



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**  
**INSTITUTO DE QUÍMICA**

**DETERMINAÇÃO DOS METAIS PESADOS Cd, Cu, Cr E  
Pb NAS ÁGUAS DO RIO UBERABINHA E PROPOSTA DE  
ADSORÇÃO POR ADSORVENTES NATURAIS**

**ORIENTADA:** DAYANA BORGES BITTAR

**ORIENTADORA:** PROF<sup>a</sup> DRA. EFIGÊNIA AMORIM

**CO-ORIENTADOR:** PROF. DR. ANTONIO TARANTO GOULART

UBERLÂNDIA, JUNHO DE 2008.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**  
**INSTITUTO DE QUÍMICA**

**DETERMINAÇÃO DOS METAIS PESADOS Cd, Cu, Cr E  
Pb NAS ÁGUAS DO RIO UBERABINHA E PROPOSTA DE  
ADSORÇÃO POR ADSORVENTES NATURAIS**

DAYANA BORGES BITTAR

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Química da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Química.

**Orientadora:**

Prof.<sup>ª</sup> Dra. Efigênia Amorim - IQ/UFU - Uberlândia/MG

**Co-Orientador:**

Prof. Dr. Antonio Taranto Goulart / UNIPAM – Patos de Minas/MG

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

B624d Bittar, Dayana Borges, 1982-  
Determinação dos metais pesados Cd, Cu, Cr e Pb nas águas do Rio Uberabinha  
e proposta de adsorção por adsorventes naturais / Dayana Borges Bittar. - 2008.

71 f. : il.

Orientador: Efigênia Amorim.

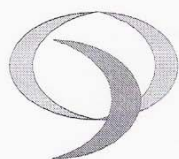
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Química.

Inclui bibliografia.

1. Uberabinha, Rio (MG) - Teses. 2. Água - Poluição - Teses. 3. Metais pesados - Teses. I. Amorim, Efigênia. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Química. III. Título.

CDU: 556.53(815.1)

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
Instituto de Química  
Programa de Pós Graduação em Química- MESTRADO  
E-mail: [cpgquimica@ufu.br](mailto:cpgquimica@ufu.br) - Fone: 3239-4385



**ALUNO(A): DAYANA BORGES BITTAR**

**NÚMERO DE MATRÍCULA: 5061402**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: QUÍMICA**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA: NÍVEL MESTRADO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:**

*“Determinação dos metais pesados Cd, Cu, Cr e Pb nas águas do Rio Uberabinha e proposta de adsorção por adsorventes naturais”*

**ORIENTADOR:**

**PROF<sup>a</sup> DRA. EFIGÊNIA AMORIM**

A Dissertação foi **APROVADA** em apresentação pública realizada na sala 209 do Bloco 3Q, no Campus Santa Mônica, no dia 27 de junho de 2008, às 14:00 horas, tendo como Banca Examinadora:

NOME:

Prof<sup>a</sup> Dra. Efigênia Amorim

(Instituto de Química / UFU)

Prof. Dr. Sebastião de Paula Eiras

(Instituto de Química / UFU)

Prof. Dr. Antônio José Guaritá dos Santos

(UnB)

ASSINATURA:

Uberlândia, 27 de junho de 2008.

"O mundo é um lugar perigoso de se viver,  
não por causa daqueles que fazem o mal,  
mas sim por causa daqueles que observam  
e deixam o mal acontecer".

**Albert Einstein**

Dedico este trabalho aos meus pais, Lindomar e Norma, a meus irmãos, Deivid e Daniela, ao meu namorado, Bruno, e a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, muito me apoiaram.

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, pelo dom da vida!*

*À professora Dra. Efigênia Amorim, que com sagacidade contribuiu para a minha formação acadêmica, orientando-me com empenho e sabedoria. Muito obrigada por tudo e, principalmente, pela amizade!*

*Ao professor Dr. Antônio Taranto Goulart, pela disposição e boa vontade em apresentar-se como co-orientador e pelas indispensáveis sugestões.*

*Aos professores do Instituto de Química, da Universidade Federal de Uberlândia e aos do Centro Universitário de Patos de Minas, que compartilharam seus conhecimentos com bom senso e dedicação.*

*Aos membros da Banca Examinadora deste trabalho, pelas valiosas críticas e sugestões.*

*Ao técnico em laboratório, Gilberto Franklin e ao Engenheiro de Produção, Saulo de Lima Bernardes, nas pessoas dos quais agradeço à COPASA/MG, pela disponibilidade e boa vontade em disponibilizar aparelhos da empresa para análises.*

*Ao técnico em laboratório, Ildo Borges, pela compreensão imensurável e companheirismo.*

*À Norma, mãe, amiga e incentivadora, pelas excelentes e indispensáveis críticas.*

*Ao meu pai e meus irmãos, pelo companheirismo e apoio.*

*Ao Bruno, companheiro incondicional de todos os momentos.*

*À Cleide S. A. Tavares e ao Edmar I. Melo, bem como aos alunos de iniciação científica Cleiseano E. Paniagua, Karla A. D. Pires e Vanessa N. Alves, pela amizade, paciência e cooperação. A convivência nos fará falta!*

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x

### CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO.....	1
1 RIO ÜBERABINHA.....	3
2 METAIS PESADOS.....	5
2.1 CÄDMIO.....	8
2.3 CHUMBO.....	8
2.4 COBRE.....	9
2.5 CROMO.....	10
3 PARÄMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS.....	11
3.1 ANÄLISE INSTRUMENTAL.....	11
4 <i>Moringa oleifera</i> .....	12
5 ARGILA.....	15
6 ADSORÇÃO.....	16

### CAPÍTULO II

OBJETIVOS.....	17
----------------	----

### CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL.....	18
1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
1.1 DETERMINAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DAS ÁGUAS DO RIO ÜBERABINHA.....	21
1.1.1 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS.....	21



1.1.2	SÓLIDOS EM SUSPENSÃO.....	22
1.1.3	COR.....	23
1.1.4	TURBIDEZ.....	23
1.1.5	TEMPERATURA.....	23
1.1.6	CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS.....	24
1.1.7	OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	24
1.1.8	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO.....	25
2	ENSAIOS DE ADSORÇÃO COM OS ADSORVENTES NATURAIS.....	26
2.1	INSTRUMENTAÇÃO.....	26
2.2	<i>Moringa oleifera</i> COMO ADSORVENTE.....	26
2.3	MATERIAL ARGILOSO COMO ADSORVENTE.....	29
3	DISPOSIÇÃO FINAL DO RESÍDUO.....	29

#### **CAPÍTULO IV**

	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>31</b>
1	<b>ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....</b>	<b>31</b>
2	<b>ENSAIOS DE ADSORÇÃO DOS METAIS PESADOS Cd, Cu, Cr e Pb COMO OS ADSORVENTES MORINGA E O MATERIAL ARGILOSO.....</b>	<b>41</b>
3	<b>EFEITO DO TEMPO DE CONTATO NA ADSORÇÃO.....</b>	<b>42</b>
4	<b>EFEITO DA MASSA DO ADSORVENTE NA ADSORÇÃO.....</b>	<b>45</b>
5	<b>PRODUTO DA REMEDIAÇÃO.....</b>	<b>48</b>

#### **CAPÍTULO V**

1	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>50</b>
2	<b>PROPOSTAS DE CONTINUIDADE.....</b>	<b>51</b>

#### **CAPÍTULO VI**

	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
--	-------------------------	-----------

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Valores máximos permitidos (VMP's) de metais em águas de Classe 3.....	<b>6</b>
<b>Tabela 2</b>	Composição química das sementes de Moringa.....	<b>14</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Pontos de coleta.....	<b>20</b>
<b>Figura 2</b>	Sementes inteiras e trituradas (peneiradas 32 mesh ou 0,5 mm) da <i>Moringa oleifera</i> .....	<b>27</b>
<b>Figura 3</b>	Sistema de agitação por tombamento.....	<b>28</b>
<b>Figura 4</b>	Material argiloso seco e peneirado (32 mesh).....	<b>29</b>
<b>Figura 5</b>	Sólidos totais dissolvidos nos seis pontos de coleta.....	<b>32</b>
<b>Figura 6</b>	Sólidos em suspensão nos seis pontos de coleta.....	<b>33</b>
<b>Figura 7</b>	Temperatura nos seis pontos de coleta.....	<b>34</b>
<b>Figura 8</b>	Cor encontrada nos seis pontos de coleta.....	<b>35</b>
<b>Figura 9</b>	Turbidez analisada nos seis pontos de coleta.....	<b>36</b>
<b>Figura 10</b>	Oxigênio Dissolvido nos seis pontos de coleta.....	<b>37</b>
<b>Figura 11</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio nos seis pontos de coleta.....	<b>38</b>
<b>Figura 12</b>	Porcentagem de remoção de cádmio em função do tempo de agitação utilizado ambos adsorventes.....	<b>42</b>
<b>Figura 13</b>	Porcentagem de remoção de cromo em função do tempo de agitação utilizado ambos adsorventes.....	<b>43</b>
<b>Figura 14</b>	Porcentagem de remoção de cobre em função do tempo de agitação utilizado ambos adsorventes.....	<b>44</b>
<b>Figura 15</b>	Porcentagem de remoção de chumbo em função do tempo de agitação utilizado ambos adsorventes.....	<b>45</b>
<b>Figura 16</b>	Porcentagem de remoção de cádmio em função da massa de ambos adsorventes.....	<b>46</b>
<b>Figura 17</b>	Porcentagem de remoção de cromo em função da massa de ambos adsorventes.....	<b>46</b>
<b>Figura 18</b>	Porcentagem de remoção de cobre em função da massa de ambos adsorventes.....	<b>47</b>
<b>Figura 19</b>	Porcentagem de remoção de chumbo em função da massa de ambos adsorventes.....	<b>48</b>
<b>Figura 20</b>	Tijolo contendo metal pesado + adsorvente.....	<b>49</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b>	Freqüência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água.....	<b>4</b>
<b>Quadro 2</b>	Localização dos pontos de coleta.....	<b>19</b>
<b>Quadro 3</b>	Técnicas de preservação de amostras para exames físicos e químicos.....	<b>21</b>
<b>Quadro 4</b>	Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos metais nos oito meses de coleta no rio Uberabinha.....	<b>39</b>

## RESUMO

Problemas relacionados à poluição de rios, córregos, lagos, e outros, vêm colocando em pauta a imprescindível urgência em estarmos mudando de atitude e propondo métodos de remediação para os corpos hídricos que abastecem toda uma população de seres vivos. Sendo o Rio Uberabinha uma fonte de água de importância vital para a região de Uberlândia/MG, este trabalho teve por objetivo verificar suas reais condições por meios de análises físicas (STD, SS, cor, turbidez, temperatura) e químicas [DBO, OD, concentração dos metais cádmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr) e chumbo (Pb)]. E ainda, propor um método de remediação de águas que apresentem concentrações dos metais pesados Cd, Cu, Cr e Pb acima do valor máximo permitido pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG 01/2008 por adsorção, com auxílio de adsorventes naturais como a *Moringa oleifera* e um material argiloso, utilizado para a fabricação de tijolos. A quantificação do teor dos metais após o tratamento com os adsorventes foi realizada por espectrometria da absorção atômica com chama (FAAS). Como referência, uma curva de calibração padrão para cada metal foi indispensável. Após a etapa de determinação dos metais pesados, soluções dos mesmos com concentrações superiores àquelas encontradas nas águas do rio, foram simuladas e tratadas com os adsorventes naturais moringa e o material argiloso, separada e respectivamente. Para os ensaios de adsorção, em batelada, inicialmente foi realizada a agitação por tombamento variando-se o tempo de contato (10, 20, 30 e 40 min) e deixando constantes: pH, temperatura, velocidade de rotação, volume, concentração e massa dos adsorventes. Num segundo momento, a massa dos adsorventes foi variada (10, 20, 40, 60 e 100 mg), onde permaneceram constantes: pH, temperatura, volume, concentração da solução, velocidade de rotação e tempo de contato. Os resultados foram bastante satisfatórios mostrando estar os parâmetros físico-químicos dentro do permitido por lei, com exceção do teor de metais pesados encontrados nas águas do rio. Para a adsorção, 10 mg do material argiloso em um tempo de contato de 10 minutos com as soluções dos metais foram suficientes para 100% de remoção dos mesmos. A moringa alcançou valores próximos aos do material argiloso, exceto para o metal Cd, mostrando ser ambos adsorventes bastante eficazes no auxílio à descontaminação de águas poluídas por metais pesados, porém o material argiloso destacou-se sobremaneira.

**Palavras-chave:** *Moringa oleifera*. Material Argiloso. Metais Pesados. Remediação Química.

## ABSTRACT

Problems related to the pollution of rivers, streams, lakes and others, have been putting into discussion the indispensable urgency of attitude changes and proposing remediation methods to the hybrids bodies which supply the whole population of living beings. As Uberabinha River is a water source of vital importance to the region of Uberlândia/MG, this project has as its objective verifying its real conditions through physical [TDS, SS, color, turbidity, temperature) and chemical analyses (BOD, DO, metal concentration such as cadmium, (Cd), copper (Cu), chromium (Cr) and lead (Pb)]. Also, proposing a water remediation method which presents heavy metal concentrations Cd, Cu, Cr and Pb higher than the maximum value allowed by Normative Deliberation COPAM/CERH-MG 01/2008 by adsorption, with the help of natural adsorbents as *Moringa oleifera* and a clayish material, used for making bricks. The quantification rate of metals after the treatment with adsorbents was made by flame atomic absorption spectrometry (FAAS). With reference, a standard calibration curve for each metal was essential. After the heavy metal determination phase, solutions of the same ones were simulated and treated with the natural adsorbents moringa and clayish material, separated and respectively. To the adsorption test, in scads, an agitation by canting was initially accomplished varying the time of contact (10, 20, 30 and 40 minutes) and letting constant: pH, temperature, rotation speed, adsorbent concentration and mass. In a second moment, the mass of adsorbents was varied (10, 20, 30, 60 and 100 mg), where pH, temperature, volume, solution concentration, rotation speed and contact time remained constant. The results were quite satisfactory showing that the physical-chemical parameters were according to what law permits, except for the rate of heavy metals found in the river waters. To an adsorption, 10 mg of clayish material in a 10 minute contact time with metal solutions were sufficient to 100% of removal of the same ones. The moringa reached values close to the clay ones, except for Cd metal, showing that both adsorbents are very efficient in aid to decontamination of polluted waters by heavy metals, however, clay distinguished greatly.

**Key words:** *Moringa oleifera. Clayish Material. Heavy Metals. Chemical Remediation.*

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

A superfície da Terra é compreendida por quatro meios distintos: a atmosfera, a hidrosfera, a biosfera e a litosfera. A presença de poluentes nesses meios pode ocorrer nas fases sólida, líquida ou gasosa. No entanto, o ambiente não é um sistema simples e, conseqüentemente, em cada um dos quatro meios pode conter poluentes nos três estados físicos (HARRISON, 1999).

Independente do estado físico, substâncias químicas potencialmente tóxicas em concentrações elevadas, as quais poluem os solos, o ar e os ecossistemas aquáticos são resultado direto do intenso crescimento global, devido ao avanço da industrialização e da urbanização. Desta maneira, podemos dizer que poluição é comumente definida como a adição de substâncias, pela ação antrópica, no ambiente, o que pode causar dano à saúde humana ou ao ecossistema natural. Essa definição exclui “poluição natural”, embora processos naturais também possam liberar substâncias prejudiciais no ambiente (RADOJEVIĆ e BASHKIN, 1999), ou seja, a poluição é principalmente, embora não exclusivamente, química na natureza.

De acordo com Vieira (2005) e Fellenberg (1980), a poluição pode ser qualquer modificação biológica, física ou química que perturbe ou transforme um ecossistema, alterando também sua composição animal e vegetal. Von Sperling (2005) assegura que a mesma é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudicam a saúde, a segurança e o bem estar da população, criando condições adversas às atividades sócio-econômicas, afetando desfavoravelmente a biota e as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente e lançando resíduos em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

A água é um recurso natural de inegável valor. Formada pelos átomos de hidrogênio e oxigênio em sua proporção de 2:1, a água tem por uso principal os abastecimentos doméstico e industrial, a irrigação, dessedentação de animais, preservação da fauna e da flora, recreação e lazer, criação de espécies aquáticas, geração de energia, navegação, diluição e transporte de despejos (VON SPERLING, 2005). Ela é um dos produtos mais preciosos, embora esteja sendo tomada como privilégio, por não ser acessível a

toda população. Nenhum ser vivo sobrevive sem a mesma, a qual também é usada para manter a higiene pessoal. É impossível esgotar as fontes de água, por ela ser continuamente reciclada através do ciclo hidrológico, no entanto, é possível degradá-la a um ponto onde apresentar-se-á ineficaz, prejudicial ou mesmo mortal. A poluição da água tem afetado seriamente muitos lagos, rios e mesmo parte definida dos oceanos (RADOJEVIĆ e BASHKIN, 1999).

A água que não é útil para beber, lavar, irrigar ou ter uso industrial é considerada como água poluída. A poluição pode ser devido a problemas térmicos, metais tóxicos, solventes orgânicos e matéria orgânica, ácidos ou bases. A água pode ser considerada poluída para alguns usos, mas não para outros. É poluída principalmente pela atividade humana, mas também por causas naturais como o assoreamento dos rios (que também pode ser causado pela ação humana) e a lixiviação de metais de rochas e do solo. A presença de matéria orgânica oriunda de animais ou de vegetais em decomposição também são fontes de poluição (KLEIN, 2007).

A poluição da água indica que um ou mais de seus usos foram prejudicados, podendo atingir o homem de forma direta, pois ela é usada por este para ser bebida, para tomar banho, para lavar roupas e utensílios e, principalmente, para sua alimentação e dos animais domésticos. Por isso, a água deve ter aspecto limpo, pureza de gosto e estar isenta de microrganismos patogênicos, o que é conseguido através do seu tratamento, desde a retirada dos rios até a chegada nas residências urbanas ou rurais.

Os reservatórios naturais vêm se tornando celeiros de uma multiplicidade de subprodutos provenientes da atividade antrópica (YABE e OLIVEIRA, 1998) em várias ou, praticamente, quase todas as bacias hidrográficas do país.

O uso indiscriminado de pesticidas, bem como de suas embalagens lançadas no rio, a presença de dragas destruindo suas matas ciliares e assoreando-o, o lançamento de esgotos doméstico e industrial (sem tratamentos prévios), óleos despejados por mecânicas, postos de gasolina e empresas de transporte rodoviário, a lixiviação de rochas e solos são fatores que contribuem significativamente para a destruição da vida ativa dos rios (SILVA, 2006).

Está claro que o controle da poluição da água deveria ser de responsabilidade de todo cidadão. O conhecimento das fontes, interações e efeitos dos poluentes são essenciais para o controle desses últimos (MANAHAN, 2001).

No Triângulo Mineiro ainda existe carência de pesquisas acerca dos problemas que envolvem recuperação e preservação dos recursos naturais, especialmente os hídricos.



O Rio Uberabinha, principal fonte de água para o abastecimento da cidade de Uberlândia/MG, importante afluente do Rio Grande, é o receptor de todos os despejos urbanos clandestinos e industriais, que não tratam seus efluentes, dessa e de outras cidades, fato este que torna imprescindível propor e empreender um manejo adequado de sua bacia em caráter de urgência.

Devido à sensibilização pelas causas das questões ambientais buscou-se desenvolver um trabalho que pudesse atender à demanda de conhecimentos sobre a qualidade das águas do Rio Uberabinha na cidade de Uberlândia/MG, principalmente em relação ao desequilíbrio ecológico por metais pesados.

## **1 RIO UBERABINHA**

Uberlândia encontra-se localizada na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Estado de Minas Gerais, Região Sudeste do Brasil, com coordenadas geográficas 18°55'07''S e 48°16'38'' (SEPLAMA, 2007).

A cidade, que desde 1960 vive acelerado crescimento urbano, apresenta problema com a preservação do meio ambiente, sofrendo processos de drenagens e aterramentos, dando lugar a vias de trânsito rápido ou edificações, contando ainda com impactos por desmatamentos, voçorocamentos, deposições de lixos, entulhos e ocupações por pastagens e cultivo de hortaliças (BRANDÃO e LIMA, 2002).

O município de Uberlândia é drenado pelas bacias hidrográficas do Rio Tijuco e Rio Araguari, ambos afluentes do Rio Paranaíba. A Bacia do Rio Araguari abrange a porção leste do município. Seu principal afluente, na área do município, é o Rio Uberabinha, que passa dentro da cidade de Uberlândia. O Rio Uberabinha, integrante da Bacia do Rio Araguari, é de grande importância para a cidade, constituindo-se em conjunto com seus afluentes, no manancial utilizado para o abastecimento de água para a população. Ele nasce ao norte do município de Uberaba e atravessa todo o município de Uberlândia, até desembocar no Rio Araguari, à noroeste do município, numa extensão total de 150 km (SEPLAMA, 2007).

A Bacia do Rio Uberabinha tem chamado muito a atenção da sociedade, que atualmente inicia o processo de sensibilização da problemática ambiental vigente resultante dos impactos antrópicos. Esta preocupação decorre do fato de ser essa bacia a basal fonte

hídrica no abastecimento público e que na atualidade apresenta-se em grave processo de degradação (CRUZ, 2003).

Um monitoramento de parâmetros físicos e químicos, a fim de controlar os reais valores de poluentes, como os metais pesados, que se destacam sobremaneira pela sua notabilidade, existentes ou não no rio, comparando-os com a concentração máxima permitida pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM / CERH-MG nº 01 de 2008, publicada em 05/05/2008, torna-se imprescindível, por ser o rio a fonte de água doce que abastece todo um público, as indústrias, a atividade agropecuária em toda a região e ainda recebe todo o esgoto doméstico da cidade de Uberlândia/MG [após o tratamento nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE)] e cidades circunvizinhas, bem como efluentes industriais, que em sua maioria também são tratados antes de serem lançados no rio.

Esse monitoramento, segue o que é proposto pelo Ministério da Saúde Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, a qual estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. O quadro 1 indica a frequência mínima de amostragem para o controle de qualidade da água em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.

**Quadro 1:** Frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água.

Parâmetro	Tipo de Manancial	Saída do Tratamento (número de amostras por unidade de tratamento)	Sistema de distribuição (reservatórios e redes)		
			População abastecida		
			< 50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	>250.000 hab.
<b>Cor, Turbidez pH, Fluoreto</b>	Superficial	A cada 2 horas	Mensal	Mensal	Mensal
	Subterrâneo	Diária			
<b>Cloro Residual Livre</b>	Superficial	A cada 2 horas	(Conforme § 3º do artigo 18).		
	Subterrâneo	Diária			
<b>Cianotoxinas</b>	Superficial	Semanal (Conforme § 5º do art. 18)	-	-	-
<b>Trihalometanos</b>	Superficial	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
	Subterrâneo	-	Anual	Semestral	Semestral
<b>Demais parâmetros</b>	Superficial ou subterrâneo	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral

Fonte: BRASIL, 2004.

## 2 METAIS PESADOS

Metais pesados é um termo coletivo aplicado a um grupo de metais ou metalóides com uma densidade atômica maior que  $6 \text{ g/cm}^3$  (ALLOWAY e AYRES, 1997).

Eles são absolutamente não-degradáveis e acumulam-se nos elementos do meio ambiente manifestando sua toxicidade (BAIRD, 1998).

Elemento traço é um termo que refere àqueles elementos que ocorrem em níveis muito baixos de poucas partes por milhão ou menos em um dado sistema. O termo substância traço é mais aplicado, geralmente, a ambos os elementos e compostos químicos (MANAHAN, 2001).

Por estarem presentes na água em baixas concentrações se comparados a outros íons ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , etc.), os metais pesados podem ser referidos como metais traços. Muitos dos metais traço são altamente tóxicos para os humanos e outros organismos vivos, e suas presenças nas águas, acima da concentração limite permitida por lei, são indesejáveis (RADOJEVIC e BASHKIN, 1999).

De acordo com a COPAM/CERH-MG 01/2008, a qual estabelece normas e padrões para a qualidade das águas, lançamentos de efluentes nos cursos de água e dá outras providências, para as águas de Classe 3, que é o caso do Rio Uberabinha, são estabelecidas as seguintes condições:

- $\text{DBO}_{5,20}$  até  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{O}_{2(g)}$ ;
- OD, em qualquer amostra, acima de  $4 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{O}_{2(g)}$ ;
- Turbidez até 100 UNT;
- Cor até 75 mg Pt/L.

Já para as substâncias potencialmente prejudiciais, como é o caso dos metais pesados, a tabela 1 indica os valores máximos permitidos (VMP's) de acordo com a resolução da COPAM/CERH-MG 01/2008.

**Tabela 1:** Valores máximos permitidos (VMP's) de metais em águas de Classe 3.

Metal	Valor Máximo Permitido (mg.L <sup>-1</sup> )
Cádmio	0,01
Chumbo	0,05
Cobre	0,5
Cromo (Total)	0,05

**Fonte:** COPAM/CERH-MG 01/2008.

Os metais pesados não podem ser destruídos e são altamente reativos do ponto de vista químico, o que explica a dificuldade de encontrá-los em estado puro na natureza. Normalmente apresentam-se em concentrações muito baixas, associados a outros elementos químicos, formando minerais em rochas. Quando lançados na água como resíduos industriais, podem ser absorvidos pelos tecidos animais e vegetais (GREENPEACE, 2007).

Alguns metais pesados são substâncias altamente tóxicas e não são compatíveis com a maioria dos tratamentos biológicos de efluentes existentes. Dessa forma, efluentes contendo metais pesados não devem ser descartados na rede pública para tratamento em conjunto com o esgoto doméstico. As principais fontes de poluição por metais pesados são provenientes desses efluentes industriais, de mineração e das lavouras (AGUIAR, NOVAES e GUARINO, 2002).

A bioacumulação desses metais, através das cadeias alimentares, agrava ainda mais a questão dos riscos à vida dos seres vivos, pois quando o último consumidor ingerir seu alimento, este já apresentará uma alta concentração de metal pesado devido a essa acumulação de produtor para consumidor e de consumidor para consumidor.

Os principais metais pesados envolvidos nesse sério problema de poluição ambiental são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Ti e Zn.

Segundo Bailey *et al.* (2002, p.380):

A contribuição de metais e seus íons para os problemas de poluição são de sério interesse, principalmente porque os efeitos fisiológicos de alguns deles podem ser substanciais, mesmo que as concentrações sejam extremamente baixas (Tradução livre).

Tais espécies químicas podem ser encontradas em concentrações elevadas no ar, devido à incineração de lixo urbano e industrial que provoca a sua volatilização e formam cinzas ricas em metais, ou em corpos d'água por meio da emissão de efluentes industriais, principalmente de indústrias metalúrgicas e, ainda, por laboratórios que não efetuam o tratamento adequado do efluente (TARLEY e ARRUDA, 2003).

Através dessa visão, pode-se verificar o alto grau de periculosidade em se tratando da presença de metais pesados em corpos de água que abastecem perímetros urbanos e rurais.

A composição dos corpos hídricos depende bastante do ganho de resíduos que os mesmos recebem diariamente, mas apenas o lançamento destes não é determinante do alto grau de poluição. O mais importante é a maneira com a qual esses metais estão sendo lançados, se solubilizados em formato de íons, se propensos à solubilização ao entrar em contato com a água ou algum ligante presente na mesma ou já ligados a um ou mais ligantes.

De acordo com Carmo, Boaventura e Oliveira (2005, p.565),

A distribuição e disponibilidade de elementos químicos dependem não só das suas concentrações, mas de suas associações químicas e físicas nos sistemas naturais, influenciados pelas condições ambientais, intemperismo natural ou ações antrópicas.

Os metais, principalmente os metais pesados, ao contrário das substâncias orgânicas, em concentrações elevadas, necessitam de maior preocupação, principalmente por não serem degradáveis, nem química nem biologicamente, o que permite a eles perseverarem-se por longo tempo no meio ambiente (COTTA, RESENDE e PIOVANI, 2006 ; TARLEY e ARRUDA, 2003).

Como todas as formas de vida presentes na Terra dependem da água para a sobrevivência, principalmente o ser humano, que necessita consumi-la várias vezes ao dia, sua preservação e seu uso adequado tornam-se imprescindíveis, bem como o monitoramento de metais pesados em corpos hídricos responsáveis pelo provimento de água em cidades e em zonas rurais.

Trabalhar-se-á, nesse estudo, com o Cd, Cu, Cr e Pb, a presença ou não desses no corpo hídrico do Rio Uberabinha, suas quantidades, a remoção desses metais de soluções preparadas em laboratório com concentração acima da permitida pela COPAM/CERH-MG 01/2008 através de adsorventes naturais, para minimizar suas concentrações a valores próximos ou menores que os permitidos antes de serem lançados no meio ambiente, bem como a remediação do resíduo obtido (adsorvente/metal) a partir dos ensaios experimentais.

## 2.1 CÁDMIO

O cádmio (Cd) é um elemento não-essencial e altamente tóxico para plantas e animais. É mais móvel no ambiente aquático que a maioria dos outros metais pesados e pode ser removido da água por precipitação, adsorção da superfície mineral e complexado com a matéria orgânica (ANJOS, 2003).

Pequenas quantidades de cádmio são lançadas ao meio ambiente por fontes naturais, através das rochas, incêndios em florestas e vulcões, mas, principalmente por meio de atividades antrópicas como queima de carvão mineral, resíduos industriais e domésticos e em processos de mineração e refino de metais. Podem contaminar as águas principalmente pela disposição inadequada de resíduos domésticos e industriais. Outra fonte importante de contaminação é a incorporação de fertilizantes contaminados por cádmio. Em regiões industriais, a contaminação da água pode ocorrer por meio de derrames de resíduos e de efluentes contaminados (CARDOSO e CHASIN, 2001).

O cádmio na água aparece por descargas industriais e alguns desperdícios. Ele é extensamente usado em chapeamento de metais. Quimicamente, é muito similar ao zinco, e esses dois metais, frequentemente, sofrem processos geoquímicos juntos. Ambos são encontrados na água no estado de oxidação 2+ (MANAHAN, 2001).

Os efeitos tóxicos do Cd nos humanos são bastante sérios por o mesmo não ser essencial para os animais. É extremamente tóxico e acumula-se nos rins e no fígado (APHA, 1998). Entre outros efeitos, ele provoca o aumento da pressão sanguínea, lesão no rim, destruição do tecido testicular e destruição das células vermelhas do sangue. Acredita-se que muitas das ações fisiológicas do cádmio aparecem pela similaridade química com o zinco (MANAHAN, 2001).

## 2.2 CHUMBO

O chumbo no ambiente está geralmente presente como chumbo inorgânico  $Pb^{2+}$  (APHA, 1998; RADOJEVIC e BASHKIN, 1999; MANAHAN, 2001).

Compostos organometálicos de chumbo, como o tetrametilchumbo  $(\text{CH}_3)_4\text{Pb}$ , trimetilchumbo  $(\text{CH}_3)_3\text{Pb}^+$  e dimetilchumbo  $(\text{CH}_3)_2\text{Pb}^{2+}$ , estão presentes em concentrações bem menores do que o chumbo inorgânico (RADOJEVIC e BASHKIN, 1999).

Apesar de um crescimento notório do uso de chumbo pelas indústrias, evidências de suas amostras e outras fontes indicam que a carga desse metal pesado tem diminuído bastante durante décadas recentes. Isso pode ser, em parte, o resultado do reduzido uso de chumbo em encanamento e outros produtos que venham a ter contato com comida ou bebida (MANAHAN, 2001).

Ele está presente em vários produtos (tubulações, munição, solda, pintura, gasolina), mas devido à sua alta toxicidade muitos dos seus usos têm sido interrompidos. No passado, a principal preocupação da presença de chumbo na água destinada ao consumo era devido ao uso de encanamento de chumbo em casas antigas (RADOJEVIC e BASHKIN, 1999).

Chumbo não é essencial para plantas e animais. É tóxico por ingestão e é um veneno cumulativo (APHA, 1998).

Intoxicações agudas por chumbo nos humanos podem causar severa disfunção no rim, sistema reprodutivo, fígado, cérebro, e sistema nervoso central conduzindo a doenças ou mesmo a morte. Intoxicação por chumbo por exposição ambiental pode ter causado retardação mental em muitas crianças. Suave intoxicação causa anemia. A vítima pode ter dores de cabeça e músculos doloridos, e pode sentir fadiga e irritabilidade generalizada (MANAHAN, 2001 e RADOJEVIC e BASHKIN, 1999).

Exceto em casos isolados, chumbo não é o problema principal na água a ser ingerida, embora o potencial exista em casos onde velhos canos (tubos) de chumbo estão ainda em uso (MANAHAN, 2001).

### **2.3 COBRE**

Cobre é usado extensivamente em ligas, encanamento, fios, pinturas, cerâmicas, pigmentos, pesticidas e na indústria química (APHA, 1998 e RADOJEVIC e BASHKIN, 1999).

É um elemento essencial e geralmente considerado não prejudicial à saúde humana. A principal fonte de cobre em águas destinadas ao consumo humano e dos seres vivos em geral é da corrosão de tubulações usadas no sistema de distribuição de água. Em

altas concentrações, ele dá um desagradável gosto à água e causa certo sofrimento individual devido a uma desordem metabólica de cobre chamada doença de Wilson (RADOJEVIC e BASHKIN, 1999). A doença de Wilson é uma doença metabólica, recessiva, autossômica, hereditária, que resulta na alteração do gene designado ATP7B no cromossomo 13. Esta anormalidade promove uma toxicidade crônica ao cobre por causar um defeito no transporte do metal (AZEVEDO e CHASIN, 2003).

O cobre forma um número de complexos em águas naturais com ligantes orgânicos e inorgânicos. Entre as espécies aquosas mais comuns tem-se  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  e  $\text{CuHCO}_3^+$ . É considerado um elemento traço essencial tanto para algumas plantas como para alguns animais. Alguns compostos são tóxicos por ingestão e inalação (APHA, 1998).

A exposição aguda a poeiras e a fumos de cobre pode irritar os olhos, o nariz e a garganta, provocando tosses, espirros e sangramentos nasais (AZEVEDO e CHASIN, 2003).

## 2.4 CROMO

As principais fontes antropogênicas que contaminam as águas superficiais e profundas são as operações da galvanoplastia, indústrias de tingimento de couro e manufatura de tecidos (AZEVEDO e CHASIN, 2003).

Em águas naturais, o cromo trivalente existe como  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ , e na forma de cromo hexavalente como  $\text{CrO}_4^{2-}$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . O cromo pode existir em fontes de água em ambos os estados tri e hexavalentes, embora a forma trivalente raramente ocorra em água potável, pelo fato do íon  $\text{Cr}^{3+}$  ser encontrado na forma de fortes complexos com aminas e serem absorvidos por minerais argilosos (APHA, 1998).

Na maioria dos alimentos o cromo existe em baixa concentração. Entre os alimentos mais ricos nesse metal estão o peixe, a lagosta, o frango e o levedo de cerveja (AZEVEDO e CHASIN, 2003).

É um elemento não-essencial para as plantas, mas é um elemento traço essencial para os animais. Compostos hexavalentes têm se mostrado carcinogênicos por inalação e são corrosivos de tecido animal (APHA, 1998).

Como a principal via de introdução no organismo é a respiratória, a absorção desses contaminantes, pelas vias aéreas superiores e pulmões, dependerá do tamanho da partícula, da solubilidade da mesma e da valência do cromo, já que o cromo (VI) atravessa



com mais facilidade as membranas celulares que o cromo (III) (AZEVEDO e CHASIN, 2003).

### **3. PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS**

#### **3.1 ANÁLISE INSTRUMENTAL**

Métodos instrumentais em análises ambientais geralmente envolvem espectroscopia e cromatografia. Muitos laboratórios deveriam ser equipados com um colorímetro (para espectrofotometria no visível) e um fotômetro (para AES), mas alguns podem também ter uma AAS e instrumentos avançados de UV/visível. Outras técnicas as quais não estão geralmente disponíveis em muitos laboratórios incluem: espectroscopia com plasma indutivamente acoplado (ICP), espectroscopia de ressonância magnética nuclear (NMR), etc. Métodos cromatográficos disponíveis em muitos laboratórios incluem cromatografia gasosa (GC) e cromatografia líquida de alta pressão (HPLC). Esses métodos são os mais usados para analisar amostras ambientais (RADOJEVIC e BASHKIN, 1999).

Os metais podem ser determinados por métodos colorimétricos ou por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS) e sem chama. A FAAS é mais comumente disponível, mas é menos sensível. A AES com chama e a espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES) são técnicas mais empregadas para se determinar a concentração de metais em amostras de água (RADOJEVIC e BASHKIN, 1999).

A tabela que se segue, revela alguns dados importantes para a leitura dos metais pesados por FAAS.

No presente estudo foi usada tal instrumentação, a FAAS, para quantificar a presença ou ausência de metais pesados no Rio Uberabinha bem como em soluções preparadas em laboratório com concentrações superiores àquelas permitidas por lei.

Devido à crescente preocupação com o meio ambiente, vem-se utilizando sistemas de tratamento de água que visam a remoção de contaminantes de efluentes industriais. Porém, por causa de regulamentações rigorosas e vantagens econômicas, a tendência do tratamento da água vem mudando para uma perspectiva de recuperação, reuso e reciclagem do efluente

(PERUZZO, 2003). O desenvolvimento de tecnologia adequada para tratamento de rejeitos industriais tem sido objetivo de grande interesse devido ao aumento da conscientização e rigidez das regulamentações ambientais.

Atualmente, com a grande quantidade de resíduos industriais lançados nos corpos de água doce, tem-se voltado expressivamente a atenção para a remediação desses sistemas hídricos, em se tratando da descontaminação dos mesmos para metais pesados. Para tanto, a adsorção tem sido considerada superior a outras técnicas para reutilizar águas contaminadas; isso em termos de custo inicial, flexibilidade, simplicidade de projeto, facilidade de operação, etc. Contudo, o primeiro passo para um processo de adsorção eficiente é a escolha de um adsorvente com alta capacidade, seletividade e longa vida. Este deve também estar disponível em grandes quantidades no meio ambiente e apresentar um baixo custo (IMMICH, 2006).

Os adsorventes naturais vêm sendo estudados em larga escala devido a vários fatores, principalmente econômico, e significativa eficiência em remover poluentes metálicos de águas contaminadas. Comparando com outros materiais, a *Moringa oleifera* e um material argiloso, usado para a fabricação de tijolos voltados para a construção civil, apresentam alto poder em adsorver metais em solução.

#### **4 *Moringa oleifera***

Dentre os processos mais utilizados no tratamento de efluentes para a remoção de metais pesados, pode-se citar: precipitação química, troca iônica, adsorção em carbono ativado, biossorção, processo de separação através de membrana, entre outros (LACOUR *et al.*, 2001).

Muitos coagulantes são usados em processos de tratamento de água que é levada às torneiras das casas das pessoas, onde esses podem ser classificados em inorgânicos, polímeros orgânicos sintéticos e coagulantes de ocorrência natural (OKUDA *et al.*, 2001). Coagulação-floculação seguidas de sedimentação, filtração e desinfecção são processos usados em tratamento de águas industriais e de abastecimento. Sais de alumínio são também bastante utilizados como coagulantes nesse tipo de tratamento. No entanto, sérios problemas com a saúde, devido ao uso desse sal, têm sido colocados em pauta, principalmente por problemas relacionados ao acúmulo de alumínio residual do tratamento da água, como é o caso do Mal de Alzheimer (BROIN *et al.*, 2002).

O uso de coagulantes naturais, de origem vegetal, para clarificação de água turva e colorida, quando possível, é de grande significação ecológica e ambiental, considerando que a presença das plantas sempre contribui com a ecologia, o embelezamento e a melhoria do ambiente, tornando o meio mais agradável e ainda produzindo oxigênio molecular, indispensável à respiração dos seres vivos. Por esse fato, tem crescido enormemente nos últimos anos a esperança de encontrar na biodiversidade vegetal um coagulante vegetal, um coagulante natural para clarificação de água turva ou colorida que apresente baixa toxicidade e seja de uso simples, barato e de fácil obtenção e aplicação (FIGUEIRÊDO, 2004), e que ainda retire metais pesados presentes em águas contaminadas.

Esses coagulantes naturais em países subdesenvolvidos podem minimizar efetivamente sua situação econômica além de evitar problemas relacionados à saúde. (NDABIGENGESERE e NARASIAH, 1998). É válido ressaltar que esse tratamento com coagulantes naturais pode ser usado em países desenvolvidos ou subdesenvolvidos, dependendo do interesse industrial e econômico do país e de seu espaço físico.

Os múltiplos usos da *Moringa oleifera* têm promovido significativamente sua aplicação. Ela é planta pertencente à família das *Moringaceae*, nativa da Índia e amplamente cultivada nos trópicos de todo o mundo (KARADI *et al.*, 2006), e favorecida para o crescimento nas vizinhanças das casas devido à sua beleza estética, como cerca e para proteção (NDABIGENGESERE e NARASIAH, 1998).

Uma maneira para melhorar a aceitação da moringa como agente coagulante em todo o mundo, é mostrar claramente suas vantagens como coagulante convencional e aplicar tecnologia moderna para fornecer tratamento às águas poluídas a baixo custo (NDABIGENGESERE e NARASIAH, 1998).

Assim, como as sementes de moringa apresentam grande aptidão em adsorver metais pesados presentes em águas, estes ao interagirem com as moléculas da moringa, são retidos por sítios ativos de adsorção. Essas substâncias são ricas em grupos funcionais com cargas negativas tais como hidroxilas alcoólicas e fenólicas e ácidos carboxílicos que são justamente os sítios de adsorção dos metais em solução (PEREIRA e ARRUDA, 2003).

Comparando com outros materiais, a semente de moringa apresenta elevada capacidade de troca iônica devido à grande quantidade de proteínas em sua composição (Tab. 3).

**Tabela 2** - Composição química das sementes de Moringa

<b>Composição</b>	<b>Semente</b>
Umidade (%)	6,3
Açúcares solúveis (g/100g)	3,14
Oligossacarídeos (g/100g)	3,31
Amido (g/100g)	6,02
Proteínas (g/100g)	39,3
Lipídios (g/100g)	18,8

Fonte: GALÃO, DAMASCENO e BRITO, 2006.

A proteína é o componente encontrado em maior quantidade na semente de moringa, aproximadamente 40%, seguido de 18,8% de lipídios.

Pode-se observar que as proteínas são o maior e principal sítio ativo de adsorção em extratos das sementes da moringa (GHEBERMICHAEL *et al.* 2005), por apresentarem em sua estrutura grupos carboxílico e amina.

As sementes são ricas em lectinas, classe de proteínas hemaglutinantes que existe em várias formas de vida, mas as mais estudadas são as extraídas de plantas, talvez devido à abundante disponibilidade e fácil isolamento (JEYAPRAKASH *et al.*, 2005).

A estrutura secundária da proteína coagulante de sementes de *Moringa oleifera* tem sido investigada por espectroscopia de infravermelho transformada de Fourier (FTIR) e por espectroscopia de dicroísmo circular (CD). O estudo indica que as espectroscopias de FTIR E CD são técnicas complementares de investigação da estrutura secundária da proteína denominada por  $\alpha$ -hélice (KWAAMBWA e MAIKOKERA, 2008).

Matos *et al.* (2007) verificaram que o extrato de sementes de moringa mostrou grande potencial de utilização como coagulante natural e alternativo para tratamento de águas residuárias da despolpa de frutos cafeeiro. Preparações de sementes de *M. oleifera* podem ser aplicadas no tratamento de água para consumo humano contribuindo dessa forma para o uso sustentável da biodiversidade (SANTOS *et al.*, 2006).

## 5 ARGILA

A definição clássica designa argila como um material natural, terroso, de granulação fina que quando umedecido com água apresenta sua plasticidade (NEUMANN *et al.*, 2000), ou ainda, é uma fração granulométrica, com partículas com diâmetro menores que 2 µm constituída essencialmente por um grupo de minerais que recebem o nome de argilominerais, onde tanto as diferentes argilas como também cada um das quatro dezenas de argilominerais tem nomes específicos (COELHO, SANTOS e SANTOS, 2007).

A argila é utilizada para remover componentes coloridos (pigmentos, por exemplo), traços de metais, fosfolípidios, sabões e produtos de oxidação tais como peróxidos (FOLETTO, ALVES e PORTO, 2003).

O material argiloso utilizado no estudo é outro material natural candidato a adsorvente, devido ao seu baixo custo, abundância na maioria dos continentes e bom potencial de adsorção.

A adsorção em argila é controlada principalmente pela troca iônica. Isto significa que a capacidade de adsorção pode variar de acordo com o pH. Algumas características da argila que ajudam no processo de adsorção é sua grande área superficial (IMMICH, 2006). Porém, como não foi feita a caracterização nem a identificação por raios X do material argiloso utilizado na pesquisa, não se pode dizer que o mesmo retira os metais pesados das soluções contaminadas por troca iônica.

Para Santos *et al.* (2002), em estudo realizado com argilas bentonitas cálcica e sódica e vermiculitas, para remoção de  $\text{Cu}^{2+}$  em solução por adsorção, ambas mostraram-se eficientes na remoção do metal de soluções ou águas provenientes de indústrias, onde esse metal era um agente poluente. A vermiculita mostrou-se mais eficiente na remoção de metais por adsorção, uma vez que possui maior área específica e maior capacidade de troca iônica favorecendo, assim, este comportamento.

Para minimizar a poluição causada por metais pesados presentes nas águas do Rio Uberabinha foram adotadas medidas que diminuíssem os danos ao meio ambiente e à saúde com o auxílio de um material argiloso. Assim, além de se tratar de um material natural, que não causa impactos ambientais, sua aplicação se mostra bastante viável, inclusive do ponto de vista econômico (RODRIGUES, SILVA e SILVA, 2004).

## 6 ADSORÇÃO

Inúmeros processos químicos, físicos e biológicos ocorrem na região limítrofe entre duas fases, como é o caso da adsorção (SOARES, 2004). A adsorção envolve a acumulação de substâncias em uma superfície ou interface de grande área específica, bem como a afinidade física entre o adsorbato e a superfície do material adsorvente (RUBIO, 2007), ou seja, é um fenômeno de interface no qual as moléculas de uma fase fluida, gasosa ou líquida, tendem a aderir a uma superfície sólida (SCHWANKE, 2003).

Ford *et al.* (2001) mencionaram que o uso do termo adsorção pode ser empregado principalmente quando informações que identificam o modo de interação entre um íon e uma superfície sólida são ausentes. Para Ortiz (2000), os modelos teóricos desenvolvidos para os processos de adsorção consideram que quando duas fases imiscíveis são colocadas em contato, a concentração da substância em uma das fases é maior na interface que no seu interior. Assim, a tendência de aumento de concentração e acumulação de uma substância sobre a superfície de um sólido é característica do processo de adsorção.

Os processos de adsorção são de um modo geral exotérmicos, onde o aumento da temperatura nos processos de adsorção pode aumentar a colisão entre as espécies e a quantidade de adsorbato que retorna para a solução. Esse efeito pode diminuir a capacidade e a eficiência total do processo de adsorção (MATIJEVIC, SAPRESKO e MELVILLE, 1975).

A adsorção é uma das técnicas que tem sido empregada com sucesso para uma remoção efetiva de contaminantes presentes em efluentes industriais e águas contaminadas com metais pesados, especificamente. Porém, a eficiência do processo de adsorção depende da escolha de um adsorvente apropriado. Devido ao alto custo de alguns adsorventes convencionais, pesquisas vêm sendo direcionadas para o uso de adsorventes alternativos (GODLEWSKA-ZYLKIEWICZ, 2001).

Nesse estudo, trabalhar-se-á com dois adsorventes naturais que apresentam alta capacidade adsorptiva, sendo eles: a *Moringa oleifera* e um material argiloso, utilizado para a fabricação de tijolos.

## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS

Os objetivos desse trabalho são:

1. Avaliar alguns parâmetros de qualidade das águas superficiais do Rio Uberabinha na cidade de Uberlândia/MG, por coletas únicas e mensais, durante oito meses por um período seco e chuvoso, quanto aos parâmetros sólidos totais dissolvidos, sólidos suspensos, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, temperatura, turbidez, cor e teor dos metais Cd, Cu, Cr e Pb por meio de análises *in loco* e em laboratório, de amostras de água coletadas sob condições adequadas.
2. Efetuar estudos de adsorção de Cd, Cu, Cr e Pb com os adsorventes naturais *Moringa oleifera* e material argiloso, como alternativa de tratamento de águas potencialmente poluídas por esses metais pesados.

## CAPÍTULO III

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 1. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse estudo, alguns parâmetros de monitoramento foram adotados a fim de caracterizar determinados padrões da qualidade da água e o grau de contaminação por Cd, Cu, Cr e Pb no corpo hídrico do Rio Uberabinha, que banha e abastece a cidade de Uberlândia/MG. A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 2005).

Para tanto, parâmetros físicos (cor, temperatura e turbidez, sólidos suspensão e sólidos totais dissolvidos) e químicos, [(teores de Cd, Cu, Cr e Pb, OD, DBO)] foram medidos para um melhor estudo de caso, como é o proposto.

A utilização de uma aparelhagem de precisão analítica foi imprescindível para a verificação da presença ou não desses metais pesados no rio, bem como reagentes de grau analítico, vidraria de laboratórios, água destilada/deionizada e outros, que são descritos abaixo:

- Soluções: sulfato manganoso  $2 \text{ mol.L}^{-1}$  (99% de pureza, Vetec), reagente iodeto alcalino azida (99% de pureza, Vetec), ácido sulfúrico concentrado (96% de pureza, Reagen), solução de amido (99% de pureza, Vetec), solução de tiosulfato de sódio  $0,025 \text{ mol.L}^{-1}$  (99% de pureza, Merck), solução tampão (pH = 7,2), solução de sulfato de magnésio  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$  (99% de pureza, Vetec), solução de cloreto de cálcio  $0,25 \text{ mol.L}^{-1}$  (99% de pureza, Reagen), solução de cloreto de ferro III  $0,001 \text{ mol.L}^{-1}$  (99% de pureza, Reagen). [Todas em concentrações adequadas com os critérios propostos pela APHA (1998)].
- Turbidímetro Policontrol - Modelo: AP - 2000 iR;
- Colorímetro Hach – Modelo 2100 P;
- Espectrofotômetro de Absorção Atômica com chama Perkim Elmer 3300;



Foram coletadas amostras de água superficiais, no período da manhã, mensalmente, respectivamente nos dias:

- 29 de setembro de 2006, de 9:00h às 11:30h (período chuvoso);
- 30 de outubro de 2006, de 8:00h às 11:30h (período chuvoso);
- 30 de janeiro de 2007, de 8:30h às 11:30h (período chuvoso);
- 28 de fevereiro de 2007, de 8:30h às 11:30h (período chuvoso);
- 30 de março de 2007, de 8:00h às 11:30h (período seco);
- 30 de abril de 2007, de 8:00h às 11:00h (período seco);
- 30 de maio de 2007, de 8:00h às 11:30h (período seco);
- 30 de junho de 2007, de 8:30h às 11:30h (período seco);

As coletas foram realizadas utilizando-se frascos de polietileno previamente esterilizados (em meio ácido; HNO<sub>3</sub> 10%, pH menor ou igual a 2), em cinco diferentes pontos de coleta (PC) do Rio Uberabinha e no laboratório de Separação e Pré-concentração da Universidade Federal de Uberlândia (PC 06), Campus Santa Mônica, o qual foi tomado como branco, como é mostrado no quadro a seguir.

**Quadro 2:** Localização dos pontos de coleta.

<b>Ponto de Coleta</b>	<b>Localidade</b>	<b>*Coordenada Geográfica</b>
<b>PC 01</b>	Ponte da BR 050	18°59'12,7'' 48°12'41,2''
<b>PC 02</b>	Ponte do Praia Clube	18°55'43,9'' 48°17'33,8''
<b>PC 03</b>	Ponte do Vau	18°54'36'' 48°18'20''
<b>PC 04</b>	Ponte do Anel Viário	18°53'28,4'' 48°19'10,5''
<b>PC 05</b>	Fazenda Capim Branco– Fazenda experimental/UFU	18°52'39,9'' 48°20'16,9''
<b>PC 06</b>	Laboratório de Separação e Pré-Concentração	18°55'04,0'' 48°15'28,1''

\* Coordenadas obtidas usando um GPS modelo Garmin 12, MAP Datuh Sth American 69

Os períodos seco e chuvoso foram levados em consideração para verificar a interferência climática no grau da poluição daquele corpo de água.

Os endereços dos locais de coleta das amostras foram disponibilizados pela Engenheira Sanitária Maria Lyda Bolaños Rojas e do Engenheiro Eletricista, especialista em Hidrologia Ambiental, Leocádio Alves Pereira, funcionários do DMAE, Departamento Municipal de Águas e Esgotos, da cidade de Uberlândia/MG, que fazem suas coletas também nos referidos sítios, sendo estes, pontos estratégicos (pontos de coleta que “atravessam” toda a cidade de Uberlândia) para a verificação da contaminação ou não das águas do Rio Uberabinha nos dias determinados para coleta (Figura 1), cujo detalhamento encontra-se a seguir.



**Figura 1:** Pontos de coleta (Fonte: Google Earth).

As técnicas de preservação e armazenamento das amostras foram devidamente seguidos como o proposto pela CETESB (1988).

**Quadro 3:** Técnicas de preservação de amostras para exames físicos e químicos.

<b>Parâmetro</b>	<b>Frasco</b>	<b>Amostra (mL)</b>	<b>Preservação</b>	<b>Prazo</b>
Cor	Polietileno	200	Refrigerar a 4 °C	24 horas
Turbidez	Polietileno	200	Refrigerar a 4 °C, evitar exposição à luminosidade	24 horas
STD e SS	Polietileno	1.000	Refrigerar a 4 °C	7 dias
OD	Vidro boca estreita e tampa esmerilhada	300	2 mL de MnSO <sub>4</sub> e 2 mL de iodeto alcalino	4 a 8 horas
DBO	Vidro neutro	2.000	Refrigerar a 4 °C	24 horas
Metais	Polietileno	1.000	HNO <sub>3</sub> até pH<2	180 dias

Após a coleta das amostras de água do Rio Uberabinha, conservadas adequadamente, foram determinadas as quantidades de sólidos totais dissolvidos, sólido em suspensão, cor, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e o teor dos metais pesados Cd, Cu, Cr e Pb presentes nas águas.

## 1.1 DETERMINAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DAS ÁGUAS DO RIO UBERABINHA

### 1.1.1 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS

Para a determinação da quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) foi seguida a metodologia do APHA (1998), onde um béquer de 0,05 dm<sup>3</sup> foi aquecido em estufa até 180°C ± 2°C por 1 (uma) hora. Em seguida, foi colocado em um dessecador e pesado, imediatamente antes de usar. Logo após, um volume de 0,05 dm<sup>3</sup> de água, de um dos pontos de coleta, bem misturada, foram coletados e passados através de um papel-filtro Watman por filtração simples. Transferiu-se, então, o filtrado para um béquer, aquecido e pesado previamente, onde o filtrado foi evaporado até secura em banho de água quente (banho-maria). Levou-se para secagem por pelo menos 1 hora em estufa a 180°± 2°C, colocado em dessecador até peso constante e pesado (APHA, 1998; RADOJEVIC e BASHKIN, 1999). Esse procedimento foi devidamente realizado para todas as outras amostras de água coletadas.

O cálculo da quantidade de sólidos totais dissolvidos foi realizado com o emprego da seguinte equação:

$$STD = 1000 \times \left( \frac{M_T - M_B}{V} \right)$$

onde:

$M_T$  é a massa do béquer + o resíduo (g);

$M_B$  é a massa do béquer (g);

$V$  é o volume da amostra (mL).

O aumento de massa verificado representa a quantidade de sólidos totais dissolvidos.

### 1.1.2 SÓLIDOS EM SUSPENSÃO

Na determinação dos sólidos em suspensão (SS), de acordo com o proposto pelo APHA (1998), lavou-se um papel-filtro Watman colocado no detentor de um filtro de sucção, com sucessivos volumes de água deionizada. Em seguida, o papel-filtro foi removido e levado à estufa para secagem a 105°C, por 1 (uma) hora, esfriado em dessecador até peso constante e então pesado. Logo após, o papel-filtro foi colocado no local de filtração e umedecido com água deionizada. Um volume de 0,05 dm<sup>3</sup>, de uma das amostras de água muito bem misturada, foi filtrado por sucção. Finalmente, o filtro com os sólidos retidos foi removido e seco em estufa a 105°C por 1 hora, colocado em dessecador até peso constante e pesado (APHA, 1998; RADOJEVIC e BASHKIN, 1999). O mesmo procedimento foi, portanto, adotado para a determinação dos sólidos em suspensão das outras amostras de água. A quantidade de sólidos suspensos foi determinada pelo aumento do peso no papel filtro.

O cálculo dos sólidos em suspensão se deu da seguinte maneira:

$$SS = 1000 \times \left( \frac{M_T - M_P}{V} \right)$$

onde:

$M_T$  é a massa do papel filtro + o resíduo (g);

$M_P$  é a massa do papel-filtro (g);

$V$  é o volume da amostra (mL).

### 1.1.3 COR

Avaliou-se, na cidade de Patos de Minas/MG, apenas a cor aparente, utilizando um Colorímetro Hach – Modelo 2100 P, disponibilizado pela COPASA/MG, Companhia de Saneamento Básico de Patos de Minas, Minas Gerais.

### 1.1.4 TURBIDEZ

Devido à impossibilidade de fazê-la no local de coleta, por falta de equipamentos adequados, as amostras de água foram conservadas a 4°C e levadas para a COPASA a fim de serem avaliadas quanto ao grau de turbidez apresentado pelas mesmas. Para a determinação desta foi utilizado um turbidímetro Policontrol Modelo: AP - 2000 iR.

### 1.1.5 TEMPERATURA

As medidas da temperatura foram tomadas nos próprios locais de coleta (*in situ*), com o auxílio de um termômetro de mercúrio, em escala graus Celsius. A escala tinha a temperatura gravada no capilar de vidro a intervalos de 0,1 °C. Para as leituras amostras de água foram transferidas para béquers, realizando-se as leituras sem a retirada do termômetro e evitando-se que o mesmo tocasse as paredes do recipiente e sem expô-lo ao ambiente, o que poderia causar variações nos valores da grandeza medida.

### 1.1.6 CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS

Para preservar as amostras coletadas foram adicionadas 2 (duas) gotas de HNO<sub>3</sub> concentrado (pH 1,8 - 2,0).

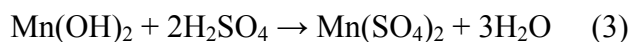
Os teores dos metais pesados solúveis estudados foram obtidos com o emprego de um espectrômetro de absorção atômica com chama (Perkin Elmer 3300). Para as leituras foram obtidas curvas de calibração, que obedeciam à lei de Beer, tornando possível as dosagens dos elementos motivos de estudo.

### 1.1.7 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

A determinação do OD foi realizada baseando-se na metodologia proposta pelo APHA (1998), onde foi adicionando à 250 mL da amostra 2 mL da solução de MnSO<sub>4</sub> e 2 mL da solução alcalina iodada. Ocorre nesta ocasião, a formação de hidróxido manganoso (1), o qual, na presença do oxigênio da amostra é oxidado para óxido de mangânico, como se pode ver na reação (2), que se caracteriza pela formação de um precipitado de cor marrom:

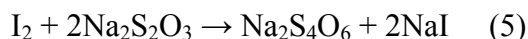


A seguir, foi adicionado 2 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Com a adição do ácido, o óxido mangânico foi convertido a sulfato mangânico (3), ocorrendo libertação do iodo, que faz mudar a cor da solução para um amarelo (4):



Transferiu-se, então, 100 mL da amostra para um erlenmeyer e o mesmo foi rapidamente titulado com solução de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,025 mol.L<sup>-1</sup>, até que a cor amarela fosse reduzida a uma pálida coloração. Finalmente, adicionavam-se algumas gotas (3 a 5) de solução de amido e a

titulação se prosseguia até o desaparecimento completo da cor azul-escuro, visto na reação (5):



O cálculo dos resultados se deu com a quantidade do tiosulfato de sódio consumido multiplicado por dois, que era exatamente igual à quantidade de  $\text{O}_2$  dissolvido, em  $\text{mg.dm}^{-3}$  (GURGEL e VINATEA, 2007).

$$\text{OD (mol.L}^{-1}\text{)} = A \times 2$$

onde:

A = volume de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$   $0,025 \text{ mol.L}^{-1}$  gasto na titulação.

### 1.1.8 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

A DBO foi determinada baseando-se na metodologia proposta pelo APHA (1998), pela incubação de amostras de água com microorganismos aeróbicos sob circunstâncias específicas de tempo e temperatura. O teste mais usado,  $\text{DBO}_{5,20}$ , é baseado em um período de cinco dias de incubação a uma temperatura de  $20^\circ\text{C}$ . Ela serve como uma medida da poluição orgânica e é, rotineiramente, determinada no tratamento de águas residuárias e na qualidade da água de laboratórios. Se existe muita poluição orgânica presente e conseqüentemente a DBO é bastante alta, o OD pode tornar-se muito baixo para suportar a vida aquática (RADOJEVIC e BASHKIN, 1999).

Para a verificação da DBO nas águas do Rio Uberabinha, vidros de incubação especiais para DBO de 250 mL foram utilizados e completados com as águas dos seis pontos de coleta. Em seguida, foram adicionados a cada recipiente 0,25 mL das soluções: sulfato de magnésio, cloreto de cálcio, cloreto de ferro (III) e solução tampão de pH igual a 7,2. Finalmente, os frascos foram levados para estufa a  $20^\circ\text{C}$  onde permaneceram por exatos cinco dias.

Como a quantidade de OD foi maior que a DBO, diluições não foram necessárias. Assim, o OD foi medido no início e no final do período de incubação, e a DBO é representada pela diferença entre a quantidade de OD inicial e final (APHA, 1998 e REEVE, 2002):

$$\text{DBO} = (\text{OD inicial} - \text{OD final}) \text{ mol.L}^{-1}$$

## 2 ENSAIOS DE ADSORÇÃO COM OS ADSORVENTES NATURAIS

### 2.1 INSTRUMENTAÇÃO

Para a realização dos ensaios voltados para a descontaminação das águas contaminadas com os metais pesados Cd, Cu, Cr e Pb, simuladas de soluções preparadas em laboratório, a partir de soluções referência, foi necessária a seguinte aparelhagem:

- Espectrofotômetro de Absorção Atômica Varian SpectrAA 220;
- Banho termostaticado;
- Agitador (agitação por tombamento);
- Balança analítica;
- Tubos de ensaios devidamente vedados;
- Cronômetro.

### 2.2 *Moringa oleifera* COMO ADSORVENTE

Tendo as sementes de *Moringa oleifera* como adsorvente, inicialmente as mesmas foram colhidas (em árvores cultivadas no Bairro Taiamam na cidade de Uberlândia/MG, no período de fevereiro a maio de 2007), trituradas, secas ao ar (até peso constante) e passadas em peneira 32 mesh/0,5 mm (Fig. 2). Nenhum tratamento químico foi realizado com as



sementes antes e após a trituração e passagem na peneira, ou seja, as sementes trituradas da moringa foram utilizadas nos ensaios de adsorção *in natura*.



Ilustração: Dayana Bittar, 2007

**Figura 2:** Sementes inteiras e trituradas (peneiradas a 32 mesh ou 0,5 mm) da *Moringa oleifera*.

Em seguida, foram preparadas as soluções dos metais em questão nesse estudo (2.000 mL de solução a  $5 \text{ mol.L}^{-1}$  de Cd, Cu, Cr e Pb), onde todas essas soluções foram preparadas a partir das respectivas soluções referência (solução padrão de Cd  $1000 \text{ mol.L}^{-1}$ . Contém  $\text{HNO}_3$ . Tec-Lab/Hexis. Científica Ltda; solução padrão de Cu  $1000 \text{ mol.L}^{-1}$ . Rastreado ao SRM 3114 – NIST (USA). Contém  $\text{HNO}_3$ , Tec-Lab/Hexis. Científica Ltda; solução padrão de Cr  $1000 \text{ mol.L}^{-1}$ . Rastreado ao SRM 3112a – NIST (USA). Contém  $\text{HCl}$ . Tec-Lab/Hexis. Científica Ltda; solução padrão de Pb  $1000 \text{ mol.L}^{-1}$ . Rastreado ao SRM 3128 – NIST (USA). Contém  $\text{HNO}_3$ . Tec-Lab/Hexis. Científica Ltda) em concentrações acima do permitido pela legislação (COPAM/CERH-MG 01/2008), para que o processo de descontaminação por adsorção pudesse ser utilizado em tratamento de águas de rios e águas contaminadas com metais pesados.

Para a verificação da interferência da massa de adsorvente na porcentagem de remoção dos metais em estudo os ensaios foram feitos em batelada e em triplicata, onde foi adicionado 25 mL de uma das soluções de metal pesado em um tubo de ensaio de vidro, o qual já apresentava uma determinada massa de moringa, vedado com tampa, que foi levado para agitação, por tombamento, em banho termostaticado a uma temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , sob parâmetros constantes de 30 rpm, pH 6,5, durante 40 (quarenta) minutos. Esse procedimento foi realizado com uma solução de cada metal por vez, variando-se apenas a massa da moringa em 10, 20, 40, 60 e 100 mg, respectivamente. Subsequentemente, o procedimento foi

realizado para todas as outras soluções dos metais. O sistema de agitação encontra-se ilustrado na figura 3.



Ilustração: Dayana Bittar., 2007

**Figura 3:** Sistema de agitação por tombamento.

Já para a verificação da interferência do tempo de contato na porcentagem de remoção dos metais, foi adicionado 25 mL de uma das soluções de metal em um tubo de ensaio de vidro, vedado com tampa, que foi levado para agitação, por tombamento, em banho termostaticado a uma temperatura de 25°C, sob parâmetros constantes de 30 rpm, pH 6,5 e 100 mg de massa de moringa. Esse procedimento foi realizado com uma solução de cada metal por vez, variando-se apenas o tempo de contato em 10, 20, 30 e 40 minutos, respectivamente. Subseqüentemente, o procedimento foi realizado para todas as outras soluções dos metais em estudo, e todos em triplicatas.

### 2.3 MATERIAL ARGILOSO COMO ADSORVENTE

Os ensaios efetuados com o material argiloso seguiram a mesma linha que os efetuados com a *Moringa oleifera*, onde os experimentos foram realizados em batelada e em triplicata, verificando a interferência do tempo de contato e a massa de adsorvente na porcentagem de remoção dos metais Cd, Cu, Cr e Pb das soluções previamente preparadas em laboratório, como descrito anteriormente. O material argiloso utilizado foi disponibilizado por uma cerâmica (Cerâmica Paranaíba) localizada no município de Patos de Minas/MG, o qual foi seco ao ar (até peso constante), triturado e passado em peneira 32 mesh (peneira com malhas de 0,5 mm). Também para esse adsorvente, nenhum tratamento químico foi realizado para os ensaios de adsorção, tendo sido utilizado *in natura*. É mostrada abaixo o material argiloso devidamente seco e passado em peneira (Fig. 5).



**Figura 4:** Material argiloso seco e peneirado (32 mesh)

### 3 - DISPOSIÇÃO FINAL DO RESÍDUO

Após o tratamento das soluções simuladas em laboratório, com a moringa e com o material argiloso, as mesmas foram filtradas e os resíduos (metal/moringa e metal/material argiloso) foram levados para uma cerâmica (Cerâmica Paranaíba, localizada no município de Patos de Minas/MG), para uma possível imobilização dos metais pesados

provenientes dos ensaios de adsorção. Foi proposta a fabricação tijolos, onde introduziu-se 10 mg do resíduo em uma quantidade maior de material argiloso, quantidade essa para a construção de um (1) outro tijolo. Este foi colocado em forma e levado ao forno a 750°C, imobilizando, temporariamente, os metais pesados estudados.

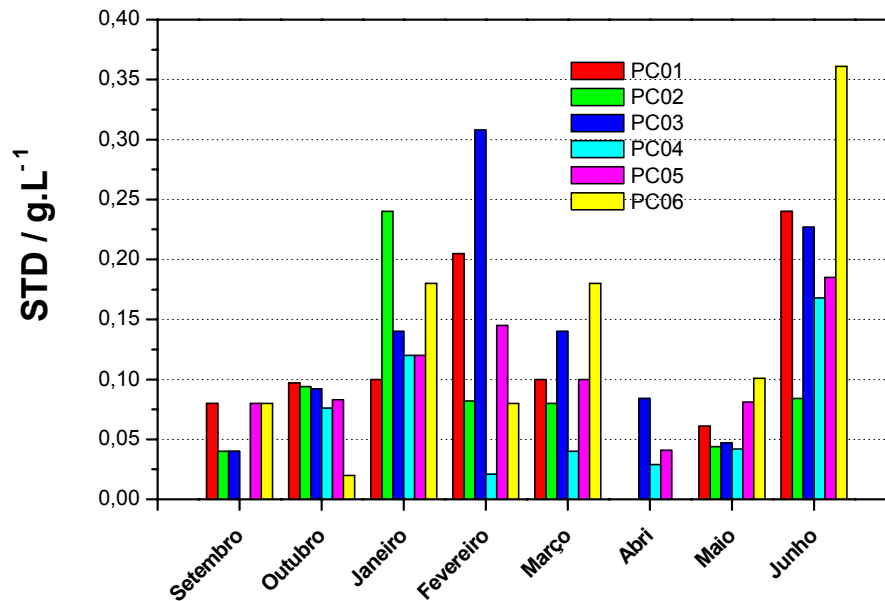
## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS**

Após as análises realizadas, verificou-se que o local menos contaminado é o trecho da BR 050, que apresentava águas semilímpidas. À medida que se seguia em direção à cidade de Uberlândia, a poluição do rio aumentou em grau. No ponto PC 02, ponte do Praia Clube, já se observava indícios de poluição nas águas, principalmente poluição por matéria orgânica. Mais à frente, a ponte do Vau e a ponte do Anel Viário, respectivamente, mostraram um alto nível de interferência antrópica na qualidade da água do Rio Uberabinha, que se apresentava cada vez mais poluída. O último ponto de coleta no rio, PC 05, na Fazenda Capim Branco, observou-se uma extrema poluição orgânica, evidenciada pela presença de peixes mortos e um alarmante mau cheiro.

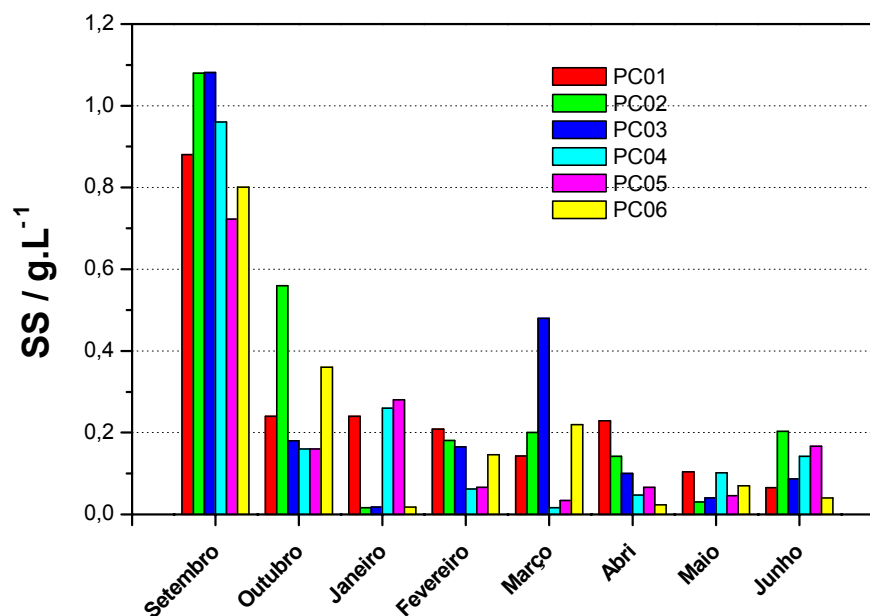
Os valores dos parâmetros físico-químicos medidos (sólidos totais dissolvidos, sólidos em suspensão, temperatura, cor, turbidez, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio) são mostrados nas figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 que se seguem.



**Figura 5:** Sólidos totais dissolvidos nos seis pontos de coleta (PC de 01 a 06: pontos de coleta).

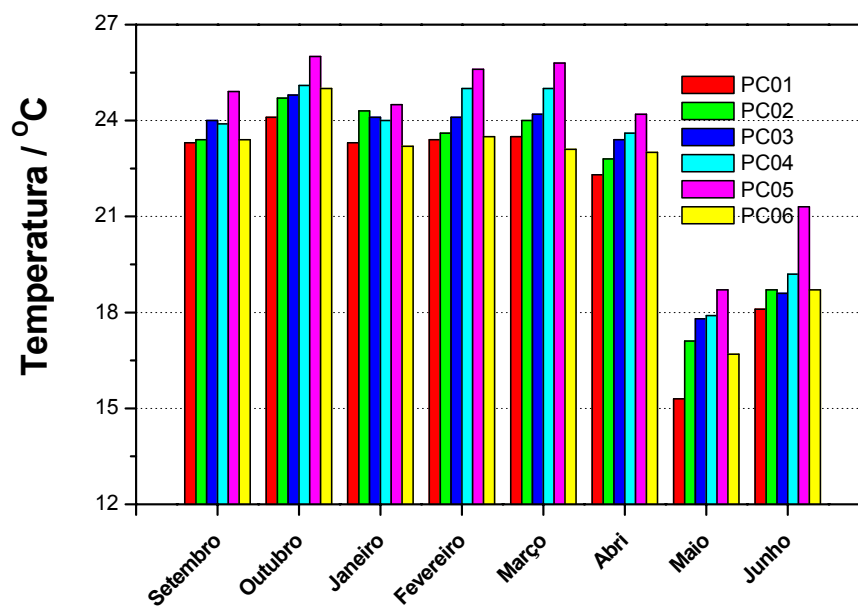
A partir da análise dos dados mostrados na figura 6, verificou-se, de um modo geral, um crescimento exponencial dos sólidos totais dissolvidos, no período que compreende o início da estação chuvosa (set/2006) até o término desta (fev/2007). Isso se deu, devido ao grande volume de água do rio nesse período, aumentando a solubilidade de partículas. A partir da mudança de período climático, a situação se inverte passando a apresentar um decaimento exponencial desse parâmetro. Assim, os resultados estão condizentes com a mudança climática, onde devido ao menor volume de água no período seco a concentração dos sólidos totais dissolvidos reduziu. A anomalia observada no mês de junho pôde ter sido decorrente de chuvas ocasionais.

Os sólidos em suspensão, cujos teores são mostrados na figura 7, apresentaram um comportamento coerente com a mudança climática (transição de período chuvoso para seco), havendo um decréscimo na quantidade de sólidos em suspensão.



**Figura 6:** Sólidos em suspensão nos seis pontos de coleta.  
(PC de 01 a 06: pontos de coleta).

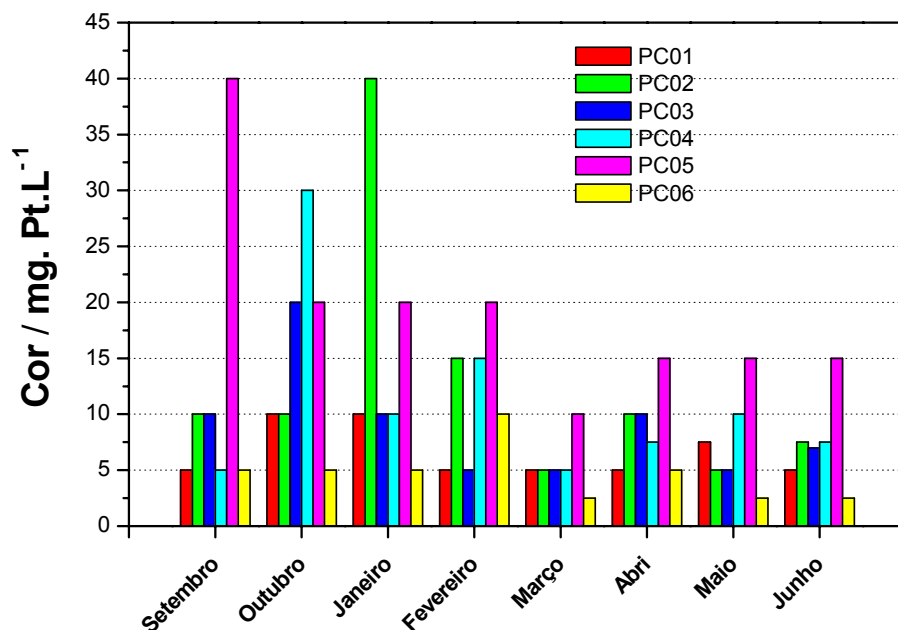
A queda brusca desses sólidos do mês de setembro para os demais, justifica-se pelo o alto índice pluviométrico ocorrido na estação com conseqüente diminuição do mesmo, ocorrendo a diminuição da velocidade de arraste. Na COPAM/CERH-MG 01/2008, alega-se que a concentração máxima de SS permitida para lançamento em corpos de água doce se restringe a  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  diariamente ou a uma concentração média aritmética de  $60 \text{ mg.L}^{-1}$  mensalmente. Os valores desses sólidos encontraram-se acima daqueles recomendados pela resolução COPAM/CERH-MG 01/2008, nos dias em que as coletas foram realizadas.



**Figura 7:** Temperatura nos seis pontos de coleta (PC de 01 a 06: pontos de coleta).

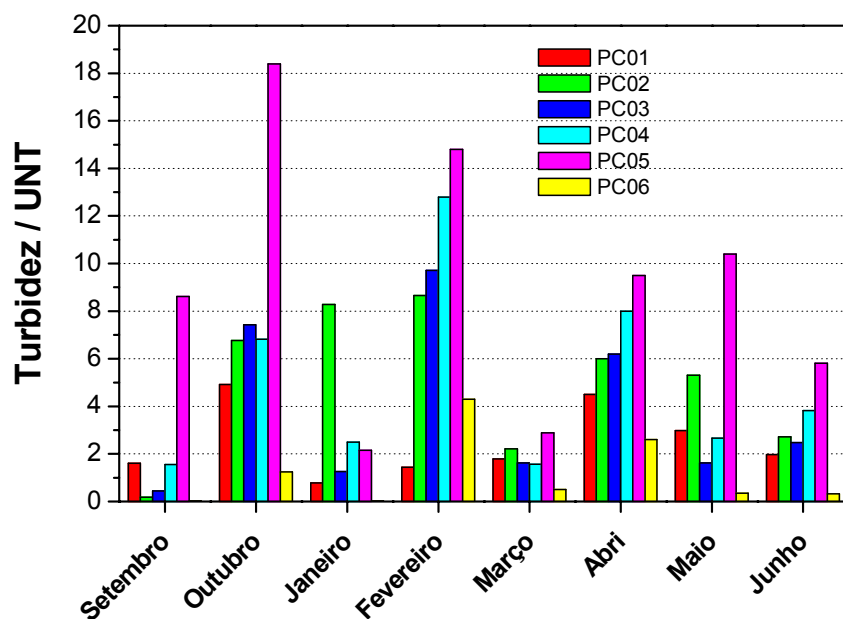
Como o verão brasileiro é caracterizado por um período quente e chuvoso e no inverno observam-se quedas sensíveis nas temperaturas do ambiente, as medidas da temperatura das águas estudadas encontraram-se em perfeita concordância com as mudanças sazonais, uma vez que no mês de setembro a março, esses valores se apresentaram altos e praticamente constantes. A partir de abril, observou-se uma queda considerável na temperatura.





**Figura 8:** Cor encontrada nos seis pontos de coleta (PC de 01 a 06: pontos de coleta).

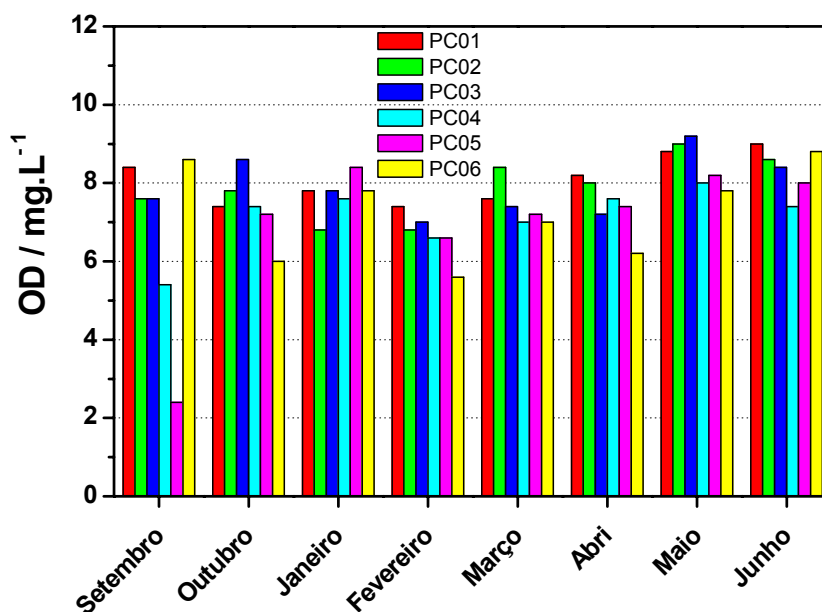
Torna-se visível no PC 05 uma cor significativamente superior aos demais pontos analisados, por este local ser aquele que mostrou, nos dias de coleta, maior quantidade de poluição. No mês de out/2006 no PC 04 e no mês de jan/2007 no PC 02, houve uma discrepância nos valores obtidos devido à dificuldade de acesso ao mesmo local no qual foram feitas as outras coletas de água. Isso foi devido à cheia do rio no período chuvoso, onde a quantidade, o movimento das águas e dissolução de matéria orgânica aumentam. O decaimento da cor nos pontos de coleta é considerável e real por causa da mudança de período climático, de chuvoso para seco.



**Figura 9:** Turbidez analisada nos seis pontos de coleta (PC de 01 a 06: pontos de coleta).

A turbidez não apresentou um comportamento condizente com a mudança climática, onde é concreto o aumento em um mês e o decréscimo em outro, sucessivamente. Segundo a COPAM/CERH-MG 01/2008, a cor para águas de Classe 3, como são as do Rio Uberabinha, não podem ultrapassar 75 mg.Pt/L, bem como a turbidez não pode exceder 100 UNT. Para os sólidos totais dissolvidos, sua quantidade permitida é de 0,5 g/L. De acordo com o analisado nas amostragens coletadas, os parâmetros descritos acima estão dentro do permitido pela legislação.

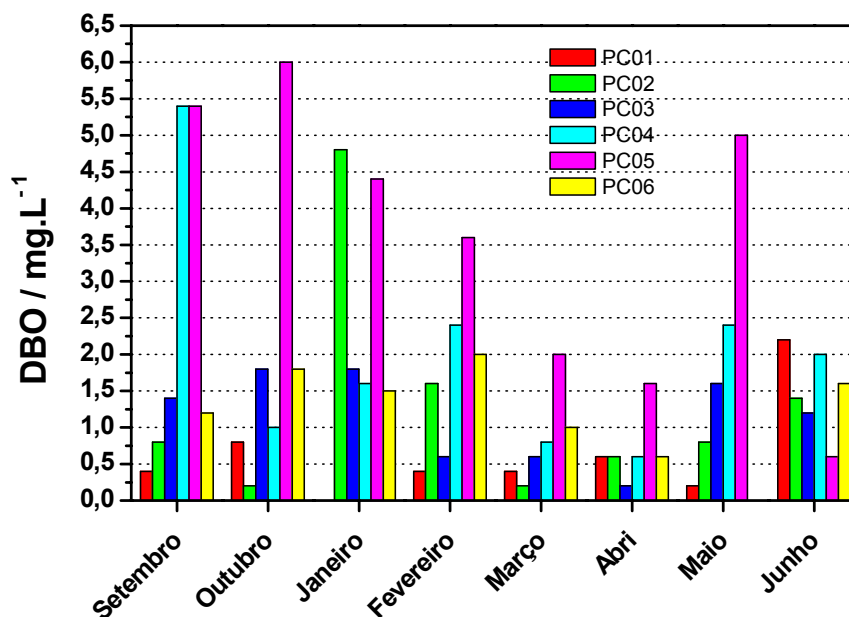
Para os parâmetros químicos, OD, DBO e concentração de metais pesados no rio, verificaram-se os seguintes resultados.



**Figura 10:** Oxigênio Dissolvido nos seis pontos de coleta (PC de 01 a 06: pontos de coleta).

Mesmo com as mudanças climáticas ocorridas, a quantidade de OD não alcançou valores distintos e irregulares do que é determinado pela COPAM/CERH-MG 01/2008, exceto o PC 05 no mês de set/2006, ou seja, não houve valores inferiores a  $4 \text{ mg.L}^{-1}$ . No ponto de coleta PC 05 no mês de setembro, o valor anômalo observado, pode ser creditado ao alto grau de poluição orgânica ali encontrado, através da presença de peixes e outros animais mortos, como também da alta proliferação de plantas, o que leva à baixa concentração de OD, o qual é consumido para a degradação da matéria orgânica presente e excessiva no local.

Os dados obtidos para a DBO, de modo semelhante aos do OD, estão em concordância com aqueles permitidos pela legislação, que preconiza que a  $\text{DBO}_{5,20}$  não deve ser superior a  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ . Diferentemente da OD porém, nenhuma das amostras coletadas mostrou comportamento inadequado como pode ser verificado na figura 12.



**Figura 11:** Demanda Bioquímica de Oxigênio nos seis pontos de coleta (PC de 01 a 06: pontos de coleta).

Esses resultados evidenciaram um baixo teor de matéria orgânica presente nas águas do Rio Uberabinha nos dias em que as coletas foram realizadas.

Os teores de metais pesados ocorrentes nas águas do rio são mostrados no quadro 2. Observou-se a baixa ocorrência de metais nas águas analisadas, com teores abaixo dos limites de quantificação das técnicas e equipamentos utilizados nas análises. Fazem exceção os metais chumbo e cádmio.

Os teores encontrados para estes metais são preocupantes, por excederem os valores máximos permitidos pela legislação, apenas em alguns pontos de coletas, sistematicamente aqueles próximos às rodovias. Uma vez que a legislação não permite mais o emprego do chumbo em combustíveis, sua origem nestes pontos, assim como a do cádmio, pode ser devido aos materiais utilizados nas construções das pontes ocorrentes nestes locais. Os calcários utilizados na produção de cimentos podem conter tais elementos, conforme constatado em análises de calcários ocorrentes em Vazante e Lagamar, na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais (GOULART e OLIVEIRA, 2007). E ainda, a ocorrência de Pb e Cd também pode ser uma consequência direta de tubulações feitas a partir de chumbo e lançamento de baterias antigas de celulares, respectivamente, no Rio Uberabinha, sendo essas

causas apenas suposições. Os meses de setembro e outubro de 2006 não constam no quadro pois os valores da concentração de cada metal pesado analisado nesse período não alcançou o limite de quantificação da aparelhagem utilizada (FAAS, Varian SpectrAA 220). O limite de quantificação foi determinado experimentalmente por  $\left[ LQ = 10 \times \left( \frac{s}{S} \right) \right]$ , onde s é a estimativa do desvio padrão do branco e S é o coeficiente angular da curva analítica. Os valores máximos permitidos (VMP's), em  $\text{mg.L}^{-1}$ , de cada metal, de acordo com a COPAM/CERH-MG 01/2008 são: Cd = 0,01; Cu = 0,5; Cr (total): 0,05 e Pb = 0,05.

**Quadro 4:** Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos metais nos pontos de coleta no Rio Uberabinha.

	Pontos de Coleta	Cu	Cr (total)	Pb	Cd
<b>Janeiro</b>	Ponte da BR 050	< LQ	0,015	0,063	0,015
	Ponte do Praia Clube	< LQ	0,011	< LQ	0,011
	Ponte do Vau	< LQ	0,022	< LQ	< LQ
	Ponte do Anel Viário	< LQ	< LQ	0,067	0,020
	Faz. Capim Branco	< LQ	0,031	< LQ	0,028
	UFU (água tratada)	< LQ	0,022	< LQ	< LQ
<b>Fevereiro</b>	Ponte da BR 050	< LQ	0,013	0,034	< LQ
	Ponte do Praia Clube	< LQ	0,013	0,057	< LQ
	Ponte do Vau	< LQ	0,021	< LQ	< LQ
	Ponte do Anel Viário	< LQ	0,022	< LQ	< LQ
	Faz. Capim Branco	< LQ	0,017	< LQ	< LQ
	UFU (água tratada)	< LQ	0,015	0,050	< LQ
<b>Março</b>	Ponte da BR 050	< LQ	0,012	0,173	0,069
	Ponte do Praia Clube	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Ponte do Vau	< LQ	< LQ	0,093	< LQ
	Ponte do Anel Viário	< LQ	< LQ	0,080	< LQ
	Faz. Capim Branco	< LQ	< LQ	0,130	0,036
	UFU (água tratada)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ

	Pontos de Coleta	Cu	Cr (total)	Pb	Cd
Abril	Ponte da BR 050	< LQ	< LQ	0,053	< LQ
	Ponte do Praia Clube	< LQ	< LQ	0,095	0,112
	Ponte do Vau	< LQ	< LQ	0,028	< LQ
	Ponte do Anel Viário	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Faz. Capim Branco	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	UFU (água tratada)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Maio	Ponte da BR 050	0,089	< LQ	< LQ	< LQ
	Ponte do Praia Clube	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Ponte do Vau	< LQ	< LQ	0,083	< LQ
	Ponte do Anel Viário	< LQ	0,078	0,029	< LQ
	Faz. Capim Branco	0,076	< LQ	0,123	< LQ
	UFU (água tratada)	< LQ	0,020	0,150	< LQ
Junho	Ponte da BR 050	< LQ	< LQ	0,094	< LQ
	Ponte do Praia Clube	< LQ	< LQ	0,037	< LQ
	Ponte do Vau	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Ponte do Anel Viário	< LQ	< LQ	0,091	< LQ
	Faz. Capim Branco	< LQ	< LQ	0,087	< LQ
	UFU (água tratada)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ

\*LQ = Limite de Quantificação, em mg.L<sup>-1</sup>: (Cd: 0,005 ; Cu: 0,01 ; Cr: 0,005 e Pb: 0,02)

Pôde-se observar que para o metal Cu pouco foi encontrado, o que garante a não existência de fontes poluidoras no rio nos dias em que as coleta foram feitas, sendo as três amostras que indicaram presença desse metal, abaixo do permitido pela lei, provenientes apenas de objetos que o contêm em sua composição e que tenham sido lançados no rio ou também provenientes de tubulações constituídas por Cu.

O Cr, metal também encontrado em dois meses consecutivos (jan/fev) do ano de 2007, mostrou-se em baixas concentrações, não ultrapassando os VMP's determinados pela COPAM/CERH-MG 01/2008, com exceção do ponto PC 04 no mês de maio/2007 que

apresentou 0,028 mg/L acima do permitido, como é destacado pela coloração amarela no quadro 4.

Já o Pb e o Cd apresentaram-se em valores de concentração acima do permitido pela lei em alguns pontos de coleta destacados no quadro nas cores verde e azul, respectivamente.

Assim, foi possível observar a presença de metais indesejáveis acima da concentração permitida pela legislação, nos dias/meses em que as coletas foram realizadas.

## **2 ENSAIOS DE ADSORÇÃO DOS METAIS PESADOS Cd, Cu, Cr e Pb COM OS ADSORVENTES MORINGA E MATERIAL ARGILOSO**

Como a concentração dos metais em estudo nas águas do Rio Uberabinha mostrou-se baixa para a verificação da eficiência dos adsorventes naturais em removê-los, volumes de soluções contendo os diferentes metais pesados chumbo, cádmio, cromo (total) e cobre, com concentrações de 5 mg.L<sup>-1</sup>, portanto acima daquelas permitidas por lei, foram submetidas a ensaios de adsorção, a 25 °C, com dois adsorventes naturais: a *Moringa oleifera* e o material argiloso.

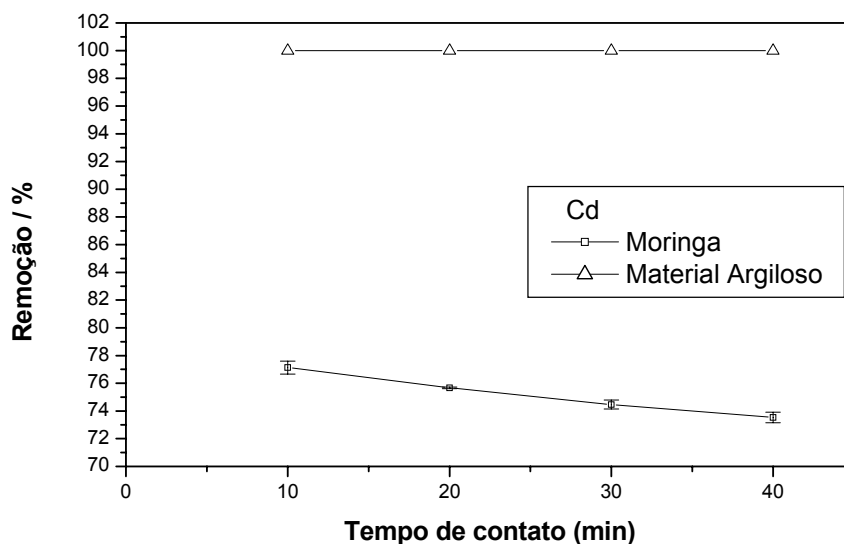
As soluções preparadas para os ensaios de adsorção foram misturadas com os adsorventes propostos nesse estudo e então submetidas à agitação por tombamento. Após a adsorção, os resíduos foram separados por decantação, seguida de filtração, e as soluções obtidas analisadas por espectroscopia de absorção atômica com chama (FAAS) para os elementos anteriormente referidos. As diferenças entre os teores dos elementos presentes nas soluções iniciais e aqueles encontrados após os processos de adsorção permitiram determinar a efetividade de remoção de metais pesados de cada um dos adsorventes.

Os parâmetros tempo (minuto) de contato e quantidade (massa, mg) de adsorvente foram estudados, para cada um dos metais pesados escolhidos para o estudo.

### 3 EFEITO DO TEMPO DE CONTATO NA ADSORÇÃO

Para a avaliação da influência do tempo de contato na capacidade de adsorção, 100 mg dos adsorventes em estudo de granulometria 32 mesh e pH 6,5, foram agitados em agitador mecânico, por tombamento, em banho termostatizado à 25°C, em sistema aberto, com 0,025 dm<sup>3</sup> de solução dos metais Cd, Cu, Cr e Pb a 5 mg.dm<sup>-3</sup>, separada e individualmente. A variável estudada, tempo de contato, foi observada nos intervalos de 10, 20, 30 e 40 minutos, respectivamente.

Verificou-se, após os ensaios, que a remoção do cádmio foi independente do tempo de contato quando se usou como adsorvente o material argiloso e mostrou um pequeno decréscimo quando do uso da moringa, como se observa na figura 13.



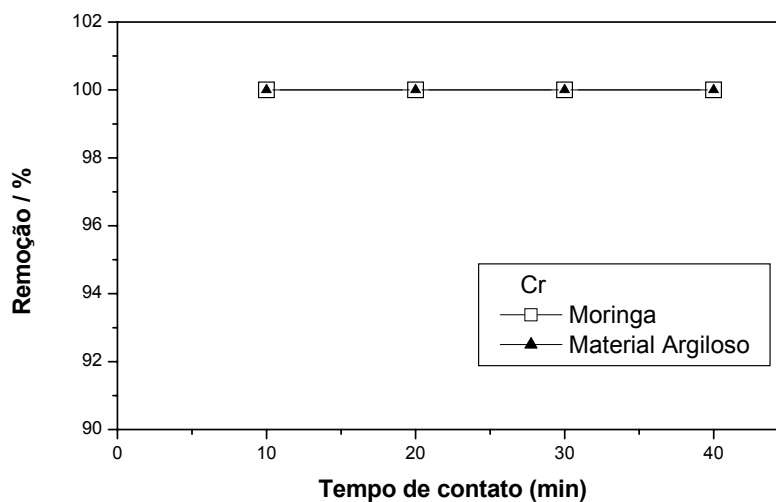
**Figura 12:** Porcentagem de remoção de cádmio em função do tempo de contato utilizando ambos adsorventes.

O comportamento de ambos adsorventes, pode ser devido ao fato de ter havido uma saturação dos sítios de adsorção, logo nos primeiros instantes de contato, ou mesmo devido aos choques entre moléculas de adsorvente/metal. Uma colisão intermolecular poderia estar provocando uma dessorção entre o adsorvente e o adsorbato.

O uso do material argiloso como adsorvente mostrou uma excepcional remoção do metal Cd nos quatro diferentes tempos testados.



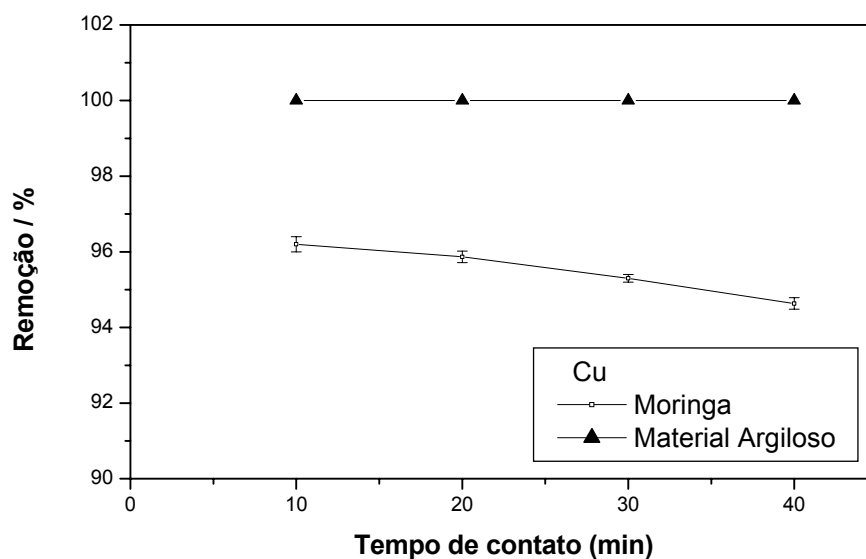
Com a alteração de tempo de contato para a solução de Cr, nenhuma mudança foi evidenciada, apresentando desde os primeiros momentos até o tempo máximo, 100% de remoção com os adsorventes propostos. A figura 14 ilustra o fato.



**Figura 13:** Porcentagem de remoção de cromo em função do tempo de contato utilizando ambos adsorventes.

Os resultados encontrados para a remoção do cromo, por ambos os adsorventes estão de acordo com o proposto por Fontes e Gomes (2003), onde a seqüência de seletividade baseada na proporção do aumento na adsorção dos metais seria  $Cr \sim Pb \gg Cu \gg Ni > Cd \sim Zn$  para matrizes minerais como é o caso material argiloso. Assim, justifica-se o cromo apresentar grande afinidade por ambos adsorventes. O comportamento foi válido para a moringa como adsorvente também.

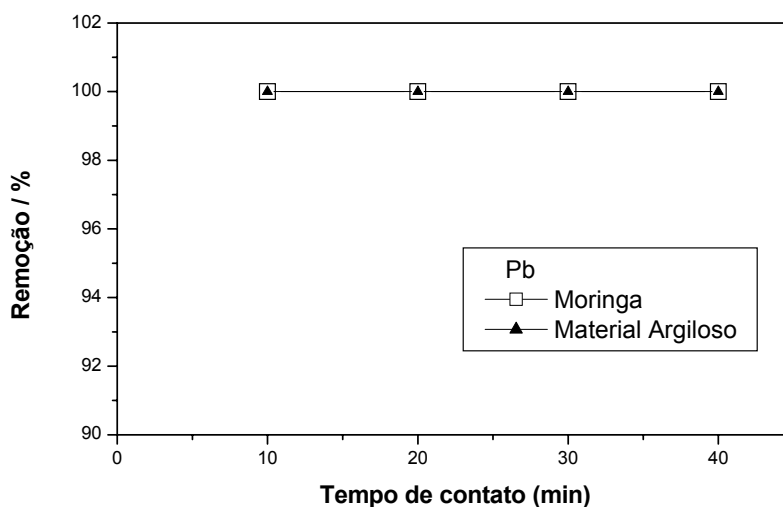
Para a variação de tempo de contato da solução contendo íons  $Cu^{2+}$ , têm-se os seguintes resultados (Fig. 15):



**Figura 14:** Porcentagem de remoção de cobre em função do tempo de contato utilizando ambos adsorventes.

Como se vê, com o aumento do tempo de contato, a porcentagem de remoção de Cu, de modo semelhante à remoção do Cd, praticamente não apresenta diminuição quando do uso do material argiloso e diminuição desprezível quando da utilização da moringa. Novamente, embora em pequena proporção, o material argiloso se mostrou um adsorvente mais eficiente que a moringa, mostrando-se como um excelente adsorvente natural, conseguindo uma retirada de valores muito próximos de 100% do metal em solução, independente do tempo de contato.

O Pb, de maneira semelhante à ocorrência com a adsorção do Cr, mostrou uma total adsorção para ambos adsorventes, independentemente do tempo de contato. Este comportamento também está de acordo com a série proposta por Fontes e Gomes (2003), onde o chumbo ocupa posição junto ao cromo e bem maior que o cobre, o elemento que vem logo a seguir.



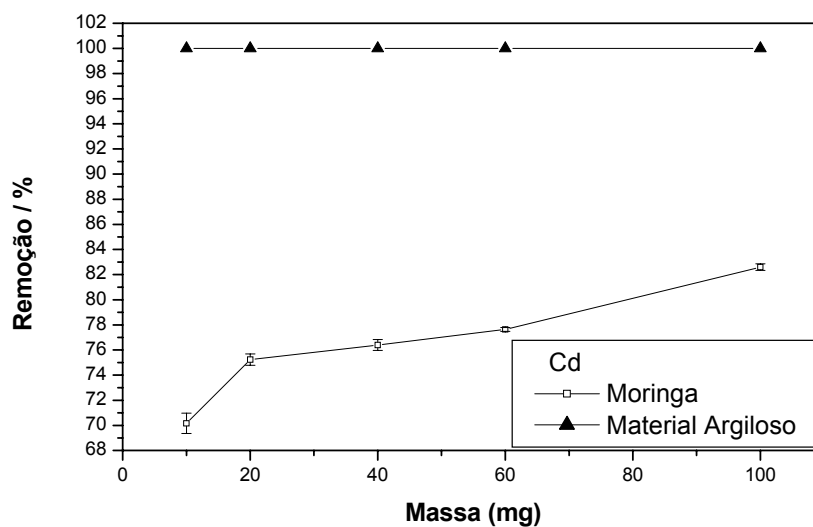
**Figura 15:** Porcentagem de remoção de chumbo em função do tempo de contato utilizando ambos adsorventes.

Assim, a partir dos ensaios voltados para a verificação da interferência do tempo de contato na porcentagem de remoção dos metais em estudo nas soluções contaminadas, notou-se uma maior eficácia do material argiloso em relação à moringa.

#### 4. EFEITO DA MASSA DO ADSORVENTE NA ADSORÇÃO

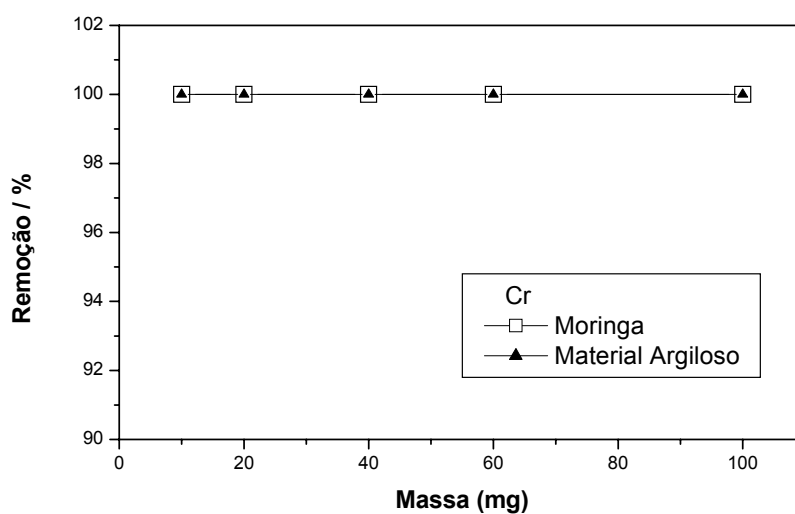
A quantidade de massa usada para o estudo variou de 10, 20, 40, 60 e 100 mg, respectivamente. Para este ensaio, utilizaram-se como condições de trabalho: granulometria: 32 mesh; volume da solução 25 mL ; pH 6,5; concentração da solução  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  (Cd, Cu Cr e Pb) e tempo de agitação 40 minutos. Diante dos resultados obtidos, têm-se as figuras 17, 18, 19 e 20.

Com a moringa, verificou-se uma boa capacidade de adsorção para o metal Cd, com este fenômeno crescendo com a elevação da massa do adsorvente. O material argiloso apresentou uma excelente capacidade de adsorção do metal, independente de sua massa. Estes fatos podem ser observados na figura 17.



**Figura 16:** Porcentagem de remoção de cádmio em função da massa de ambos adsorventes.

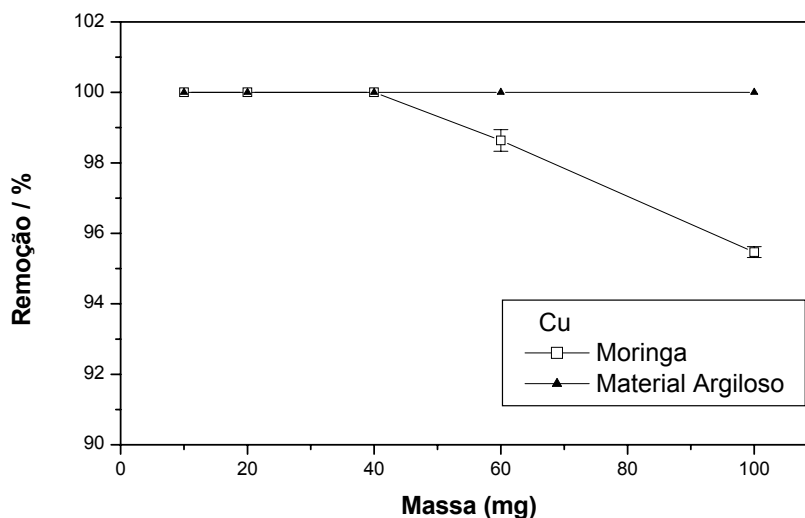
Para um segundo momento, com a solução de Cr, os resultados de remoção desse metal foram eficientes, mostrando ser o cromo um metal de fácil adsorção pelos adsorventes utilizados. Segundo Gomes *et. al.* (2001), a seqüência mais comum de adsorção é Cr>Pb>Cu>Cd>Zn>Ni em matrizes minerais, como o material argiloso utilizado. A figura que se segue justifica tal potencial adsorativo. Essa seqüência mostrou-se válida também para a moringa.



**Figura 17:** Porcentagem de remoção de cromo em função da massa de ambos adsorventes.

Pôde-se observar a extrema eficiência da moringa em se estar adsorvendo Cr de soluções que o contém. O mesmo pode ser visto quando se usa o material argiloso como adsorvente (Fig. 18). Para tanto, o Cr se mostra um metal de fácil remoção por adsorção.

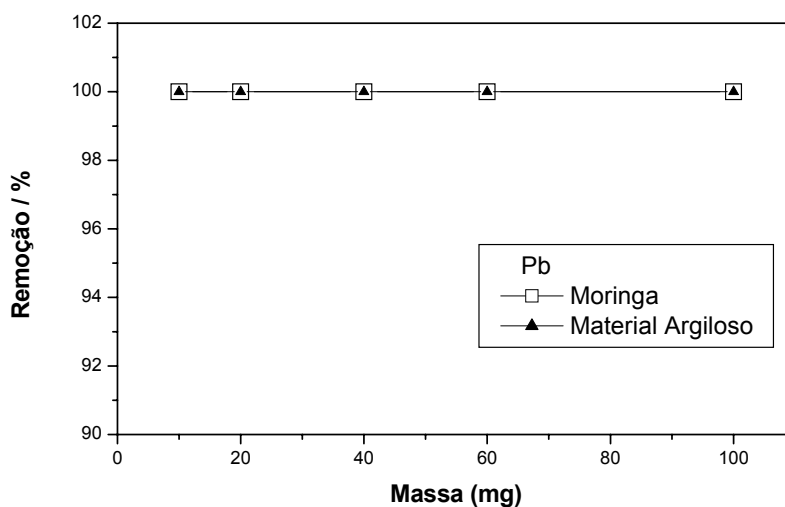
Em processo posterior, utilizando a solução de Cu a  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ , verificou-se um comportamento irregular, onde com o aumento da massa de moringa utilizada, a porcentagem de remoção de Cu foi reduzida. Esse fato é confirmado pela figura 19 abaixo.



**Figura 18:** Porcentagem de remoção de cobre em função da massa de ambos adsorventes.

O mesmo não ocorreu ao utilizar o material argiloso como adsorvente. Todo metal foi removido com facilidade e com apenas 10 mg da mesma.

Para o chumbo, assim como pôde ser visto com o Cr, nem as variações das concentrações de massa dos adsorventes moringa e material argiloso, nem as alterações do tempo de contato puderam modificar o resultado tão expressivo em termos de remoção para ele. A figura a seguir resume a total remoção do Pb em solução.



**Figura 19:** Porcentagem de remoção de chumbo em função da massa de ambos adsorventes.

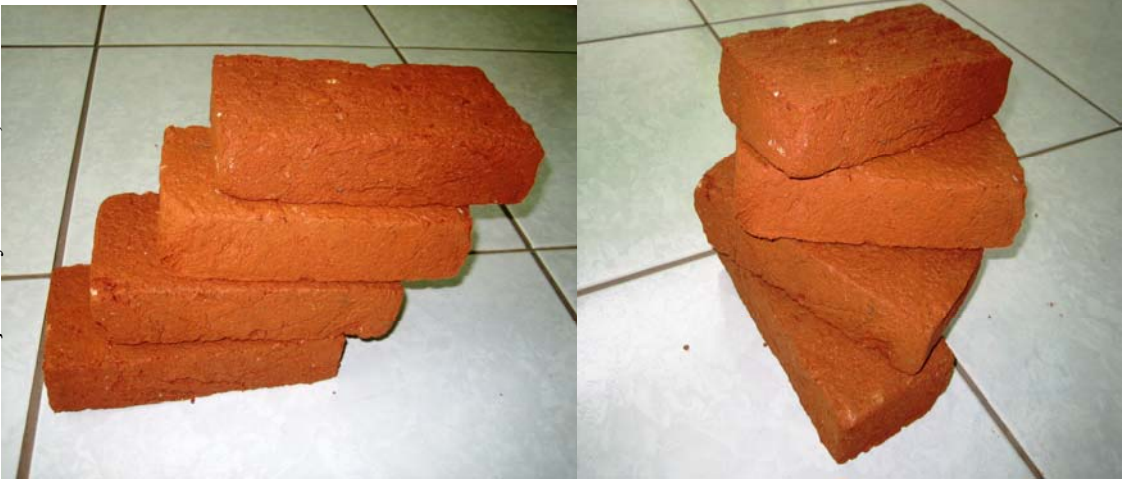
Ambos os adsorventes mostraram-se extremamente eficientes na remoção do Pb.

## 5. PRODUTO DA REMEDIAÇÃO

Obtidos os tijolos, que continham os metais pesados provenientes das soluções contaminadas, pôde-se verificar que um possível método de destinação para resíduos dessa natureza existe. Os metais ficaram retidos e impossibilitados, por um determinado período, de continuar contaminado o meio ambiente, ou seja, foram imobilizados temporariamente.

Esses tijolos poderão ser utilizados nas construções civis da mesma maneira que os tijolos tradicionais, onde é válido ressaltar que para que não haja possibilidade de lixiviação dos metais neles inseridos, devem ser tijolos voltados para construções civis de médio e grande porte, as quais irão rebocar, impermeabilizar e pintar as paredes construídas por esses tijolos.

**Ilustração:** Dayana Bittar, 2007



**Figura 20:** Tijolo contendo metal pesado + adsorvente

## CAPÍTULO V

### 1 CONCLUSÕES

As conclusões gerais deste trabalho foram:

1) A avaliação das condições das águas superficiais do Rio Uberabinha (classe 3, COPAM 10, 1986) da cidade de Uberlândia/MG coletadas uma vez por mês no período de set/2006 a jun/2007 em seis pontos estratégicos (Ponte da BR050, Ponte do Vau, Ponte Praia do Clube, Ponte do Anel Viário, Fazenda Capim Branco e no Laboratório de Separação e Pré-Concentração da UFU) mostrou que os parâmetros:

- a) cor, turbidez, OD (exceto no PC 05 no mês de set/2006) e DBO estão abaixo do VMP, segundo a COPAM/CERH-MG 01/2008, que são respectivamente: 75 mg Pt/L, até 100 UNT, acima de 4 mg.L<sup>-1</sup> de O<sub>2(g)</sub> e até 10 mg.L<sup>-1</sup> de O<sub>2(g)</sub>, que configuram uma boa saúde ao corpo hídrico do Rio Uberabinha.
- b) os metais de VMP (mg.L<sup>-1</sup>) Cd = 0,01; Cu = 0,5; Cr (total) = 0,05 e Pb = 0,05 apresentaram valores acima do permitido pela COPAM 10 nos respectivos pontos: Ponte da BR050 (Cd e Pb), Ponte do Praia Clube (Cd), Ponte do Anel viário (Pb e Cd) e Fazenda Capim Branco (Cd) no mês de jan/2007; Ponte Praia Clube (Pb) no mês de fev/2007; Ponte da BR050 (Cd e Pb), Ponte do Vau (Pb), Ponte do Anel viário (Pb) e Fazenda Capim Branco (Cd e Pb) no mês de mar/2007; Ponte da BR050 (Pb), Ponte do Praia Clube (Cd e Pb) no mês de abr/2007; Ponte do Vau (Pb), Ponte do Anel viário (Cr), Fazenda Capim Branco (Pb), Laboratório de Separação e Pré-Concentração da UFU (Pb) no mês de mai/2007 e Ponte da BR050 (Pb), Ponte do Anel viário (Pb), Fazenda Capim Branco (Pb) no mês de jun/2007, o que o caracteriza em más condições para o abastecimento público em alguns pontos.

2) Os ensaios de adsorção com os adsorventes naturais *Moringa oleifera* e material argiloso realizados após o preparo das soluções dos metais pesados Cd, Cu, Cr e Pb (acima dos VMP's pela COPAM/CERH-MG 01/2008) mostraram que:



- a) Para a moringa como adsorvente, 10 mg da mesma foram suficientes para uma grande remoção dos metais Cu, Cr e Pb quando em contato com as soluções dos mesmos por um período de 40 minutos e para o Cd 100 mg foram necessários, durante o mesmo tempo de contato para os outros ensaios. Já com uma massa de moringa fixada em 100 mg, alterando apenas o tempo de contato, 10 minutos mostraram-se eficientes na retirada dos metais das soluções.
- b) Tendo o material argiloso como adsorvente, 10 mg foram suficientes para remover 100% dos metais Cd, Cu, Cr e Pb das soluções. Em um segundo momento, após a fixação da massa do material adsorvente, também em 100 mg, 10 minutos de tempo de contato foram mais que suficientes para uma total remoção dos metais em solução por adsorção.
- c) Foi visível a eficácia do material argiloso em relação à moringa para a adsorção dos metais estudados nesse trabalho, o que mostra a imprescindível necessidade de se explorar tal adsorvente natural para tratar águas poluídas com metais pesados, antes que esses sejam lançados nos cursos de água doce, poluindo-os. E isso é viável por o material argiloso ser um adsorvente natural largamente encontrado nos solos brasileiros.

## **2 PROPOSTAS DE CONTINUIDADE**

Considerando os resultados obtidos em bancada de laboratório usando a moringa e o material argiloso como adsorventes, vê-se a necessidade de realizar estudos usando planejamento fatorial para se explicar melhor o efeito da massa do adsorvente em relação ao tempo de contato, trabalhar com um coquetel de metais já que em efluentes industriais e em águas contaminadas normalmente o que existem são misturas de vários metais e isso pode ou não interferir na porcentagem de remoção dos mesmos por ensaios de adsorção.

Verificar, com testes quantitativos, se a qualidade do tijolo com o resíduo metal/adsorvente, proposto como meio de remediação, continua igual, melhor ou inferior ao tijolo convencional, bem como propor um método de armazenamento do mesmo e ensaios de lixiviação.

Caracterizar e identificar o material argiloso utilizado nos ensaios para um melhor entendimento do processo de adsorção.

E finalmente, sugerir parcerias entre indústrias que tratam efluentes contaminados com metal pesado e cerâmicas, e aplicar o método de tratamento real com amostras reais mostrando ser um método empreendedor viável para ambos.

## CAPÍTULO VI

### REFERÊNCIAS

ABDULKARIM, S. M.; LONG, K.; LAI, O. M.; MUHAMMAD, S. K. S.; GHAZAL, H. M. Some physico-chemical properties of Moringa oleifera seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods. **Food Chemistry**. V. 93, p. 253-263, 2005.

AGUIAR de, M. R. M. P., NOVAES, A.C; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**. V. 25, n. 6b, p.1145-1154, São Paulo, nov/dez, 2002.

ALLOWAY, B. J; AYRES, D. C. **Chemical Principles of Environmental Pollution**. 2<sup>th</sup> ed: Blackie Academic e Professional, United Kindon, 1997.

ANJOS, J. A. S. A. A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA**. 2003. TESE (doutorado). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 20<sup>th</sup> ed., Washington, D.C., 1998.

AZEVEDO, F. A. de; CHASIN, A. A da Matta. **Metais: gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003.

BAIRD, C. **Environmental Chemistry**. 2<sup>nd</sup> Ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1998.

BAILEY, R. A.; CLARK, H. M. ; FERRIS, J. P., KRAUSE S.; STRONG, R. L. **Chemistry of the Environment**. 2<sup>nd</sup> Ed. New York: Academic Press, 2002.

BRANDÃO, S. L. e LIMA, S. do C. Diagnóstico ambiental das áreas de preservação permanente (APP), margem esquerda do rio Uberabinha, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, 3 (7), out./2002.

BRASIL, Portaria Ministério da Saúde nº 518, de 25 de março de 2004. **Diário Oficial da União**. Brasília; 26 de março, seção 1, 2004.

BROIN, M.; SANTAELLA, C.; CUINE, S.; KOKOU, K.; PELTIER, G.; JOET, T. Flocculent activity of a recombinant proteinfrom Moringa oleifera Lam. Seeds. **Appl Microbiol Biotechnol**. V. 60, p. 114-119, out., 2002.

CARDOSO, L. M. N.; CHASIN, A. A. M. **Ecotoxicologia do Cádmio e seus compostos**. Salvador: CRA. V. 6, 2001.

CARMO, M. S. do.; BOAVENTURA, G. R.; OLIVEIRA, E. C. Geoquímica das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, Brasília/DF - Brasil. **Química Nova**. São Paulo. V. 28, n. 4, p.565-574, 2005.

CETESB, S. P. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. Coord. Edmundo Garcia Agudo (et al). São Paulo: CETESB, 1988.

COELHO, A. C. V; SANTOS, P. de S.; SANTOS, H. de S. Argilas especiais: o que são, caracterização e propriedades. **Química Nova**. São Paulo. V.30, n. 1, p. 146-152, jan/fev, 2007.

COPAM, Deliberação Normativa Conjunta CERH-MG nº 01 05 de maio de 2008.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do Rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira - Petar, São Paulo, Brasil. **Química Nova**. São Paulo, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

CRUZ, L. B. S. **Diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba**. 2003. TESE (Doutorado). Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003.

FELLENBERG, G.; **Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental**. Ed. Pedagógica e Universitária Ltda: São Paulo, 1980.

FIGUEIRÊDO, G. J. A. de. **Avaliação da presença de alumínio na água do sistema de abastecimento público da cidade de João Pessoa e Grande João Pessoa no Estado da Paraíba e os possíveis riscos para a saúde da população**. 2004. DISSERTAÇÃO (Mestrado). João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2004.

FOLETTI, E. L.; ALVES, C. C. A.; PORTO, L. M. Regeneração e Reutilização de uma Argila Comercial Utilizada na Clarificação de Óleo Vegetal. **Cerâmica Industrial**. V. 8, n. 1, p. 43-45, jan/fev, 2003.

FONTES, M. P. F.; GOMES, P. C. Simultaneous competitive adsorption of heavy metals by the mineral matrix of tropical soils. **Applied Geochemistry**. V. 18, p. 795-804, 2003.

FORD, R. G.; SCHEINOST, A. C.; SPARKS, D. L. Frontiers in metal sorption/precipitation mechanisms on soil mineral surfaces. **Advances in Agronomy**. V. 74, p. 41-62, 2001.

GALÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F. e BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista Ciência Agronômica**. V.37, n.1, p.106-109, 2006.

GHEBREMICHAEL, K. A.; GUNARATNA, K. R.; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H.; DALHAMMAR, G. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleifera seed. **Water Research**. V. 39, p. 2338-2344, 2005.

GODLEWSKA-ZYLKIEWICZ, B. "Analytical applications of living organisms for preconcentration of trace metals and their speciation". **Critical Reviews in Analytical Chemistry**. V.31, p. 175-189, 2001.

GOMES, P. C.; FONTES, M. P. F.; SILVA, A. G. da; MENDONÇA, E. de S.; NETTO A. R. Selectivity Sequence and Competitive Adsorption of Heavy Metals by Brazilian Soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** V. 65, p. 1115–1121, 2001.

GOOGLE EARTH. Capturado em 28 de outubro de 2007. Online. Disponível em: <http://earth.google.com/intl/pt/>.

GOULART, A. T; OLIVEIRA, A. A de. **Ocorrência de cobre, cádmio, chumbo e zinco em calcários de diferentes localidades de Minas Gerais**. Resumo apresentado no XXI Encontro Regional, nov, 2007.

GREENPEACE, **Metais pesados - Contaminando a vida**. Capturado em 08 de março de 2007. Online. Disponível em: [http://www.greenpeace.org.br/toxicos/?conteudo\\_id=818&sub\\_campanha=0&img=15&HPSESSID=c7312b39ae8f73ad97e11f1f5219c8b3](http://www.greenpeace.org.br/toxicos/?conteudo_id=818&sub_campanha=0&img=15&HPSESSID=c7312b39ae8f73ad97e11f1f5219c8b3).

GURGEL, J. J. S. e VINATEA, J. E. **Métodos de aumento da produtividade aquática natural**. Capturado em 06 de agosto de 2007. Online. Disponível em: [http://www.fao.org/docrep/field/003/AB486P/AB486P02.htm#refparte2.\\*\\*](http://www.fao.org/docrep/field/003/AB486P/AB486P02.htm#refparte2.**).

HARRISON, R. M. **Understanding Our Environment**. An Introduction to Environmental Chemistry and Pollution. Wiltshire: Royal Society of Chemistry, 1999.

IMMICH, A. P. S. **Remoção de corantes de efluentes têxteis Utilizando folhas de *Azadirachta indica* como adsorvente**. 2006. DISSERTAÇÃO (Mestrado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

JEYAPRAKASH, A. A.; JAYASHREE, G.; MAHANTA, S. K.; SWAMINATHAN, C. P.; SEKAR, K.; SUROLIA, A.; VIJAYAN, M. Structural Basis for the Energetics of Jacalin–Sugar 50 Interactions: Promiscuity Versus Specificity. **Journal of Molecular Biology**, 347, p. 181-188, 2005.

KARADI, R.V.; GADGE, N. B.; ALAGAWADI, K. R.; SAVADI, R. V. Effect of *Moringa oleifera* Lam. root-wood on ethylene glycol induced urolithiasis in rats. **Journal of Ethnopharmacology**. V. 105, p. 306-311, 2006.

KLEIN, S. I. **Água: abundância, uso, reutilização, e poluição**. Capturado em 08 de março de 2007. Online. Disponível em: <http://inorgan221.iq.unesp.br/quimgeral/respostas/agua.html>.

KWAAMBWA, H.M., MAIKOKERA, R. Infrared and circular dichroism spectroscopic characterization of secondary structure components of a water treatment coagulant protein extracted from *Moringa oleifera* seeds. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, p. 1-8, jan, 2008.

LACOUR, S., BOLLINGER, JC, SERPAUD B., CHANTRON P., ARCOS R. Removal of heavy metals in industrial wastewaters by ion-exchanger grafted textiles. **Anal Chim Acta**. V. 428, p. 121-132, 2001.

MANAHAN, S. E. **Fundamentals of environmental chemistry**. 2nd ed. New York: Lewis Publishers, 2001.

MATIJEVIC, E.; SAPRESKO, R. S.; MELVILLE, J. B. Ferric hydrous oxide soils. **J. Coll Int. Science**. 30, 1975.

MATOS, A. T.; CABANELLAS, C. F. G.; CECON, P. R.; BRASIL, M. S., MUDADO, C. S. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.544-551, maio/ago. 2007.

NDABIGENGESERE, A. e NARASIAH, K. S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**. V.32, n. 3, p. 781-791, 1998.

NEUMANN, M. G.; GESSNER, F.; CIONE, A. P. P.; SARTORI, R. A., CAVALHEIRO, C. C. S. Interações entre corantes e argilas em suspensão aquosa. **Química Nova**. V. 23, n.6, p. 818-824, São Paulo, 2000.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W. e OKADA, M. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. **Water Research**. Vol. 35, n. 2, p. 405-410, 2001.

ORTIZ, N. **Estudo da utilização de magnetita como matéria adsorvedora dos metais  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  e  $\text{Cd}^{2+}$  em solução**. 2000. TESE (Doutorado). São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2000.

PEREIRA, M. G. e ARRUDA, M. A. Z. Vermicompost as a natural adsorbent material: characterization and potentialities for cadmium adsorption. **J. Braz. Chem. Soc**. V. 14, n. 1, p. 39-47, 2003.

PERUZZO, L. C. **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo**. 2003. DISSERTAÇÃO (Mestrado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

RADOJEVIC, M.; BASHKIN, V. N. **Practical Environmental Analysis**. Cornwall: Royal Society of Chemistry, 1999.

REEVE, R. N. **Introduction to Environmental Analysis**. John Wiley & Sons, Ltda: University of Sunderland, UK, 2002.

RODRIGUES, M. G. F.; SILVA, M. L. P.; SILVA, M. G. C. da. Caracterização da argila bentonítica para utilização na remoção de chumbo de efluentes sintéticos. **Cerâmica**. São Paulo. V. 50, n. 315, p. 190-196, jul/set. 2004.

RUBIO, J., **Pesquisa gaúcha desenvolve adsorvente natural de óleos**. “Química e Derivados”. Capturado em 31 de novembro de 2007. Online. Disponível em <http://www.quimica.com.br/atualidades>.

SANTOS, A. F. S.; LUZ, L. A.; SILVA, M. B. R.; ARGOLO, A. C. C.; PAIVA, P. M. G.; COELHO, L. C. B. B. Isolamento de uma lectina coagulante de sementes de Moringa oleifera. **XXII Prêmio Jovem Cientista**. Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

SANTOS, C. P. F. dos; MELO, D. M. A.; MELO, M. A. F.; SOBRINHO, E. V. Caracterização e usos de argilas bentonitas e vermiculitas para adsorção de cobre (II) em solução. **Cerâmica**. V.48, n.308, p. 178-182, São Paulo, out/dez, 2002.

SCHWANKE, R. O. **Determinação da difusividade de hidrocarbonetos aromáticos em zeólitas por métodos cromatográficos**. 2003. DISSERTAÇÃO (Mestrado). Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

SHARMA, P.; KUMARI, P.; SRIVASTAVA, M.M.; SRIVASTAVA, S. Removal of cadmium from aqueous system by shelled Moringa oleifera Lam. seed powder. **Bioresource Technology**. V. 97, p. 299-305, 2006.

SEPLAMA. **Banco de dados integrados**. Prefeitura de Uberlândia. Vol. 1. Capturado em 09 de agosto de 2007. Online. Disponível em: [http://www3.uberlandia.mg.gov.br/home\\_bdi.php?id=189](http://www3.uberlandia.mg.gov.br/home_bdi.php?id=189)

SILVA, W. J. da. A Bacia do Rio Paranaíba. Net, Minas Gerais, abr. 2006. **Seção Meio Ambiente > Gestão de recursos > Bacias hidrográficas**. Capturado em 04 de abril de 2006. Online. Disponível em: <http://www.mineiros-uai.com.br/>. Acesso em:

SOARES, M. R. **Coefficiente de distribuição ( $k_D$ ) de metais pesados em solos do Estado de São Paulo**. 2004. TESE (Doutorado em Agronomia). Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2004.

SULEYMAN, A. M.; LILIAN, M. E. Moringa oleifera seeds for softening hardwater. **Water Research**. V. 29, p.1099-1104, 1995.

TARLEY, C. R. T. e ARRUDA, M. A. Z. Adsorventes naturais: potencialidades e aplicações da esponja natural (*Luffa Cylindrica*) na remoção de chumbo em efluentes de laboratório. **Revista Analytica**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, maio, n. 4, p. 25-31, 2003.

VIEIRA, C. A. **Caracterização e uso da hidroxiapatita (HA) sintética e briófia como absorventes de metais pesados (chumbo e cádmio) em soluções e resíduos contaminados**. 2005. DISSERTAÇÃO (Mestrado em Biotecnologia). Três Corações: Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG, 2005.

YABE, M. J. S. e OLIVEIRA, E. de. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova**. V. 21, n. 5, p.551-556, set./out, São Paulo, 1998.