd.

CRUZ et al. (2009) avaliaram o efeito da farinha da casca da banana como um bioissorvente para metais pesados de baixo custo. E observou que a farinha da casca da banana produzida apresentou boas características para ser utilizada como um bioissorvente para metais pesados em soluções aquosas.

MOREIRA et al. (2007) estudaram o uso do bagaço de caju como bioissorvente na remoção de metais pesados de efluente industrial. Os resultados obtidos indicam que o bagaço de caju tratado com NaOH 1 mol L⁻¹ / 3h, apresenta características favoráveis ao seu uso como material adsorvedor dos íons tóxicos: Pb⁺², Cu⁺², Ni⁺², Cd⁺² e Zn⁺² em solução aquosa.

BHAINSA e D'SOUZA (2001) usaram as raízes de *Eichhornia crassipes* como agente bioadsorptivo do U(VI). O processo de bioissorção do urânio foi rápido, aproximadamente 54% em 4 min de contato entre os pH's 5 e 6, sendo pouco influenciado pela temperatura. Os modelos isotérmicos de Langmuir e Freundlich foram ajustados ao processo bioissorptivo do urânio.

3.3 AGUAPÉ

O aguapé é uma macrófita aquática flutuante que se desenvolve muito bem nas regiões de clima quente. Seu desenvolvimento é acelerado quando não existem limitações nutricionais, como é o caso das águas das lagoas e represas que são

poluídas por esgoto urbano e alguns tipos de efluentes industriais. Sua introdução nos sistemas de água das cidades brasileiras se deve justamente a sua característica de absorver e acumular poluentes, "filtrando" a água (SiSTSP, 2017). A planta pode ser observada na Figura 3.

Figura 3. Aguapé.



Fonte: SiSTSP, acessado em 15/1/2017.

Cresce a cada dia os estudos com macrófitas aquáticas, para a remediação de efluentes contaminados. Os principais fatores que levam a utilização desse método de remoção são: baixo custo e abundância de tais plantas na natureza (KUBILAY et al., 2007). Atualmente, de acordo com os estudos feitos, são as macrófitas aquáticas que realizam maior bioremoção de metais pesados, ao serem comparadas com as plantas terrestres (DWIVEDI et al., 2008).

Entre as macrófitas, destaca-se o aguapé (*Eichhornia crassipes*), que possui a capacidade de incorporar, em seus tecidos, altas quantidades de nutrientes (MEDEIROS et al. *apud* MARTINS, 2014; OLIVEIRA et al., 2001). Devido o rápido crescimento e renovação a tal planta pode tornar-se praga pesada. Suas massas flutuantes podem causar dificuldades de navegação fluvial, impedindo o tráfego de embarcações (RIZZINI et al., 1997; SCHNEIDER et al., 2003). Esses fatores (alta capacidade de incorporação de nutrientes, rápido crescimento e renovação) são

positivos e atrativos para a realização dos estudos, na área da bioabsorção com o aguapé. Tais estudos comprovam que este é um processo de baixo custo, com possibilidades de amenizar as concentrações de metais pesados, satisfatoriamente, quando comparado com os demais tipos de tratamentos dos efluentes industriais.

3.4 ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

A espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS) é uma técnica monoelementar onde a amostra é aspirada por um nebulizador e introduzida na chama que funciona como atomizador dos analitos. A chama é constituída de um gás combustível (acetileno) e de gás oxidante (ar ou óxido nitroso) (ZMOZINSKI, 2010). A técnica permite determinar quantitativamente, com sensibilidade suficiente, mais de 60 elementos (SKOOG et. al., 1992).

A técnica se baseia no princípio de que, com o auxílio de um atomizador (chama), são gerados átomos livres que se encontra no estado fundamental, onde são capazes de absorver radiação de um comprimento de onda específico, que é emitida por uma fonte primária, uma lâmpada de cátodo oco constituída pelo mesmo metal de interesse. A amostra deve ser uma solução líquida que é aspirada para um nebulizador, que tem o objetivo de converter a solução e formar várias gotículas ou aerossol, que na sequência são introduzidas em um queimador com uma chama, que pode ser de ar/acetileno ou óxido nitroso/acetileno. Neste processo físico-químico ocorre a dessolvatação da amostra e os sólidos remanescentes se atomizam e, por fim, ocorre o fenômeno da absorção. Esta técnica tem sido muito empregada devido a sua simplicidade, efetividade e rapidez nos resultados (ANTUNES, 2014).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 INSTRUMENTAÇÃO

Todas as medidas de níquel foram realizadas utilizando um espectrômetro de absorção atômica com chama modelo SOLAAR S (Thermo Scientific, Cambridge, Reino Unido) equipado com corretor de fundo de lâmpada de deutério. Uma lâmpada de catodo oco de níquel foi utilizada como fonte de radiação, operando a 5 mA. Os sinais de absorbância foram medidos utilizando o comprimento de onda de 305,1 nm e resolução espectral de 0,5 nm. A mistura ar/acetileno foi utilizada como gás oxidante e combustível, respectivamente.

As medidas no infravermelho foram realizadas em um espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier, modelo Cary 630 (Agilent, EUA). Os espectros foram coletados na região espectral de 4000 – 400 cm^{-1} .

As medidas de pH foram realizadas utilizando um pHmetro modelo MB-10 (Marte, São Paulo) e as alíquotas de biomassa foram medidas em balança analítica. Os experimentos em batelada foram realizados usando uma mesa agitadora modelo 109-3 (Nova Ética, São Paulo). As filtrações foram realizadas usando papel filtro qualitativo de gramatura 80 g/m^2 .

As amostras secas foram moídas em um moinho de facas tipo Willey modelo NL-226-02 (NewLab, São Paulo).

4.2 REAGENTES E SOLUÇÕES

Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico. Soluções de HCl 0,1 mol L^{-1} e NaOH 0,1 mol L^{-1} foram utilizadas para ajuste de pH das soluções. Solução estoque de níquel ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) com 98% pureza (Dinâmica, São Paulo) contendo 1000 mg L^{-1} foi utilizada para os experimentos de biossorção.

4.3 DESCONTAMINAÇÃO DOS MATERIAIS

Para evitar contaminação, os frascos de polietileno, as vidrarias e as ponteiros das micropipetas foram lavados com água corrente, depois com água destilada e, em seguida, mantidos em banho ácido de HNO_3 10 % v v⁻¹ durante 24 h. Posteriormente, foram lavados com água destilada e secos previamente ao uso.

4.4 PREPARO DA AMOSTRA

O material selecionado como bioissorvente foi a folha da planta aguapé, as amostras foram sujeitas às seguintes operações: Foram lavadas em água corrente, seguida de enxague com água destilada para eliminar resíduos e impurezas. Após a lavagem, o material foi seco em estufa. Após a secagem, as amostras foram cortadas com o auxílio de tesoura para reduzir seu tamanho. Posteriormente, as amostras foram trituradas em um moinho de facas para reduzir o tamanho das partículas, obtendo assim a biomassa *in natura* pronta para o estudo, com tamanho de partícula na faixa entre 0,100 a 0,355 mm.

4.5 EXPERIMENTOS DE ADSORÇÃO

4.5.1 Influência do tempo de contato

Partindo-se da solução estoque de 1000 mg L⁻¹ de Ni⁺², foram obtidas cinco soluções de 50 mL com concentrações variadas de 20 a 100 mg L⁻¹ utilizadas na construção de curvas analíticas que calibraram o espectrômetro de absorção atômica com chama. Todos os estudos de adsorção foram realizados a temperatura ambiente com agitação a 120 rpm.

Para o estudo de tempo de contato, pesagens de 0,2 g foram feitas e, posteriormente, armazenadas em erlenmeyers, como mostra a Figura 4. Foram preparadas soluções de 100 mL para as concentrações de 20, 50 e 75 mg L⁻¹ de Ni⁺², no qual foram adicionadas aos erlenmeyers contendo a biomassa. As

respectivas soluções ficaram por tempo de contato de 30 a 150 min sob agitação, mostradas na Figura 5. Em seguida, as soluções foram filtradas e coletadas, conforme a Figura 6, e em seguida, analisadas por espectrometria de absorção atômica com chama. Todos os experimentos foram realizados em triplicata e os resultados expressos como a média dos valores.

Figura 4. Erlenmeyers com 0,2 g da biomassa de aguapé.



Figura 5. Soluções em contato com a biomassa sob agitação.



Figura 6. Amostras coletadas.



Com os dados obtidos foi possível calcular a porcentagem de remoção (%REM) de Ni^{+2} adsorvido, utilizando a seguinte equação (1):

$$\%REM = (C_o - C_f) / C_o \times 100 \quad (1)$$

Onde C_o é concentração inicial de níquel (mg L^{-1}) na solução antes do contato com o bioissorvente; C_f é concentração final de níquel (mg L^{-1}) na solução após o contato com o bioissorvente.

Após calcular as porcentagens de íons adsorvidos, foi possível verificar em qual tempo e concentração houve melhor adsorção para 0,2 g de biomassa.

4.5.2 Influência da dosagem de biomassa

Para o estudo de influencia da dosagem, os experimentos foram realizados variando a massa de bioissorvente de 0,2 a 1,0 g, para a concentração de 25 mg L^{-1} de Ni^{+2} . As amostras foram agitadas durante tempo de contanto de 30 a 150 min, em seguida foram filtradas, coletadas e analisadas.

Ao final do estudo com os dados obtidos foi possível verificar qual a melhor dosagem da biomassa e o melhor tempo para concentração de 25 mg L^{-1} .

4.5.3 Influência do pH

Os testes de adsorção com variação de pH foram realizados a fim de se descobrir em qual valor de pH ocorre a maior porcentagem de adsorção de Ni^{+2} pelo biossorvente. Foram preparadas cinco soluções de 100 mL de 25 mg L^{-1} de Ni^{+2} . Os ajustes de pH foram feitos pela adição de alíquotas de $0,1 \text{ mol/L}$ de NaOH ou HCl, para valores de pH 2, 3, 4, 5 e 6. As soluções com os respectivos pHs ajustados ficaram em contato com $1,0 \text{ g}$ da biomassa em tempo de 90 min sob agitação, seguidas de filtração e análise.

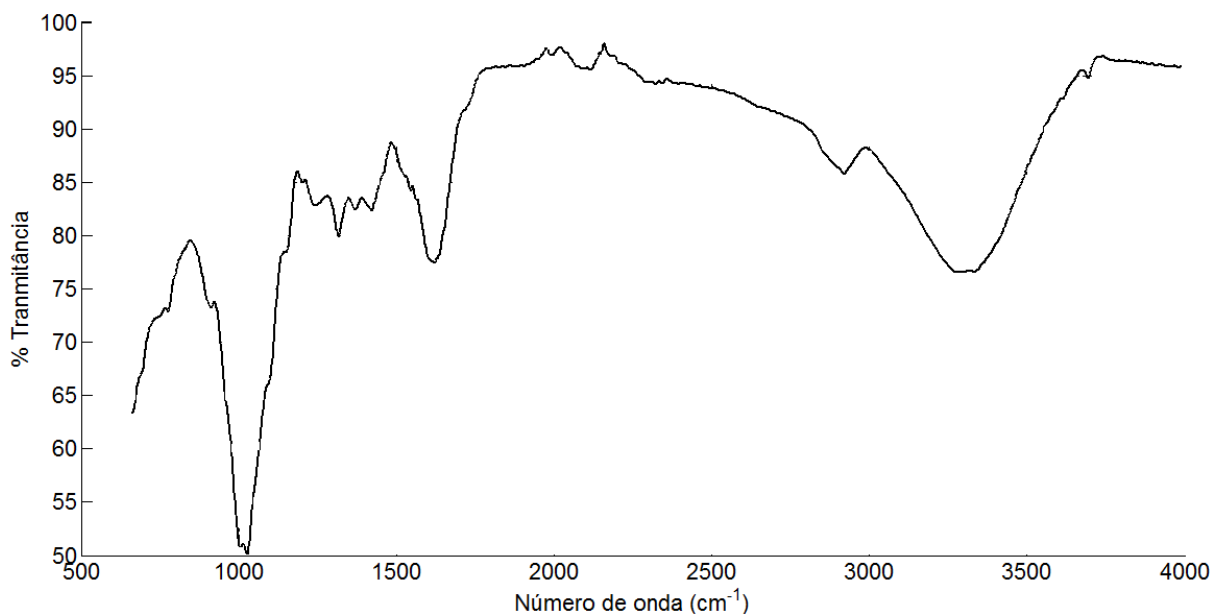
Através dos resultados alcançados foi possível verificar em qual pH houve melhor adsorção em $1,0 \text{ g}$ da biomassa de aguapé na concentração de 25 mg L^{-1} em 90 minutos .

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO BIOSSORVENTE

Segundo Souza (2012), o fenômeno de adsorção ocorre devido à presença de grupos funcionais que formam o material adsorvente. Desta forma, a técnica de espectroscopia na região do infravermelho foi usada para elucidar os grupos funcionais que podem estar presentes na estrutura do adsorvente representados na Figura 7.

Figura 7. Espectro de Infravermelho (IV) da biomassa de aguapé in natura



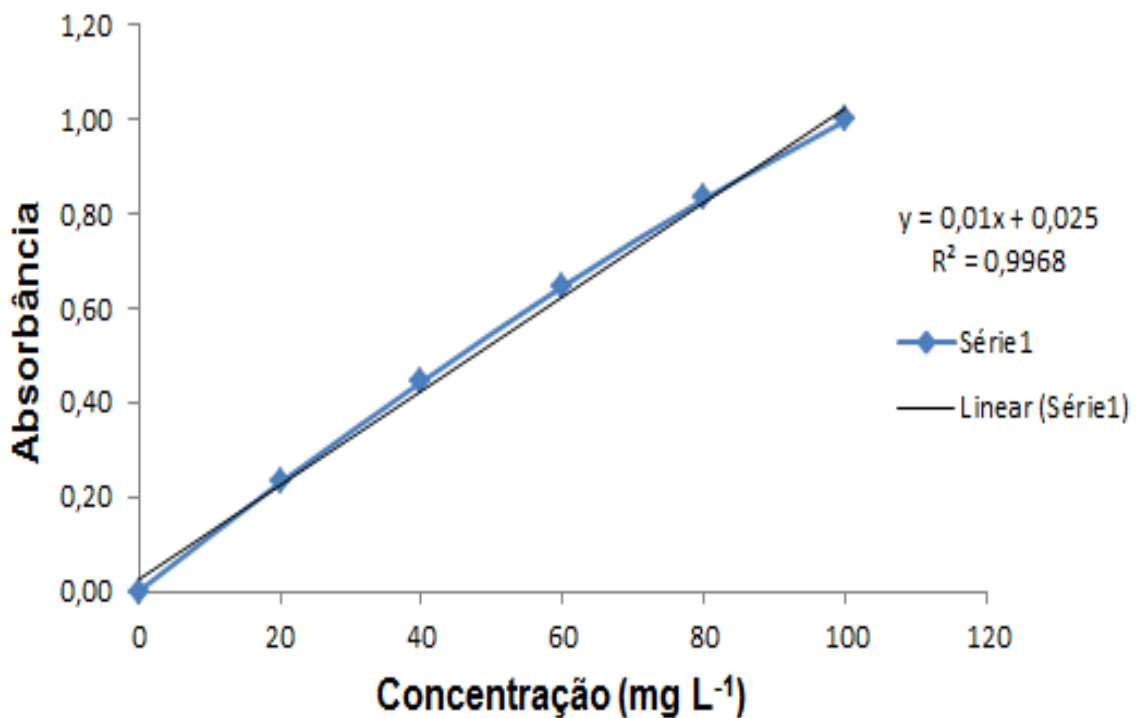
O espectro mostra a presença de vários grupos funcionais. Os principais picos foram observados nos seguintes números de onda: Entre 1000 a 1300 cm^{-1} , 1450 a 1600 cm^{-1} e 2800 a 3500 cm^{-1} , no espectro representado. De acordo com Pavia (2009), o pico forte em 1000 cm^{-1} pode ser atribuído ao estiramento de ligação C-O. A banda larga em torno de 3400 cm^{-1} pode ser atribuída ao estiramento da ligação O-H ou N-H. As bandas médias entre 1450 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento de ligação C=C bem característico de anel aromático. O pico próximo a 1600 cm^{-1} é atribuído ao estiramento de ligação C=O. A banda próxima a 2900 cm^{-1} corresponde ao estiramento de ligação C-H. Todos os grupos funcionais

identificados no espectro de IV, indicam a possível presença de ácidos carboxílicos, amidas, álcoois ou fenóis na biomassa *in natura* de aguapé, no qual possivelmente são os responsáveis pelo processo de adsorção.

5.2 CURVA DE CALIBRAÇÃO

A Figura 8 apresenta a curva de calibração das soluções de Ni^{+2} , onde pode ser observado o coeficiente de determinação $R^2 = 0,9968$ ou próximo de 1.

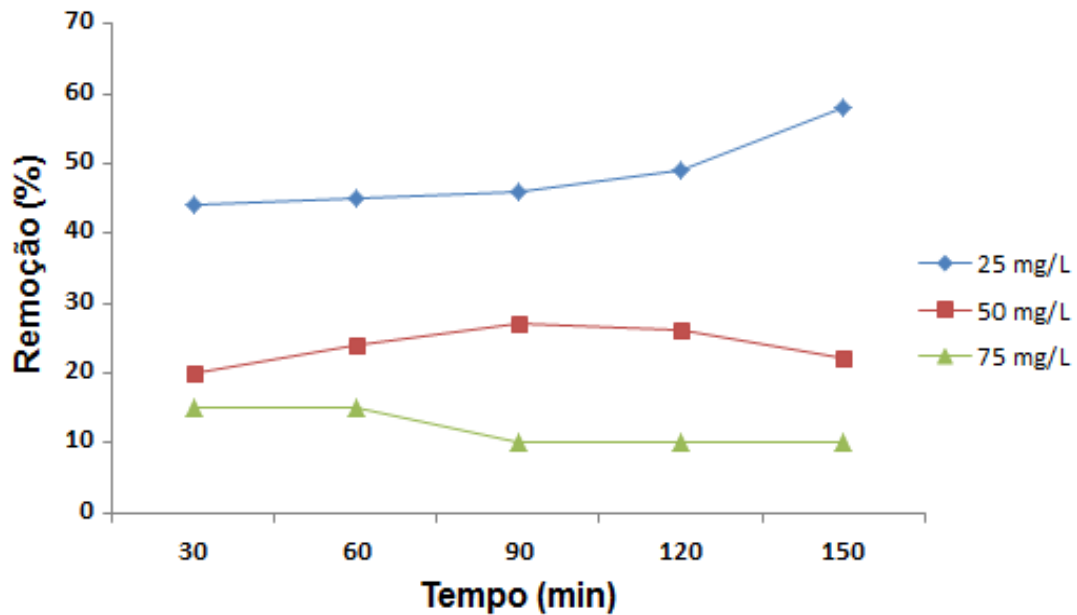
Figura 8. Curva de calibração dos valores de absorbância versus concentração de Ni^{+2} .



5.3 EFEITO DO TEMPO DE CONTATO

O efeito do tempo de contato utilizando 0,2 g da biomassa de aguapé foi investigado em função das concentrações iniciais de 25, 50 e 75 mg L^{-1} como mostrado na Figura 9.

Figura 9. Efeito do tempo de contato na biossorção de Ni^{+2} (Dosagem – 0,2 g; Concentração inicial - 25, 50 e 75 mg L^{-1} ; Velocidade agitação - 120 rpm).



Os resultados indicam que o percentual de remoção de íons de Ni^{+2} aumenta gradativamente com o tempo para a concentração de 25 mg L^{-1} , alcançando 58% de remoção no tempo de 150 min. Já na concentração de 50 mg L^{-1} a percentagem máxima se deu no tempo de 90 min, com 27% remoção, e para 75 mg L^{-1} em 60 min com 15% de remoção. Os resultados obtidos estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3. Percentual de remoção em função do tempo de contato.

Concentração inicial	Tempo de contato				
	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min
25 mg L^{-1}	44%	45%	46%	49%	58%
50 mg L^{-1}	20%	24%	27%	26%	22%
75 mg L^{-1}	15%	15%	10%	10%	10%

O aumento crescente no percentual para 25 mg L^{-1} , pode estar relacionado com a grande quantidade de sítios ativos abundantes na superfície do adsorvente para essa concentração. Todavia, para 50 mg L^{-1} após os 90 min ocorre uma diminuição de 27% para 22% ao fim do tempo de contato. E para 75 mg L^{-1} a uma diminuição de 15% para 10% após 60 min, que se mantém constante até 150 min. De acordo com Silva (2010), esse fato está ligado com o equilíbrio da biomassa com a solução, pois depois que o equilíbrio acontece tende-se a ocorrer o processo de dessorção dos íons da biomassa para solução. Gomes (2015), afirma que o equilíbrio corresponde a capacidade máxima adsorvida. Matouq et. al. (2015), afirmaram que a diminuição da concentração deve-se também ao fato de que todos os adsorventes possuem um número fixo de sítios ativos e que em concentrações mais elevadas, os sítios ativos tornam-se saturados. Outro fator que influenciou na adsorção desses íons é a quantidade de biomassa adicionada nas soluções, pois conforme a concentração aumentou o percentual de remoção de 0,2 g da biomassa de aguapé diminuiu.

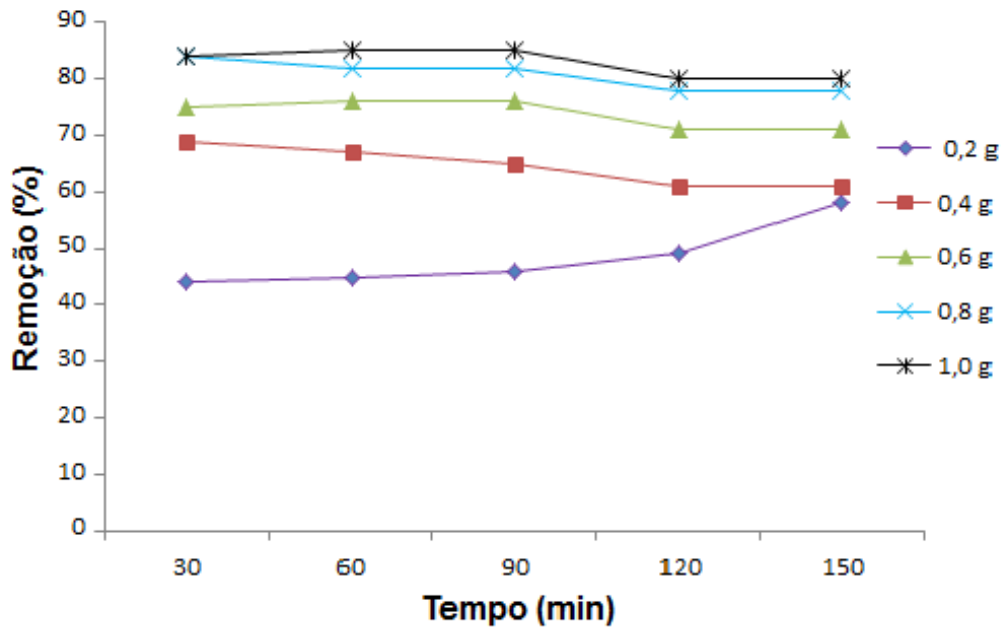
A Figura 9 mostra que houve a remoção de níquel em todas as concentrações analisadas, comprovando que a biomassa de aguapé tem capacidade de adsorver esse íon em solução.

Através dos resultados obtidos foi possível concluir que o efeito do tempo de contato na adsorção de Ni^{+2} com 0,2 g da biomassa de aguapé foi dependente das concentrações iniciais estudadas. Devido a porcentagem máxima de remoção se dar em 25 mg L^{-1} em 150 min pela dosagem de 0,2 g, decidiu-se investigar posteriormente outros fatores que poderiam influenciar na adsorção para essa concentração.

5.4 EFEITO DA DOSAGEM DE BIOMASSA

O efeito da dosagem da biomassa de aguapé foi estudado em tempo variado de 30 a 150 min em concentração fixa de 25 mg L^{-1} , como mostra a Figura 10.

Figura 10. Efeito da dosagem de biomassa na remoção de íons Ni^{+2} . (Concentração inicial - 25 mg L^{-1} ; Tempo - 30, 60, 90, 120 e 150 min; Velocidade agitação - 120 rpm).



Através da análise do percentual de remoção da Figura 10, pode-se constatar que a dosagem de biossorvente é um dos fatores que influencia no processo de adsorção. Os resultados mostram que o aumento da quantidade de biomassa de 0,2 a 1,0 g em contato com a solução de Ni^{+2} , resultou em um aumento na remoção percentual consideravelmente para a concentração em estudo. Akpomie et. al. (2015), observaram um aumento na remoção dos íons Ni^{+2} com o aumento da dosagem, quando utilizaram de biomassa 0,1 g, cerca de 64,8% de Ni^{+2} foi removido da solução, porém quando foi utilizado 0,5 g de biomassa, o percentual removido foi de 79,7%, corroborando com os resultados obtidos.

A dosagem desempenha um papel importante no processo de adsorção. Entretanto o tempo de contato para as dosagens influencia diretamente em suas capacidades de adsorção. Na Tabela 4 é possível verificar os valores de porcentagens de remoção com maior clareza para as dosagens em função da variação do tempo de contato.

Tabela 4. Percentual de remoção das dosagens em função do tempo de contato.

Dosagem	Tempo de contato				
	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min
0,2 g	44%	45%	46%	49%	58%
0,4 g	69%	67%	65%	61%	61%
0,6 g	75%	76%	76%	71%	71%
0,8 g	84%	82%	82%	78%	78%
1,0 g	84%	85%	85%	80%	80%

Os resultados mostram que o percentual de remoção é crescente com o aumento da dosagem para a concentração em estudo. Todavia, pode se observado na Tabela 4 que cada valor de dosagem apresenta um valor máximo de remoção em função do tempo.

Pode se observar que para a dosagem de 0,8 g o possível equilíbrio de adsorção se da no tempo de 30 min com a capacidade máxima de 84% de remoção. O mesmo percentual pode ser observado no mesmo tempo para a dosagem de 1,0 g, entretanto, a capacidade máxima de remoção para 1,0 g se da no tempo de 90 min com 85% de remoção.

Os resultados comprovam que o tempo influenciou nos valores de remoção para cada dosagem estudada. O ponto de maior remoção de íons está diretamente ligado ao equilíbrio entre biomassa e solução, onde a capacidade máxima de adsorção já se deu pela possível saturação dos sítios ativos no material bioissorvente, implicando no processo de dessorção após o ponto máximo alcançado (GOMES, 2015; SILVA, 2010; PANTOJA, 2016).

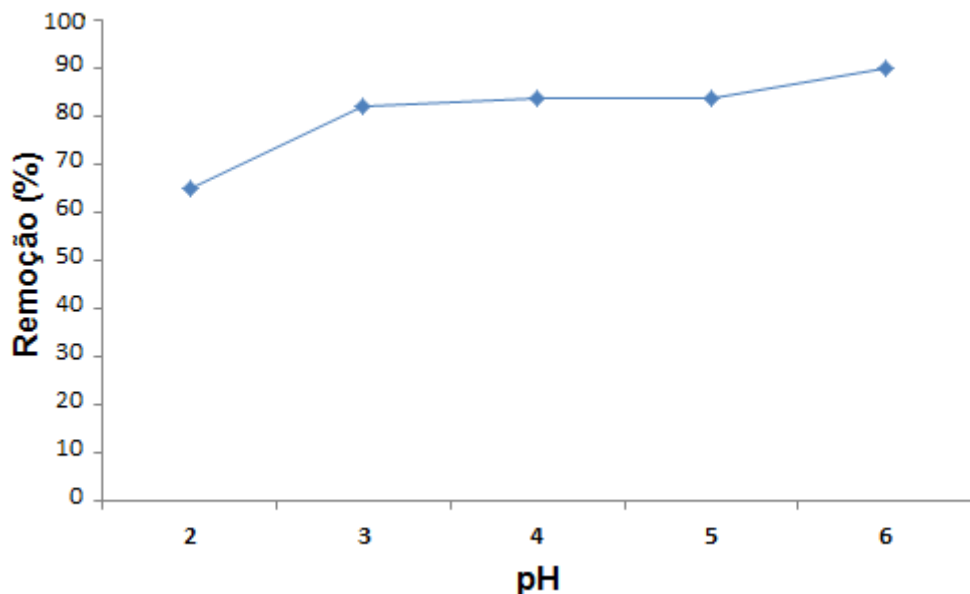
Diante dos resultados obtidos a dosagem escolhida de aguapé para o posterior estudo foi 1,0 g, e o tempo foi de 90 min, devido proporcionarem maior percentual de remoção para a concentração de 25 mg L⁻¹.

5.5 EFEITO DO pH NA ADSORÇÃO

O pH é uma das variáveis mais importantes no processo de remoção de metais pesados por biomassa, visto que a especiação do íon metálico na solução é dependente do pH, e a carga dos sítios ativos na superfície pode mudar dependendo deste valor (PINO, 2005).

Para determinar o efeito do pH no processo de adsorção pela biomassa de aguapé foi realizado uma variação de pH de 2 a 6, em concentração de 25 mg L⁻¹ em dosagem de 1,0 g no tempo fixo de 90 min, como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11. Efeito do pH na adsorção de Ni⁺² (Concentração inicial – 25 mg L⁻¹; Dosagem – 1,0 g; Tempo – 90 min).



Avaliando a curva de adsorção percebe-se que, há uma crescente remoção conforme ocorre o aumento de pH. Pode-se observar que em pH 2 há uma baixa retenção de íons Ni⁺² pela biomassa de aguapé, todavia com o aumento do pH da solução, a porcentagem adsorvida aumentou de 65% para 90% para pH 6. Verificou-

se um comportamento semelhante no estudo de Akpomie et. al. (2015), que avaliaram o efeito do pH de 2 a 6 para Ni^{+2} . Os autores verificaram que a porcentagem adsorvida de íons Ni^{+2} aumentou de 17,9% para 64,8% quando o pH aumentou de 2 para 6.

Observações semelhantes também são feitas por Mimura e colaboradores (2010) que avaliaram a aplicação da casca do arroz na adsorção de íons Ni^{+2} em valores de pH 4 e 5 nas seguintes condições: (Temperatura – 25 °C; Concentração - 10 mg L⁻¹; Dosagem - 0,5 g; Velocidade – 160 rpm; Tempo – 12 h) . Os autores verificaram que em pH 4 a porcentagem de retenção do íons pela biomassa foi próximo a 95%, e em pH 5 aproximadamente 98%. Por meio dessas informações podemos comprovar que o pH do meio influencia diretamente na capacidade de adsorção de íons Ni^{+2} .

Souza (2012) afirmou que em valores baixos de pH, os grupos funcionais presentes na biomassa são protonados por íons H^+ , assim gerando concorrência com os íons metálicos em pH mais baixo, não sendo favorável à adsorção do metal, porém, com o aumento do pH da solução, promove-se o desprotonamento destes grupos, deixando-os com carga negativa, aumentando a interação com os íons de carga positiva. Porém, soluções que apresentam valores muito altos de pH podem levar a danificação da estrutura do material bioissorvente e mudança da especiação do íon metálico em solução, resultando em uma diminuição da solubilidade dos complexos metálicos, causando então a precipitação destes complexos formados (SCHIWER e VOLESKY, 1995).

Portanto, os resultados obtidos mostram que a quantidade adsorvida foi dependente do pH da solução, sendo que a mesma aumenta com o aumento do pH. Verificou-se que o pH ótimo de adsorção de íons Ni^{+2} pela biomassa de aguapé, ocorreu em pH 6 com 90 % de remoção.

6. CONCLUSÃO

Os resultados dos testes realizados para a avaliação da biomassa *in natura* de aguapé mostraram-se extremamente significativos. Os espectros obtidos na análise de infravermelho evidenciaram a presença de grupos funcionais na biomassa de aguapé, que representam sítios ativos e potencial para remover íons metálicos, que por interações eletrostáticas possibilitam adsorção.

Por meio do estudo do tempo de contato de 0,2 g da biomassa em diferentes concentrações, foi possível avaliar que a biomassa de aguapé tem a capacidade de adsorver íons níquel em solução, obtendo o percentual de remoção de 58% para a concentração de 25 mg L⁻¹.

O estudo que avaliou o efeito da dosagem em tempo variado demonstrou que a capacidade de adsorção está diretamente ligada a quantidade de biossorvente e ao tempo de contato com a solução a ser tratada. À medida que foi aumentando a quantidade de biomassa os percentuais de remoção aumentaram significativamente em função de um tempo limite, apresentando o percentual máximo de 85% de remoção na concentração de 25 mg L⁻¹ em 1,0 g de biomassa no tempo de 90 min.

Os teste de adsorção em função do pH, mostrou que o pH do meio influencia diretamente na capacidade de adsorção da biomassa de aguapé. Foi possível observar que em pH 2, o percentual de remoção dos íons Ni⁺² foi de 65%, entretanto, com o aumento do valor do pH para 6, foi possível observar um aumento para 90% de remoção. Assim podemos comprovar que a capacidade da biomassa em adsorver íons Ni⁺² está diretamente ligada ao pH do meio. Para 1,0 g da biomassa na concentração de 25 mg L⁻¹, o pH ótimo foi 6 com 90% de remoção no tempo de 90 min.

Através dos dados obtidos, pode-se concluir que o aguapé tem potencial para ser aplicado como biossorvente para remoção de íons Ni⁺² em solução nas condições apresentadas nesta pesquisa, tendo em vista que houve a remoção dos

íons em todos os testes realizados e que os percentuais de remoção foram bastante expressivos comprovando a eficácia do material biossorvente.

7. REFERÊNCIAS

- A química dos metais. Disponível em: <<http://quimicadosmetais.blogspot.com.br>>. Acesso em 21 de nov. 2016.
- AKPOMIE, K. G.; DAWODU, F. A.; ADEBOWALE, K. O. Mechanism on the sorption of heavy metals from binary-solution by a low cost montmorillonite and its desorption potential. *Alexandria Engineering Journal*, v. 54, n. 3, p. 757-767, 2015.
- AMORIM, W. B. *Estudo do processo de dessorção de cromo hexavalente presente em algas marinhas provenientes do processo de bioadsorção*. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2000.
- ANTUNES, G. A. *Desenvolvimento de método para determinação de ferro, cobre e zinco em microemulsão de biodiesel por espectrometria de absorção atômica com chama*. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014.
- BHAINSA, K. C.; D’SOUZA, S. F. Uranium (VI) biosorption by dried roots of *Eichhornia crassipes* (water hyacinth). *Journal of Environmental Science and Health*, part A, v. 36, p. 1621–1631, 2001.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA N° 430. Brasília, 2011.
- BRITO, S. M. O *et al.* Estudos de Adsorção sobre Materiais Alternativos. In: *Anais do 7º ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO*, Campina Grande, 2008.
- CALFA, B. A.; TOREM, M. L. *Uso de biomassas em processos de combinação bioadsorção/flotação para remoção de metais pesados*. 2007. 69 f. Relatório de atividades do projeto de iniciação científica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.
- CHEN, X. *et al.* Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) waste as an adsorbent for phosphorus removal from swine wastewater. *Bioresource Technology*, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09608524>>. Acesso em: 17 dez. 2016.
- COELHO, G. F. *et al.* Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em águas. *Journal of Agronomic Sciences*, Umuarama, v. 3. n. especial, p. 291-317, 2014.
- COONEY, D. O. Adsorption design for wastewater treatment. Boca Raton: CRC Press, 1998. 208 p.

CRISPIM, S. C. L. *Remoção de cálcio (II) em solução aquosa por meio de carvões ativados submetidos a tratamentos superficiais*. 2009. 136 f. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

CRUZ, F. R. A. M; *et al.* Farinha da casca da banana: um bioissorvente para metais pesados de baixo custo. In: *Anais da 32° REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA*, Fortaleza, 2009.

DWIVEDI, S. *et al.* Screening of native plants and algae growing on fly-ash affected areas near National Thermal Power Corporation, Tanda, Uttar Pradesh, India for accumulation of toxic heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, v. 158, p. 359–365, 2008.

GASPAR, A. T. F. S. Bioadsorção de cromo em algas marinhas utilizando coluna extratora. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

GOMES, P. R. M. *Estudo do potencial de adsorção de íons zinco em sistemas aquosos utilizando casca e polpa de baru (Dipteryx alata) como adsorvente*. 2015. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis. 2015.

HAYASHI, A. M. *Remoção de cromo hexavalente através de processos de bioissorção em algas marinhas*. 2001. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2001.

HINZ, C. Description of sorption data with isotherm. *Geoderma*, v. 99, p. 225-243, 2001.

HOODA, P. S. (Org.) Trace elements in soils. 1. ed. Wiley. 2010. 618p.

JOHNSON, T. A.; JAIN, N.; JOSHI, H. C.; PRASAD, S. Agricultural and agro-processing wastes as low cost adsorbents for metal removal from wastewater: a review. *Journal of Scientific e Industrial Research*, v. 67, p. 647-658, 2008.

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. 4 ed. Boca Raton: CRC, 2011. 505 p.

KUBILAY, S. *et al.* Removal of Cu(II), Zn(II) and Co(II) ions from aqueous solutions by adsorption onto natural bentonite. *Adsorption*, v. 13, p.41–51, 2007.

KRATOCHVIL D.; VOLESKY, B. Advances in the biosorption of heavy metals. *Trends in Biotechnology*, v. 16, p. 291-300, 1998.

KURNIAWAN, T. A. *et al.* Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, v. 118, n. 1, p. 83-98, 2006.

LAVARDA, F. L. *Estudo do potencial de bioissorção dos íons Cd(II), Cu(II) e Zn(II) pela macrófita Eichhornia Crassipes*. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo. 2010.

LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. *Química Nova*, v. 27, n. 4, p. 670-673, 2004.

Luz, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Tratamento de Minérios. - 3ª ed. vol. 1. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2002. 965p.

MARTINS JÚNIOR, O. P. Palestra proferida no “Seminário de Tratamento e Destinação de Embalagens Vazias de Agrotóxicos”. Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAGRO), Goiânia, 2002.

MATOS, A.T. *et al.* Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em latossolo vermelho-amarelo. *Revista brasileira de ciências do solo*, v. 20, p. 379-386, 1996.

MATOUQ, M. *et al.* The Adsorption kinetics and modeling for heavy metals removal from wastewater by Moringa pods. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v.3, n. 2, p. 775-784, 2015.

McCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. Units operations of chemical engineering. In: SOUSA, L. L. *Otimização da produção de biodiesel através da reação de transesterificação do óleo de mamona utilizando um catalisador básico homogêneo*. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

MCKAY, G. Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewaters. Boca Raton: CRC Press, 1995. 208 p.

MEDEIROS, R. M. L.; SRUR, A. U. O. S.; PINTO, C. L. R. Estudo da biomassa de aguapé, para a produção do seu concentrado proteico. In: MARTINS, D. F. F. *Estudo integrado do potencial fitorremediador da Eichhornia crassipes em ambientes naturais e sua utilização para obtenção de extratos proteicos*. 2014. 162 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2014.

MENEZES, F. J. de S. *Teores de metais pesados na região do entorno do Lago de Sobradinho – BA*. 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro. 2014.

MILORD, D. R. Níquel. In: MONTEIRO, R. A. *Avaliação do potencial de adsorção de U, Th, Pb, Zn e Ni pelas fibras de coco*. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

MIMURA, A. M. S. *et al.* Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} e Zn^{2+} . *Revista Química Nova*, São Paulo, v. 33, n. 6, p. 1279-1284, 2010.

MONTEIRO, R. A. *Avaliação do potencial de adsorção de U, Th, Pb, Zn e Ni pelas fibras de coco*. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

MOREIRA, A. S. Utilização de bagaço de caju como bioadsorvente na remoção de metais pesados de efluente industrial. In: *Anais do II CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA (CONNEPI)*, João Pessoa, 2007.

MOREIRA, D. R. *Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia*. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2010.

MOURA, M. C. P. A. *Utilização de microemulsões como agentes modificadores de superfícies para remoção de íons metálicos*. 2001. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2001.

MUHAMMAD, S.; SHAH, M. T.; SARDAR KHAN, S. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. *Microchemical Journal*, n. 98, p. 334–343, 2011.

NASCIMENTO, R. F. *et al.* Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 p.

NETO, A. B. Ar condicionado por adsorção: Tecnologia e desenvolvimento. *E/A engenharia arquitetura*, 2013. Disponível em: www.engenhariaearquitectura.com.br, acessado dia 22 de fevereiro de 2016.

OLIVEIRA, J. A. *et al.* Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e de salvinia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, vol. 13, n. 3, p. 329-341, 2001.

- OLIVEIRA, J. A.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e salvinia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 13, n. 3, p. 329-341, 2001.
- PAGNANELLI, F. *et al.* Equilibrium biosorption studies in single and multi-metal systems. *Process Biochemistry*, v. 37, p. 115 -124, 2001.
- PANTOJA, M. C. *Potencial do Guarumã com biossorvente para remoção de íons de cobalto de solução aquosa*. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Química, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá. 2016.
- PAVIA, D.L. *et al.* Introdução à Espectroscopia. 4. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2009.
- PEREIRA, F. V. *Remoção de íons zinco (II) de efluentes derivados de processos de galvanoplastia utilizando rejeitos de fibras vegetais modificadas quimicamente*. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2008.
- PIETROBELLI, M. T. A. *Avaliação do potencial de biossorção do íons Cd (II), Cu (II) e Zn (II) pela macrófita egeria densa*. 2007. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo. 2007.
- PIMENTEL, A. M. R. *Remoção de Co(II) e Mn(II) de soluções aquosas utilizando a biomassa r. opacus*. 2011. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011.
- PINO, G. A. *Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (Cocos nucifera)*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2015.
- PINO, G. H.; TOREM, M. L. Aspectos fundamentais da biossorção de metais não ferrosos – estudo de caso. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 57-63, 2011.
- PRASAD, M. N. V. Trace elements as contaminants and nutrients: consequences in ecosystems and human health. 1ed. Wiley, 2008. 790 p.
- RATTNER, H. Meio ambiente, saúde e desenvolvimento sustentável. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 14, n. 6, p.1965-1971, 2009.
- RECATALÁ, L. *et al.* Can be reference values of heavy metals useful as soil quality standards? Contributions from assays in representative Mediterranean agricultural soil. In: *Anais do XIX WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, SOIL SOLUTIONS FOR A CHANGING WORLD*, Brisbane. 2010. p. 23-26.

RIZZINI, C. T. Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. 2. ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 1997. 747 p.

RUBEM, S. Manual de elementos químicos. In: BASTOS, Andréa de Castro. *Adsorção dos íons cobre, cobalto e níquel na superfície organofuncionalizada 3(2-Amino-1,3,4-Tiadiazol) sílica gel, ATDSG*. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Química dos Materiais) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2012.

SCHIEWER, S.; VOLESKY, B. Modeling of the proton-metal ion exchange in biosorption. *Environmental Science and Technology*, v. 29, n. 12, p. 3049-3058, 1995.

SCHNEIDER, I. A. H.; RUBIO J. Plantas aquáticas: adsorventes naturais para a melhoria da qualidade das águas. In: *XIX PRÊMIO JOVEM CIENTISTA – ÁGUA: FONTE DE VIDA*, 2003.

SILVA, C. S. Níquel. In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Balanço Mineral Brasileiro. Brasília, DNPM, 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>>. Acesso em: 21 dez. 2016.

SILVA, H. B. *Utilização do talo do cacho da pupunheira como bioissorvente para remoção de Cu (II) de soluções aquosas*. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Química, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá. 2015.

SILVA, J. L. B. C. *et al.* Biossorção de metais pesados: uma revisão. *Revista saúde e ciência online*, v 3(3), p. 137-149, 2014.

SILVA, R. P. *Remoção de metais pesados em efluentes sintéticos utilizando vermiculita como adsorvente*. 2010. 89 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010.

SINGHAL, R. K.; MEHROTRA, A. K. Process for the treatment of effluents on the mining. In: *Anais do II INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ISSUES AND MANAGEMENT OF WASTE IN ENERGY AND MINERAL PRODUCTION*, Calgary, Canada. 1992.

SiSTSP - Banco de Plantas Notáveis - Projeto Tudo Sobre Plantas - Rio de Janeiro. Disponível: <<http://www.tudosobreplantas.com.br/www>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J. *Fundamentals of Analytical Chemistry*. 6. ed. International Edition: Saunders College/Harcourt Brace, 1992.

SOUZA, J. V. T. M. *et al.* Adsorção de cromo (III) por resíduos de laranja in natura e quimicamente modificados. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, Londrina, v. 33, n. 1, p. 03-16, 2012.

TARLEY, C. R. T.; ARRUDA, M.A.Z. Biosorption of heavy metals using rice milling by-products. Characterization and application for removal of metals from aqueous effluents. *Chemosphere*, v. 54, p. 987-995, 2004.

TIBURTIUS, E. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P. G.; LEAL, E. S. Contaminação de águas por BTXs e processos utilizados na remediação de sítios contaminados. *Química Nova*, v. 27, n. 3, p. 441-446, 2004.

TÜZEN, M. Determination of heavy metals in fish samples of the middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, v. 80, n. 1, p. 119-123, 2003.

VOLESKY, B. Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. *Hydrometallurgy*, v. 59, n. 2–3, p. 203-216, 2001.

VOLESKY, B. Sorption and biosorption, St. Lambert: BV Sorbex, Inc., 2004. 326 p.

WANG, C. C. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: a review. *Biotechnology Advances* 24, p.427–451. 2006.

ZHOU, P. *et al.* Heavy metal removal from wastewater in fluidized bed reactor. *Water Research*, v. 33, n. 8, p. 1918-1924, 1999.

ZMOZINSKI, A. V. *Desenvolvimento de método para determinação de cálcio, magnésio e zinco em amostras de óleo lubrificante por espectrometria de absorção atômica com chama*. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2010.