

Revista Cerrados (Unimontes)

ISSN: 1678-8346

revista.cerrados@unimontes.br

Universidade Estadual de Montes Claros
Brasil

Simões Santos, Matheus; Baggio Filho, Hernando; Dias Araújo, Amanda; de Oliveira
Freitas, Mariana; Martins da Costa, Thiago; Heinrich Horn, Adolf
ANALISE DA CONCENTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE METAIS PESADOS NA ÁGUA
DO RIO DAS VELHAS ENTRE A CIDADE DE VÁRZEA DA PALMA E O DISTRITO DE
BARRA DO GUAICUÍ—MG

Revista Cerrados (Unimontes), vol. 16, núm. 1, enero-junio, 2018, pp. 130-158
Universidade Estadual de Montes Claros

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=576963552008>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto



ANALISE DA CONCENTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE METAIS PESADOS NA ÁGUA DO RIO DAS VELHAS ENTRE A CIDADE DE VÁRZEA DA PALMA E O DISTRITO DE BARRA DO GUAICUÍ—MG

CONCENTRATION AND DISTRIBUTION OF HEAVY METALS ANALYSIS IN WATER OF THE VELHAS RIVER IN THE VÁRZEA DA PALMA TOWN AND THE BARRA DO GUAICUÍ DISTRICT -MG

ANALISIS DE LA CONCENTRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS EN EL AGUA DEL RÍO DAS VELHAS EN LA CIUDAD DE VÁRZEA DE LA PALMA Y EL DISTRITO DE BARRA DEL GUAICUÍ-MG

Matheus Simões Santos  

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri– UFVJM

E-mail: <suehtamespeleo@yahoo.com.br>

Hernando Baggio Filho  

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri– UFVJM

E-mail: <hbaggio@ufvjm.edu.br>

Amanda Dias Araújo  

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri– UFVJM

E-mail: <a-dias@live.com>

Mariana de Oliveira Freitas  

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri– UFVJM

E-mail: <mariana.freitas.ufvjm@gmail.com>

Thiago Martins da Costa  

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri– UFVJM

E-mail: <thiagocostam@hotmail.com>

Adolf Heinrich Horn  

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

E-mail: <hahorn@ufmg.br>

RESUMO

O Rio das Velhas é o maior afluente em extensão do Rio São Francisco no Norte do Estado de Minas Gerais. A área de estudo localiza-se integralmente no município de Várzea da Palma, sendo delimitada pelas seguintes coordenadas UTM: 520000E-860200N e 532000E-805200N. Tendo em vista as particularidades naturais e as características antrópicas, o estudo avaliou a concentração e distribuição dos metais pesados na água superficial em 25 amostras coletadas em campo. As análises químicas dos metais cobre (Cu) e Cromo (Cr) nas águas superficiais demonstraram que, apenas o Cu violou a resolução CONAMA 357/2005, nenhuns dos dois elementos violaram a Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004. Em relação aos parâmetros Alumínio (Al), Manganês (Mn) e Ferro (Fe), na área de influencia urbano/industrial, o lançamento de esgoto doméstico, resulta em níveis de contaminação para esses elementos, no restante da área amostrada, indica um enriquecimento natural. Na elaboração cartográfica foi utilizado o *software* Arc Gis 9.2. Concluiu-se que a bacia do Rio das Velhas se constitui em um ambiente natural frágil. Os vários tipos de interferências antropogênicas, em especial a agricultura comercial, indústrias e urbanização, além de todo o contexto histórico de ocupação desordenada da bacia, contribuíram de forma marcante para a sua degradação hídrica e ambiental.

Palavras-chave: Rio das Velhas. Água. Poluição. Metais pesados.

ABSTRACT

The Velhas River is the largest tributary in the extension of the São Francisco River in the North of the State of Minas Gerais. The study area is fully located in the Várzea da Palma municipality and is delimited by the following UTM coordinates: 520000E-860200N and 532000E-805200N. Considering the natural particularities and the anthropic characteristics, the study evaluated the concentration and distribution of heavy metals in surface water in 25 samples collected in the field. The chemical analysis of Cu and Cr metals in surface waters shows that only Cu violated CONAMA Resolution 357/2005, neither of the two elements violated Ministry of Health Ordinance No. 518/2004. Regarding the parameters Al, Mn and Fe, in the area of urban / industrial influence, the release of domestic sewage results in levels of contamination for these elements, the rest of the sampled area shows natural enrichment. For cartographic elaboration was used software ArcGis 9.2 to obtain the natural scenarios. It was concluded that the Velhas River basin constitutes itself in a fragile natural environment. The various types of anthropogenic interference, especially commercial agriculture, industries and urbanization, beyond all the historical context of disordered occupation of the basin, contributed significantly to hydric and environmental degradation.

Keywords: Velhas River. Water. Pollution. Heavy metals.

RESUMEN

El Rio das Velhas es el más grande afluente en extensión de la cuenca hidrográfica del Rio São Francisco, ubicado a norte de la Provincia de Minas Gerais, sureste de Brasil. La zona de estudio comprende al município de Várzea da Palma (520000 E-860200 N; 532000 E-805200 N). Tenendo em conta las condiciones naturales y antrópicas, el estudio evaluó la

concentración y distribución del cobre (Cu) y cromo (Cr) en agua superficial de 25 porciones/partes recogidas del Rio de Velhas. Los datos puntan que las concentraciones del cobre no están de acuerdo con la resolución del CONAMA 357/2005, y que tanto el cobre como el cromo violaron la Portaria del Ministério de Saúde de Brasil nº 518/2004. En relación a los parámetros de metales como aluminio (Al), manganeso (Mn) y fierro (Fe), en la zona de influencia urbano/industrial de saneamiento doméstico, resulta niveles de contaminación a partir de esos elementos. Aunque al rededor de la zona estudiada, esos niveles apuntan un enriquecimiento natural por parte de los mismos. En la elaboración cartográfica se utilizó el *software* Arc Gis 9.2, para la obtención de los mapas con los escenarios naturales. El conjunto de datos han indicado que la cuenca del Rio das Velhas resulta em un ambiente natural extremamente frágil a las contaminaciones. Los diversos tipos de interferencias antropogénicas, en particular la agricultura comercial, las industrias y la urbanización, además de todo el contexto histórico de ocupación desordenada de la cuenca, contribuyeron de forma marcada a su degradación hídrica y ambiental.

Palabras clave: Rio das Velhas. Agua. Polución. Metales pesados.

INTRODUÇÃO

Os desequilíbrios ambientais, causados pelas ações antropogênicas nos ciclos biogeoquímicos, vêm impactando negativamente o meio físico, biológico e o próprio ser humano. Com isso, torna-se cada vez mais importante conhecer o impacto da intervenção humana nesses ciclos naturais para prever e remediar, ao máximo, suas consequências (BAGGIO, 2008).

A qualidade da água é uma variável que depende das características naturais e antrópicas no contexto da bacia hidrográfica. A noção de qualidade muitas vezes está relacionada apenas às características organolépticas, como sabor, odor e cor, no entanto, esses fatores estão ligados apenas à sensibilidade humana e não revelam os reais problemas de comprometimento da qualidade da água.

Segundo Braga (2002), a contaminação dos mananciais impede seu uso para o abastecimento humano. A alteração na qualidade da água agrava o problema da sua escassez. A água é a principal via de transporte de metais pesados, que poderá ser realizado de duas formas físicas: como espécies dissolvidas ou como espécies associadas a partículas sólidas (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981).

De acordo com Alloway e Ayres (1997), a agricultura é uma das maiores fontes não pontuais de poluição por metais pesados, sendo, as fontes principais as impurezas em

fertilizantes: Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Molibdênio (Mo), Urânio (U), Vanádio (V), Zinco (Zn); os pesticidas (Cobre (Cu), As, Mercúrio (Hg), Chumbo (Pb), Manganês (Mn), Zinco (Zn); os preservativos de madeiras (Arsênio (As), Cobre (Cu), Cromo (Cr) e os dejetos de produção de aves e porcos (Cobre (Cu), Zinco (Zn).

A legislação brasileira, que dispõe acerca da qualificação dos corpos de água e prescreve diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como, estabelecendo condições e padrões de lançamento de efluentes é a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005, consultada neste trabalho. Além desta, existe a Legislação Nacional, que dispõe acerca da potabilidade da água, elaborada pelo Ministério da Saúde – Portaria N° 518 de 25 de março de 2004. Segundo Baggio (2016), dentro do contexto estadual, que trata sobre os recursos hídricos, o Estado de Minas Gerais é bem servido no que diz respeito a leis, decretos e deliberações, geridos pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH-MG) e pelas portarias do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

Os metais pesados referem-se a um grupo de elementos com densidade específica e, principalmente, características de toxicidade particulares. Os metais ocorrem naturalmente nos corpos hídricos e podem ter fontes naturais e antropogênicas. As fontes naturais estão relacionadas aos tipos de rochas e solos de cada região. Algumas áreas podem ter níveis altos de contaminação, sendo os corpos hídricos ambientes importantes na identificação. Os padrões naturais desses elementos são conhecidos como background. As fontes antrópicas estão associadas aos diferentes tipos de uso do solo, com destaque para a mineração, o setor industrial, o deflúvio urbano e a agricultura.

A mudança dos padrões dos metais pesados nos corpos hídricos tem impactos significativos na saúde humana e na biota aquática. Os metais pesados incluem alguns elementos que estão presentes nos organismos vivos em pequenas quantidades (os denominados micronutrientes essenciais), que se tornam tóxicos com o aumento das concentrações, enquanto alguns elementos são naturalmente tóxicos.

O principal problema da entrada dos metais pesados no ambiente está relacionado à capacidade de concentração na cadeia trófica (bioacumulação), que afeta principalmente os seus níveis mais altos, onde se situam os seres humanos. Os efeitos na saúde humana estão

relacionados a problemas no sistema nervoso e efeitos cancerígenos, além disso, esses elementos podem causar mutações genéticas e afetar o sistema reprodutivo.

A análise dos níveis de metais pesados na área de estudo parte das alterações do uso e ocupação da terra, que vem se intensificando desde os anos 60, com a expansão das atividades econômicas nos setores industriais e da agropecuária e o consequente crescimento urbano. A região pesquisada vem sendo, utilizada para fins agrícolas, desde a década de 1960 por imensos latifúndios que introduziram a monocultura de pinus e eucaliptos. Contudo, com a chegada dos grandes grupos capitalistas agrícolas, trazendo consigo novas agrotecnologias, a produção diversificou-se e ganhou caráter comercial.

Entre as regiões de Várzea da Palma, Barra do Guaicuí e Pirapora destacam-se as atividades industriais e agropecuárias. Caracterizam um cenário de ampla atividade agropecuária, com grande número de fazendas, a exemplo daquelas que se localizam no alto Chapadão dos Gerais. Destacam-se plantações de pinus, eucalipto, soja, milho, café. As atividades industriais incluem as metalúrgicas e têxteis, das quais, resultam a emissão de particulados atmosféricos e o lançamento de efluentes líquidos. Na agricultura, destacam-se a fruticultura, principalmente a produção de uva e cítricos, além, das monoculturas de eucalipto e café.

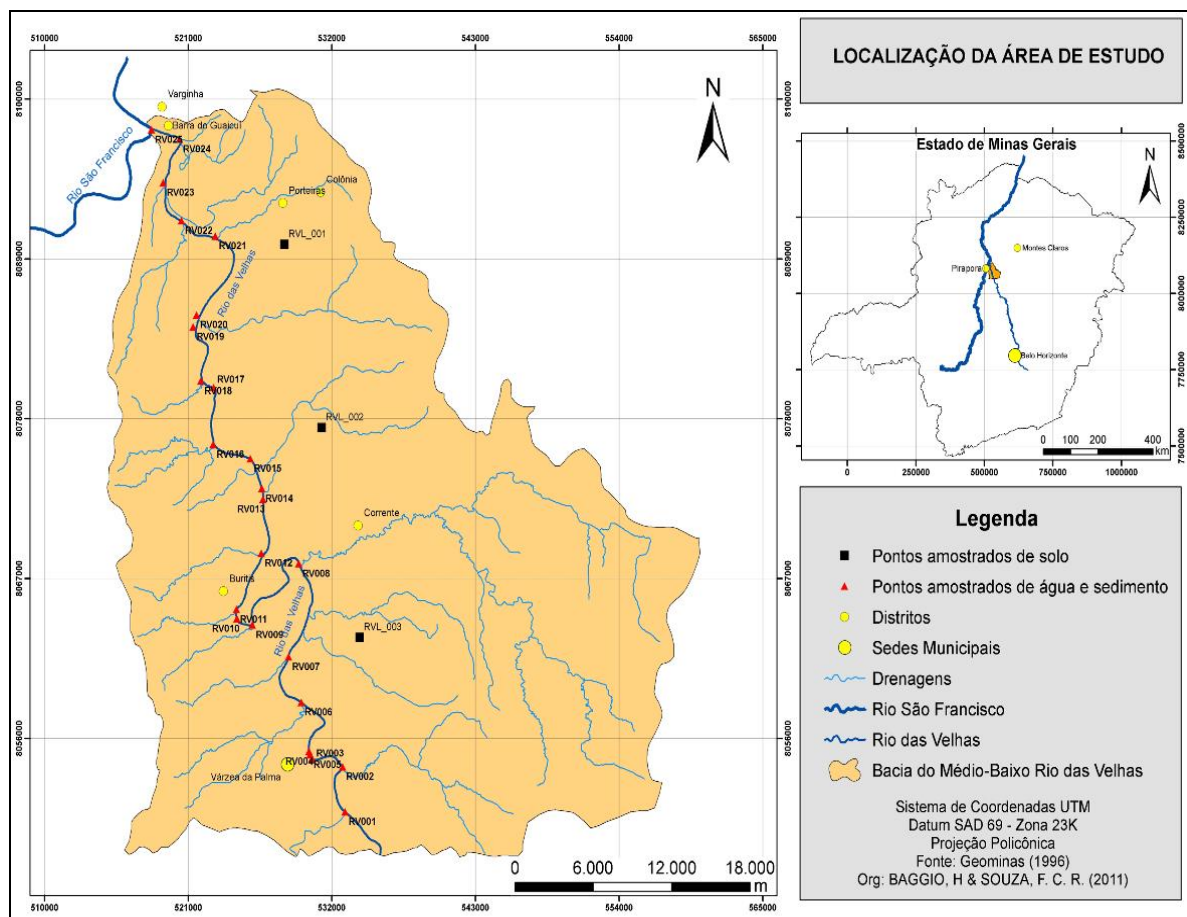
Diante do exposto, o Rio das Velhas, destaca-se por ser o maior afluente em extensão da Bacia do Rio São Francisco no Estado de Minas Gerais, percorrendo da nascente até a foz, uma distância de aproximadamente 761 km. Possui a maior população 4.406.190 de habitantes (IBGE, 2000) e, é responsável pelo maior PIB (Produto Interno Bruto) entre as sub-bacias do São Francisco. De um total de 51 municípios, 37 têm 100% de sua área territorial inserida dentro da área de drenagem da Bacia do Rio das Velhas, e os 14 restantes apresentam percentuais variáveis de inserção (POLIGNANO et al., 2001).

A pesquisa teve como objetivo principal avaliar a concentração e distribuição de metais pesados na água superficial no segmento baixo curso do rio das Velhas (entre as cidades de Várzea da Palma e o distrito de Barra do Guaicuí) investigando as possíveis fontes naturais e influências das atividades antropogênicas.

Localização da área da pesquisa

A área da pesquisa está inserida na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. A área de estudo (Fig. 1), localiza-se integralmente no município de Várzea da Palma, possui uma área de 1.569,45 km² e encontra-se inserida na microrregião - Médio Rio das Velhas (CETEC, 1983), entre a margem direita do segmento Alto/médio curso do São Francisco e o segmento Baixo curso do Rio das Velhas. A região é delimitada pelas seguintes coordenadas UTM: Zona 23, 520000E-860200N e 532000E-805200N, distante 330 km da capital mineira. O acesso ao município faz-se pelo sistema rodoviário federal BR-040, BR-361 e BR-135 e o sistema estadual MGT- 496. As estradas vicinais que dão acesso à área da pesquisa encontram-se relativamente bem conservadas durante todo o ano.

Figura 1 – O mapa apresenta a localização da área da pesquisa no contexto do Estado de Minas Gerais, juntamente, com os pontos de amostragem



Fonte: Baggio; Souza (2011).

Caracterização do meio físico

Do ponto de vista da paisagem natural, a área encontra-se inserida no domínio dos chapadões interiores, de acordo com a divisão morfoclimática proposta por Ab' Saber, (1971). Na classificação fitogeográfica, a região investigada está inserida no domínio das Savanas – Cerrados/Campos Gerais Tropicais.

Aspectos climáticos

Segundo a classificação de Köppen-Geiger (1939), o clima predominante na região é definido como Aw, tropical chuvoso, quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso. O regime térmico é caracterizado por temperaturas médias mensais: janeiro em torno de 25°C a 24°C; junho e julho entre 20°C a 21°C. Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2005), a média pluviométrica para o município, no período de 1970 a 2002, foi de 1195,9mm. As variáveis climáticas apresentadas são importantes ambientalmente, pois, estão diretamente correlacionadas com a mobilidade dos poluentes nos solos/sedimentos e na água (BAGGIO, 2008).

Aspectos vegetacionais

A região pode ser caracterizada fitogeograficamente, inserida no domínio do bioma Cerrado (AB'SABER, 1971; RIZZINI, 1979). O Instituto Estadual de Florestas - IEF (2005), em parceria com o Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal da Universidade Federal de Lavras - UFLA (2005), definiram para a área de estudo os seguintes tipos vegetacionais: a) *Floresta estacional semidecidual*; b) *Floresta estacional decidual*; c) *Savanas*: abrangem as diversas formações e fisionomias específicas que caracterizam a região do Cerrado; d) *Formações pioneiras*: nessas comunidades estão incluídos os buritizais ou veredas e a vegetação de várzea; e) *Tratos antrópicos*: caracterizados pelo reflorestamento com pinus e eucaliptos e sistema agropecuários.

Figura 2 – em (A) tratos antrópicos – monoculturas com eucaliptos plantados próximo às margens do rio das Velhas, em (B) Floresta decidual Mata Ciliar/Galeria em bom estado de conservação



Fonte: Baggio, (2015).

Geologia regional

A área de estudo está inserida na porção sudoeste do Cráton São Francisco, com unidades rochosas datadas do Neoproterozóico, a oeste e sul predominam os cinturões orogênicos da Faixa Brasília e a leste pela Faixa Araçuaí (ALKMIM et al., 1996). A estratigrafia da área está sob os domínios de Unidades Neoproterozóicas com Coberturas Fanerozóicas/Cretáceas da bacia do São Francisco. A bacia do São Francisco abrange a porção sul do cráton, correspondendo a uma área de aproximadamente 500.000 km² (ALKMIM; MARTINS-NETO, 2001, p.10-11).

Geologia local

A área da pesquisa encontra-se inserida dentro dos depósitos aluviais inconsolidados de cascalho, areia e argila, espessura muito variável conforme as dimensões do curso d'água. Ao longo do Rio das Velhas e Rio São Francisco eles podem atingir mais de 10 metros (Folha Geológica – Pirapora SE.23-X-C-I; Escala 1:100.000 – CODEMIG-2014), como mostra a figura 3.

Figura 3 - margem esquerda do rio das Velhas, próximo à cidade de Várzea da Palma, mostrando terraços aluviais de mais de 4 metros de espessura, contendo, sedimentos arenosos inconsolidados retrabalhados de coloração bege/amarelo, com imbricação de seixos



Fonte: Baggio, (2015).

Geomorfologia

A área de estudo encontra-se inserida na Depressão Sanfranciscana (Fig. 4), uma extensa área rebaixada, localizada à margem do Rio São Francisco, circundada por superfícies Tabulares dos Planaltos do São Francisco e as Unidades de Colinas esculpidas por processos de erosão fluvial e, influenciada pelo contexto geológico-geomorfológico regional (BAGGIO, 2016). Marcada de forma geral por um plano ligeiramente ondulado, correspondendo à Superfície Sul-Americana I – cujo processo de arquitetura se estendeu até o Plioceno Superior – e à Superfície Sul-Americana II, cuja elaboração teve início a partir do soerguimento epirogenético ocorrido no Plioceno Superior (VALADÃO, 1998). As evoluções dessas superfícies deram-se a partir da ruptura das placas Sul-Americana e Africana. Identificou-se na área pesquisada a Superfície Sul-Americana I e II. A primeira é recortada em uma série de chapadas, com altitudes variando entre 1000-900 m/alt, localmente denominadas pelas superfícies de cimeira: Serra do Cabral e Serra Piedade. A segunda, ocupando o piso de depressões interplanáltica e sublitorâneas, comprova o fato de sua gênese estar estritamente relacionada à incisão da atual rede hidrográfica. Apesar do atual cenário geomorfológico da área investigada estar intimamente relacionado à geodinâmica cenozóica,

os eventos tectono-sedimentares ocorridos durante o Mesozóico impulsionaram profundas modificações no fragmento litosférico em que se insere a fachada oriental brasileira. A geomorfologia regional é caracterizada por extensos planaltos com capeamento sedimentar e amplas depressões dispostas na mesma direção dos principais cursos d'água. A região foi compartimentada em duas grandes unidades Planaltos do São Francisco e Depressão do Rio São Francisco (RSF) com suas variações morfológicas. Amplas e recorrentes coberturas cretáceas ocupam o topo das chapadas esculpidas pela erosão regressiva dos afluentes da margem esquerda e direita do RSF. Estas Coberturas foram depositadas pela ação de sistemas fluvio-eólicos, que marcaram o encerramento do preenchimento da Bacia Sanfranciscana durante o Cretáceo superior (BAGGIO, 2008, p. 26).

Figura 4 - foto mosaico, indicando a compartimentação do relevo regional, em primeiro plano a Depressão Sanfranciscana, em segundo plano a Superfície Intermediária e em último plano a Superfície de Cimeira, notar a direita da figura as Unidades de Colinas que, são feições geomórficas correlatas



Fonte: Baggio, (2015).

Geomorfologia fluvial

O sistema fluvial do Rio das Velhas é bem desenvolvido, composto por sub-bacias com hierarquia fluvial de 4ª ordem, seu curso principal tem orientação preferencial no sentido SSE-NNW. O padrão da rede de drenagem da maioria dos cursos d'água da bacia é do tipo dendrítico. Ao longo do perfil longitudinal do segmento fluvial (Várzea da Palma – Barra do **Guaicuí** perfazendo um total de 55 km, não foram observadas grandes variações

topográficas, a altitude varia entre 515 m a montante da cidade e 475 m a jusante da foz do rio das Velhas, desnível estimado de 40 m. Todo o segmento é navegável, sendo, classificado como um canal aberto, ao longo do perfil, nota-se alternância entre os fluxos laminar e turbulento. A dinâmica fluvial turbulenta pode ser observada, notadamente, em áreas onde há ruptura de declive, entretanto, em grande parte do segmento predomina o fluxo laminar. A tipologia do canal fluvial do Rio das Velhas (baixo curso) pode ser definida como um curso de canais únicos, podendo ser, subdividido principalmente em canais retos e sinuosos, sendo os canais meandantes expressivos. As formas topográficas do canal principal e dos canais secundários apresentam-se como, leitos com segmentos rochosos e leitos com segmentos aluviais, estes, favorecendo a mobilidade dos sedimentos. O canal principal meandra sobre uma extensa planície, em algumas áreas predominam extensos terraços fluviais, possuindo de três a cinco metros de altura e que, caracterizam o canal fluvial até sua confluência com o RSF, como apresentado na (Figura 5). O Rio das Velhas, no seu baixo curso, é enquadrado na Classe 2, como estabelece a Resolução CONAMA 357/2005.

Figura 5 - a foto (A) mostra os terraços aluviais, em (B) o canal fluvial do rio das Velhas com fluxo laminar e em (C) o canal com fluxo turbulento



Fonte: Baggio, (2015).

Hidrografia

A Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas encontra-se, inserida totalmente no território mineiro, ocupando uma área de drenagem de aproximadamente 29.173 km². Representando cerca de 5% da superfície de todo o Estado de Minas Gerais, o Rio das Velhas

deságua no Rio São Francisco, após quase 801 km, sendo o maior afluente em extensão da Bacia do São Francisco. Suas nascentes estão, localizadas no município de Ouro Preto, dentro do Parque Municipal das Andorinhas, e, deságua no Rio São Francisco no distrito de Barra do **Guaicuí**, município de Várzea da Palma (FEAM, 1998). A bacia do Rio das Velhas é subdividida em Alto, Médio e Baixo Rio das Velhas (IBGE, 2005).

Solos

Dentro de um quadro litogeomórfico definido para a área da pesquisa, desenvolveu-se uma cobertura pedológica diferenciada, devido às influências do material de origem e do relevo. As principais classes de solos ocorrentes na área da pesquisa são: Latossolos Vermelho-Amarelos, profundos, distróficos álicos e de textura argilosa em associação com Latossolo Vermelho-Escuro álico de textura argilosa. Nos rebordos do chapadão predomina o Latossolo Vermelho-Amarelo álico de textura argilosa em associação com Cambissolo álico e Neossolo álico; os Neossolos Quartzarênicos são areias originadas dos arenitos do Grupo Areado, e suas manchas menores são geralmente separadas por solos hidromórficos; em cotas altimétricas de 530 m a 730 m, correspondendo às bordas dissecadas dos platôs. As interferências antropogênicas, como a retirada da cobertura vegetal, construção de estradas e plantio de monoculturas, expõem os solos aos processos erosivos, sendo eles carregados pelas águas e/ou vento em direção aos cursos de água; os resíduos metalo-orgânicos gerados nas áreas agricultáveis e incorporados aos solos comprometendo os recursos hídricos. Os tipos de solos podem definir padrões diferenciados nas concentrações dos metais principalmente nas áreas com atividades agrícolas mais intensas que promovem a movimentação dos elementos químicos presentes nas coberturas pedológicas (BAGGIO, 2008, p.167).

Uso e ocupação da terra

O processo de ocupação da terra na região deu início à supressão da cobertura vegetal de cerrado, usado na produção de carvão vegetal, utilizado para atender às indústrias siderúrgicas localizadas no município de Sete Lagoas. Nas décadas de 1960 e 1970, inicia-se

a ocupação das chapadas com o implemento das monoculturas de Pinus e Eucaliptos, as grandes produções de eucalipto destinavam-se à produção de carvão vegetal, as plantações de pinus foram viabilizadas, devido às características climáticas das chapadas e, visavam atender à produção de biodiesel no Triângulo mineiro. Na década de 1980, é criado o pólo siderúrgico do norte de Minas, abrangendo os municípios Pirapora, Várzea da Palma e Bocaiuva, voltado para a produção de Ligas a base de Silício (Si) e ligas de Silício-Ferro (Si-Fe). Atualmente, no município de Várzea da Palma encontram-se instaladas três plantas siderúrgicas para a comercialização e produção de ligas a base de silício. A partir, da década de 1980 e 1990, a produção de grãos e a agricultura irrigada se expandiram, com destaque, para as áreas de lavoura de ciclo curto, como milho, feijão, algodão e outros, de grande significado comercial na bacia. Nesse contexto, de múltiplos usos da terra, com a utilização intensiva e repetitiva de agroquímicos e emissão de particulados atmosféricos, têm-se, intensificado a problemática ambiental da degradação dos recursos hídricos, solos, fauna e flora, no baixo curso do rio das Velhas.

Metodologia, materiais e técnicas da pesquisa

A metodologia desenvolvida para a pesquisa buscou analisar as condições geoquímicas em que se encontram os compartimentos hidrosfera (água), correlacionando-os com a identificação das ações humanas concentradas, denominadas como "anomalias antropogênicas", sendo contrastadas com valores de referência estabelecidos pelas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 357/05 e pela Portaria do MS.GM 518/2004. O método utilizado para a área da pesquisa se caracteriza como uma abordagem de caráter quantitativo e qualitativo.

A delimitação da área de estudo, foi realizada a interpolação das curvas representativas dos interflúvios (linhas de cumeada), o que permitiu a individualização dos limites da área de drenagem direta. Nessa fase foram utilizadas imagens de radar obtidas pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) na escala 1/250.000 – Datum WGS 1984, distribuídas pelo United States Geological Survey (USGS) com resolução espacial de 86 m. O processamento digital das imagens SRTM, realizado no Sistema de Processamento de

Informações Georreferenciadas –Spring Versão 4.3.3 –, resultou na geração e calibração de isolinhas de altimetria (curvas de nível).

A base cartográfica e os aspectos topomórficos regionais basearam-se nas seguintes cartas topográficas: folhas SE-23-X-C-I, SE-23-X-C-II, SE-23-X-C-IV, SD-23-X-C-V, escala 1/100.000 do (SGE 1969 - Datum Córrego Alegre) - escala de 1: 100.000, do Serviço Geográfico do Exército (SGE,1969). Para a descrição geológica utilizou-se a Folha Geológica de Pirapora SE.23-X-C-I; Escala 1:100.000 – elaborada pela Companhia Mineradora do Estado de Minas Gerais (COMIG, 2014).

O Rio das Velhas é um afluente direto pela margem esquerda do Rio São Francisco. Segundo a Resolução CONAMA nº 357/05 Capítulo 2/Seção I, suas águas são classificadas como Classe 2. Assim sendo, as condições e padrões de qualidade encontrados tiveram como referência essa resolução.

Nesta etapa foi realizada uma campanha de campo, realizadas entre os meses de junho e julho de 2015 totalizando 25 amostras de água. As amostras de água foram coletadas a aproximadamente 10 cm da superfície, em frascos de polietileno, totalizado um volume de 1.000 mL.

As amostras de água foram coletadas a aproximadamente 10 cm da superfície, em frascos de polietileno, totalizado um volume de 1.000 mL. As amostras passaram por filtros de membrana (0,45µm), foram identificadas, preservadas em 2,5 mL de ácido nítrico HNO₃ em pH <2, resfriadas a 4°C em recipiente com gelo natural e transportadas até o laboratório (CETESB, 1988).

Em laboratório, a amostra com volume de 10 mL de água foi colocada em tubos do sistema digestor, sendo a seguir adicionados de 0,6 mL de solução contendo HCL e HNO₃ (2: 1/v/v). Após o procedimento, as amostras ficaram por aproximadamente 6 horas no bloco digestor, a uma temperatura de 60°C. Após a diluição, o conteúdo dos tubos foi transferido para um balão volumétrico de 25 mL, sendo o volume completado com água destilada a uma temperatura de 40°C. Na sequência procedeu-se à filtragem da solução em filtros de fibra de vidro GFC, com 0,45 µm de porosidade (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005). A leitura dos metais totais foi realizada por (ICP-OES), modelo M-4165 da marca Espectroflame, pertencente ao laboratório de geoquímica do CPMT/IGC/UFMG.

Resultados e discussão

Metais pesados na água superficial

As análises dos elementos Al, Fe, Mn, Cu, Cr, têm grande significância no que diz respeito à qualidade ambiental das águas, sedimentos e solos; já que os mesmos fazem parte do processo de remoção e disponibilidade dos metais tóxicos nos compartimentos geomórficos. Os resultados dos metais na água superficial serão discutidos considerando as concentrações nas frações dissolvidas.

Alumínio (Al)

O alumínio não é um metal essencial para o homem, plantas e outros animais, tornando-se tóxico acima de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ Al. O alumínio na forma Al^{3+} predomina em águas onde o pH está menor que 4,0. Em pH neutro ou básico, a forma predominante se refere ao $\text{Al}(\text{OH})^4$. O sulfato de alumínio é utilizado como floculante no tratamento da água para abastecimento, o que torna indispensável o controle. Pesquisas ligam a alta concentração de alumínio no cérebro à doença de Alzheimer.

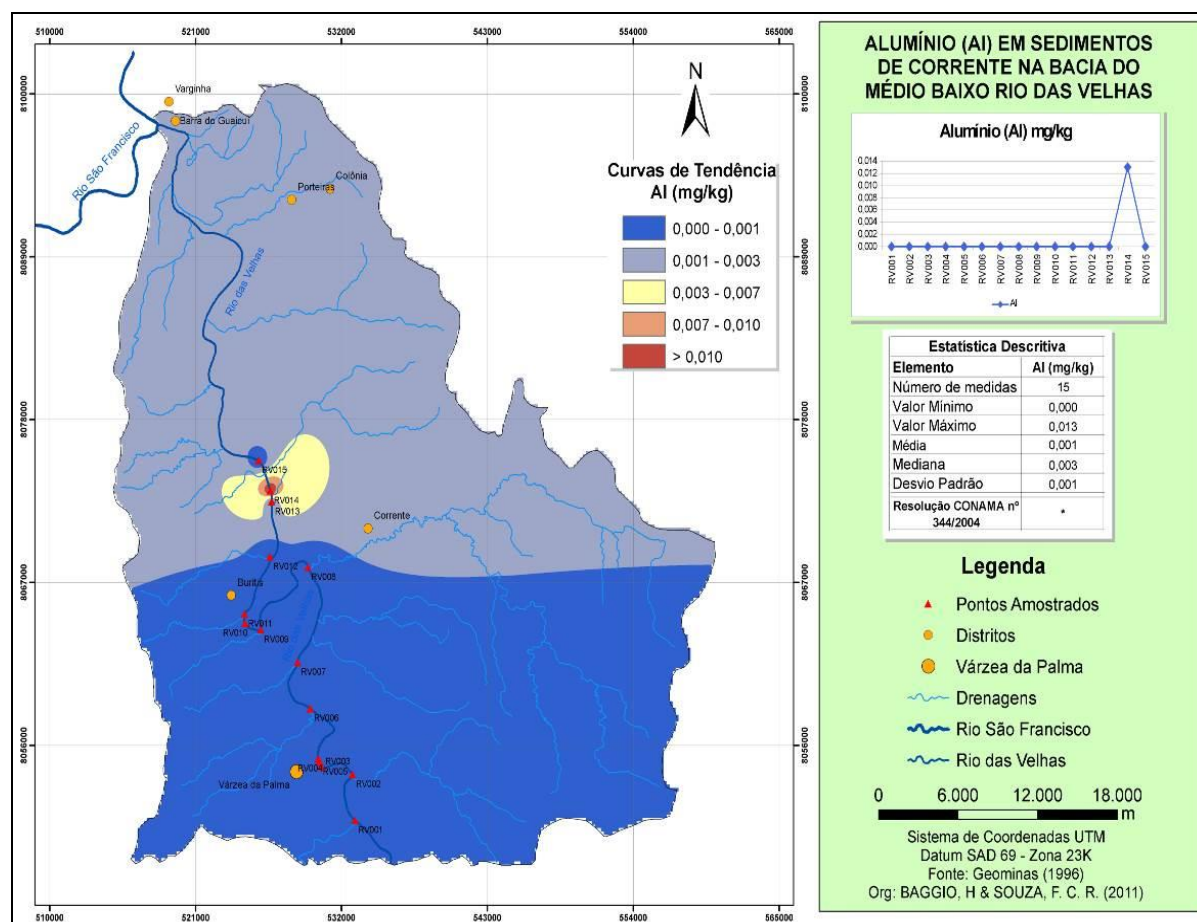
O mapa da (Fig. 6) mostra a distribuição dos valores de alumínio dissolvido (mg/L). Os valores referentes a este metal se posicionaram entre o mínimo de 0,000 mg/L[LD] e o máximo de 1,100 mg/L, que apresentou os maiores valores de lixiviação de Al. Os solos areno-argilosos e argilo-arenosos que compõem a cobertura pedológica ao longo do perfil longitudinal do rio, possuem um elevado teor de alumínio – sedimentos esses carregados e intemperizados das rochas sedimentares ricas nestes elementos. Os sedimentos são carregados em direção ao curso d'água, enriquecendo-as com alumínio.

Esses pontos se localizam em áreas de uso intensivo da terra com agricultura e pastagens (BAGGIO, 2008). O P5 1,150 mg/L foi o ponto que apresentou o maior teor de Al dissolvido, este ponto, está localizado próximo ao emissário de lançamento de efluentes industrial da planta de Si-Fe em Várzea da Palma, na época da amostragem a concentração estava acima das exigências legais. Outro ponto é o P3 0,347 mg/L, localizado a montante da ponte do rio das Velhas, este ponto encontra-se próximo as área de atividades urbanas, rurais

e extração de areia, com intenso revolvimento de material pedológico e detrítico. E por fim, o P9 0,108 mg/L, localizado próximo a foz do Riacho Doce, o fluxo de água drena áreas com intensa atividade de silvicultura. A partir do P6 ao P 25, nota-se uma flutuação nos teores de Al são áreas, onde as atividades agropecuárias e de fruticultura são bastante ativas. A Resolução CONAMA 357/2005, art. 14 e a Portaria do MS.GM 518/2004 estabelece valores limites para o alumínio dissolvido que não devem ultrapassar 0,100 mg/L e 0,200 mg/L. Tendo como referência as resoluções, os pontos P3, P5 e P9 violaram o limite estabelecido pelo CONAMA e os P3 e P5 pela Port. MS. GM 518/2004.

Ressalta-se que, este órgão ambiental não leva em consideração as variáveis naturais e antropogênicas presentes nos compartimentos ambientais. Entretanto, os outros pontos merecem atenção especial, pois, os mesmos encontram-se aumentadas.

Figura 6 - mapa de isotores apresentando a distribuição espacial do Al, ao longo do baixo curso do Rio das Velhas



Fonte: Baggio; Souza (2011).

Ferro (Fe)

O Ferro é um dos elementos mais conhecidos, seja por sua ampla distribuição na superfície terrestre e de grande utilização. As fontes antropogênicas são as indústrias, mineração, esgotos domésticos e fertilizantes agrícolas. Os solos e as rochas fornecem o ferro encontrado na água, onde é o elemento de maior concentração, corroborando com as altas taxas de assimilação pelas plantas e animais.

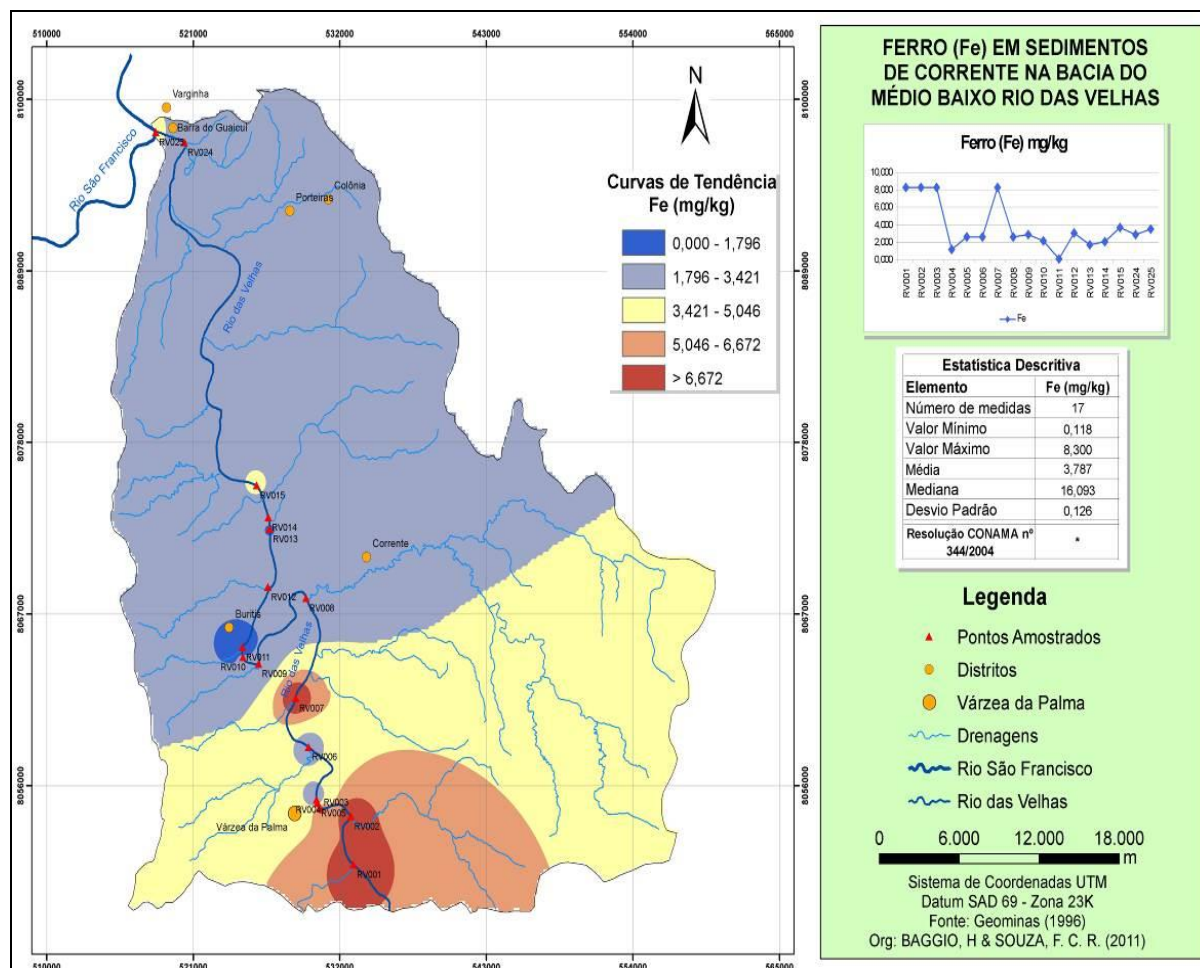
A oxi-redução do Fe em solos tropicais é uma forma visível dos processos químicos desse elemento, que em áreas ricas pode precipitar-se sobre a lâmina d'água; a forma dissolvida Fe^{2+} confere cor, sabor e odor às águas, além, de favorecer o crescimento de bactérias e permitir incrustação (LIBÂNEO, 2008).

A deficiência no organismo humano provoca anemia hipocrônica e altera o metabolismo muscular. O principal dano causado pelo excesso de Fe ocorre no fígado e nos tecidos e há riscos de câncer. Estudos apontam a influência da intoxicação no desenvolvimento do Mal de Parkinson.

Os valores referentes a esse metal ficaram entre o mínimo de 0,004 mg/L e o máximo 0,350 mg/L. Os pontos que apresentaram os maiores teores e violaram a Resolução CONAMA 357/2005 e a Portaria do MS.GM 518/2004, que estabelece limite de 0,30 mg/L, foram, os P5 0,335 mg/L localizados no efluentes industrial e o P11 0,336mg/L na foz com córrego Almesca, áreas com atividades agropecuárias. Os outros pontos, não ultrapassaram o limite de referência, porém, tiveram distribuição espacial bastante heterogênea, o que pode estar relacionado com o uso e ocupação da terra e com as características litológicas (BAGGIO, 2008).

Os resultados em relação ao Fe caracterizam bem a sua distribuição espacial ao longo do curso do rio das Velhas, e as contaminações encontradas apontam para as características das sub-bacias e a interferência antropogênica, industrial e agropecuária. Esses pontos, que não violaram as referidas resoluções merecem atenção especial, já que os mesmos estão com os teores aumentados.

Figura 7 - mapa de isoteores apresentando a distribuição espacial do Fe dissolvido, ao longo
 do baixo curso do Rio das Velhas



Fonte: Baggio; Souza (2011).

Manganês (Mn)

Encontrado em toda a superfície terrestre, principalmente na pirolusita, carbonatos e silicatos é um micronutriente essencial ao metabolismo dos seres vivos, sua toxicidade está associada à quantidade ingerida e à formação de complexos orgânicos. Usado nos processos industriais em ligas não ferrosas, devido à sua baixa solubilidade, tem como principal via de exposição à inalação, e a contaminação caracteriza a doença denominada manganismo, caracterizada como doença neuropsíquica.

O Mn participa da fotossíntese e é usado como enzima na respiração e no metabolismo do nitrogênio nas plantas e animais. Nos animais, incluindo o homem, a

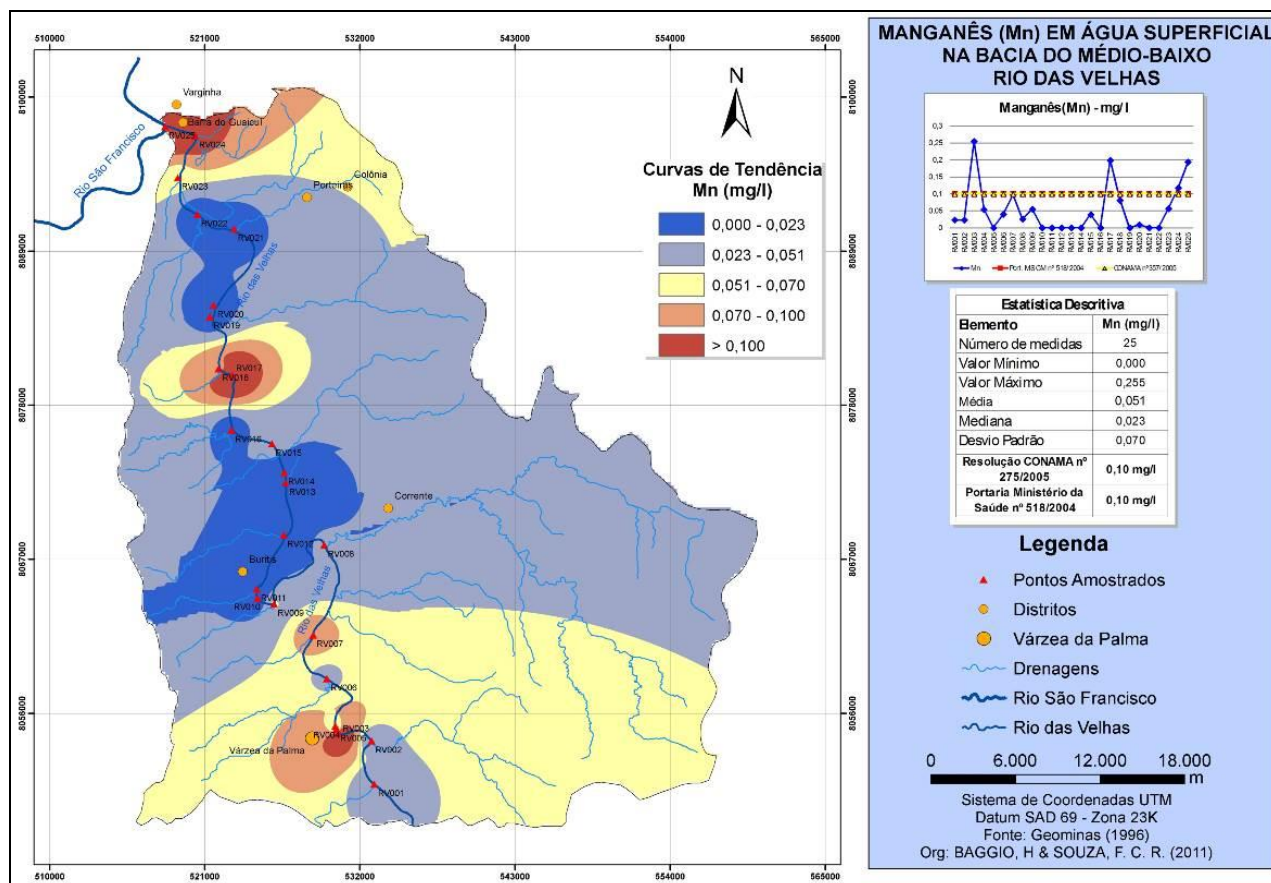
Revista Cerrados, Montes Claros/MG, v.16, n. 1, p. 130-158, jan./jun.-2018

intoxicação pode atingir o feto, uma vez que participa da formação dos tecidos ósseos e sanguíneos, sendo permeável à barreira placentária. A forma dissolvida Mn^{+2} pode causar manchas em roupas e louças sanitárias, causando desconforto à população (LIBÂNEO, 2008).

O mapa da Figura 8, apresenta a distribuição espacial dos valores de Mn, o gráfico referente à (Fig. 8) aponta que, os valores para Mn situaram entre o mínimo de 0,009 mg/L em P20 e o máximo 0,255 mg/L em P3, dentre todos os pontos, o P3, apresentou o maior valor total de Mn disponível na água. O P3, localiza-se em áreas, onde, as atividades urbana e industriais são intensas. O P17: 0,199 mg/L encontra-se próximo a ao córrego do Areia, área de intensa atividade agropecuária com expressiva remobilização de solos para o plantio. Os pontos P24: 0,118 mg/L e P25: 0,194 mg/L, localiza-se no segmento baixo curso do rio do Rio das Velhas, onde, as atividades antrópicas são bastante representativas, como já mencionado. Apesar do P7: 0,098 mg/L não ter violado os valores estabelecidos, o teor de Mn é alto, este ponto localiza-se junto a foz com o Riacho Curumataí, essa área, tem como atividade as monoculturas de eucaliptos. Além, dos fatores de ordem antropogênicos, as características litológicas podem estar influenciando na liberação desse metal, que é liberado para o meio através de intemperismo físico-químico, podendo ser proveniente dos litotipos da Formação Três Marias – Grupo Bambuí do Neoproterozóico (BAGGIO, 2008).

A Resolução CONAMA 357/2005, art. 14, e a Portaria do MS/GM 518/2004 estabelece limite para Mn total, não devem ultrapassar 0,10 mg/L. Tendo como referência essa resolução, os pontos P3, 17, 24 e 25 violaram o limite estabelecido. Os outros pontos encontram-se dentro do estabelecido por esses órgãos reguladores, porém, devem ser monitorados sistematicamente. Ressalta-se que, estes órgãos reguladores não levam em consideração as variáveis litológicas presentes nos compartimentos geoambientais.

Figura 8 - mapa de isotores apresentando a distribuição espacial do Mn total, ao longo do
 baixo curso do Rio das Velhas



Fonte: Baggio; Souza (2011).

Cobre (Cu)

O cobre é largamente usado na fiação elétrica, ligas, pigmentos, utensílios de cozinha etc. Seus sais são utilizados na água para controlar o crescimento biológico em reservatórios e redes de distribuição. A corrosão de ligas e tubulações pode aumentar a concentração deste elemento na água, formando, um número grande de complexos na águas com ligantes orgânicos e inorgânicos, sendo considerado elemento essencial para plantas e animais.

Os efeitos da intoxicação são pouco conhecidos, dos quais, pode se mencionar náuseas, vômitos, diarreias, anemia hemolítica e danos no trato gastrointestinal. Quanto ao efeito crônico, conhece-se bem o Mal de Wilson, responsável pelo acúmulo de Cu no fígado, cérebro e rim (ANJOS, 2003).

A partir da análise do mapa (Fig. 9), nota-se a concentração dos teores totais de Cu para os vinte cinco pontos amostrados. Os valores obtidos corresponderam a um mínimo de 0,001 mg/L (P2) e máximo de 0,131 mg/L (P13), na estação seca. A maior porcentagem das leituras para Cu ficaram acima dos limites LD. O mapa, de isoteriores mostra uma mancha de tonalidade azul escuro/claro (curva tendência - 0,000 mg/L [LD] – 0,0036 mg/L), em que, os teores mais baixos para Cu se posicionaram entre o P2 e P6, essa mancha localiza-se próxima à região urbano/industrial de Várzea da Palma, os teores mais baixos, podem estar relacionados aos programas de adequação ambiental que a planta de Si-Fe vem se enquadrando. A partir do P13: 1,131mg/L ponto que, registrou o maior teor de Cu até o P23: 0,593 mg/L, nota-se, uma tendência para o aumento nos teores de Cu, coincidindo, com uma pluma difusa, representada por tons de marrom/claro (intervalo 0,230 mg/L a 0,327 mg/L), (parte central e N da bacia). Área com uso e ocupação da terra bastante intensa, destaque, para a agropecuária e fruticultura irrigada.

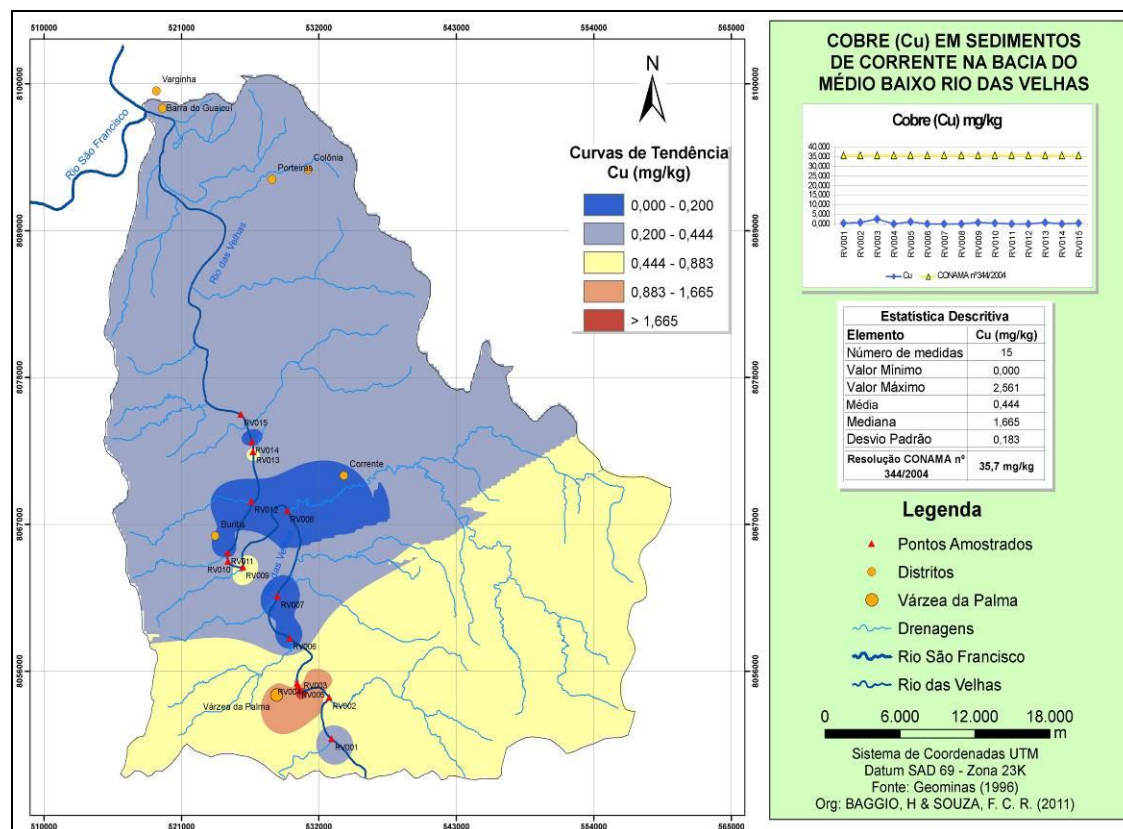
O aumento nas concentrações de Cu na água, pode, estar associado à alta erodibilidade dos solos, ao intenso uso e exposição aos fungicidas contendo oxicleto de cobre (Ramexane 850 - PM), bactericida contendo óxido cuproso (Cobre Sandoz - BR) (BAGGIO, 2008).

Os valores do pH 5,16 - 5,40, nesse segmento fluvial, tornam as águas ácidas a levemente ácidas, esta condição de acidez favorece a adsorção de Cu nas águas superficiais. As manchas difusa em amarelo e amarelo claro (intervalo 0,036 mg/L e 0,230 mg/L), localizadas no quadrante S da bacia, áreas ocupadas com monocultura de eucaliptos, os pontos amostradas nessa área, ultrapassam os valores estabelecido pelo CONAMA 357/2005, a utilização de fungicidas e bactericidas para o controle de pragas, podem, estar influenciando no aumento dos teores de Cu.

Como verificado no mapa e no gráfico (Fig.9), os pontos violaram os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 que é de 0,009 mg/L, porém, nenhum dos vinte e cinco pontos amostrados violou os valores estabelecido pela Portaria do MS.GM 518/2004, que estabelece limite para Cu total de 2,0 mg/L.

Diante dos resultados estabelecidos para Cu, devem ser tomados cuidados espaciais em relação ao metal, ou seja, monitoramento dos recursos hídricos e da biota aquática.

Figura 9 - mapa de isoteores apresentando a distribuição espacial do Cu total, ao longo do baixo curso do rio das Velhas



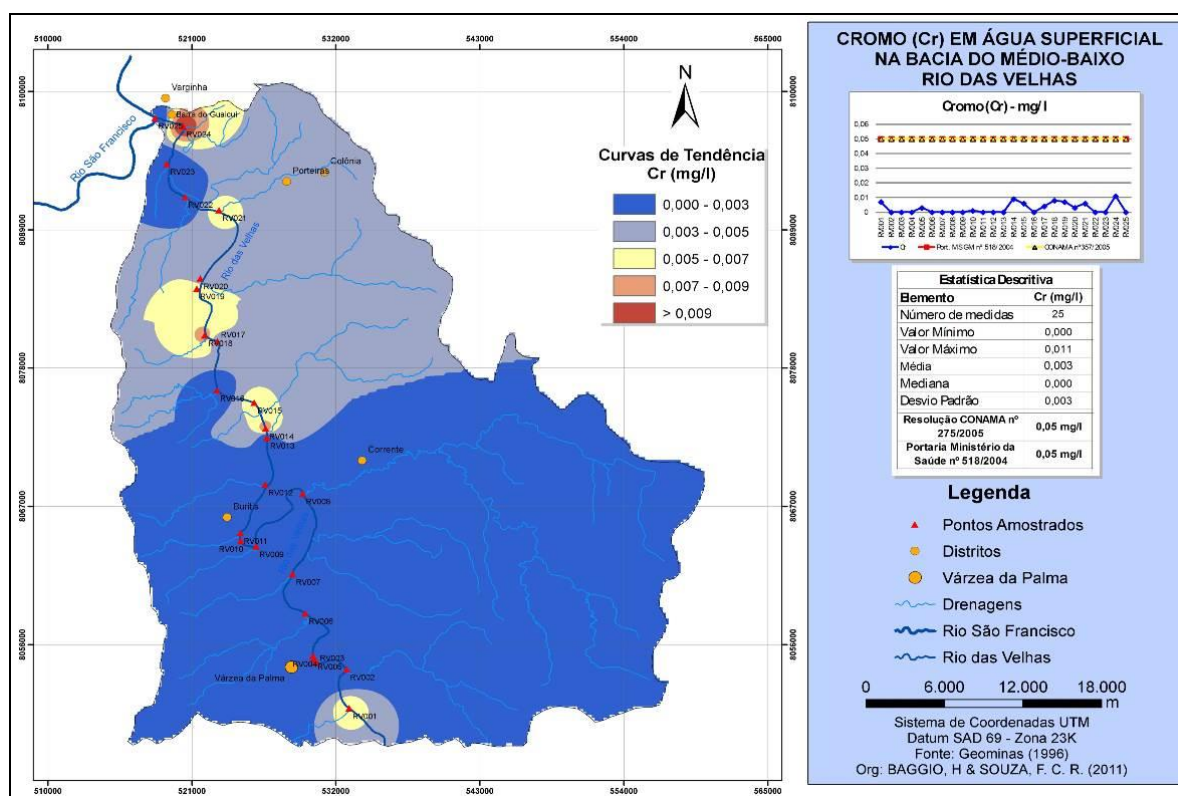
Fonte: Baggio; Souza (2011).

Cromo (Cr)

Nas águas, o cromo trivalente existe como Cr^{3+} , $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$, $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ e na forma hexavalente como CrO_4^{2-} e $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. O cromo trivalente forma complexos fortes com aminas e podem ser absorvidos por minerais argilosos. Compostos com cromo hexavalente são carcinogênicos por inalação e corrosivo a tecidos. O cromo não é considerado essencial para plantas, mas sim para animais.

No mapa da (Fig. 10) estão dispostos os valores totais de Cr para a água superficial. Os valores referentes a esse metal se posicionaram entre o mínimo de 0,000 mg/L[LD], e máximo de 0,011 mg/L na estação seca. Todos os 25 pontos amostrados para Cr encontram-se abaixo do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 e pela Portaria do MS.GM 518/2004, que é de 0,05 mg/L.

Figura 10 - mapa de isotores apresentando a distribuição espacial do Cr, ao longo do baixo curso do Rio das Velhas



Fonte: Baggio; Souza (2011).

A análise do mapa mostra que, as manchas em tons de marrom (intervalo que apresentam os maiores teores de Cr – 0,007 mg/L a >0,009 mg/L) possui localização bem pontual (extremo N da bacia), próximo a foz com o RSF, áreas com uso e ocupação dos solos bastante intensas, destaque para a agropecuária e fruticultura irrigada. O uso agrícola ocorre de forma intensiva e pode estar havendo carreamento através das águas de irrigação de material pedológico – disponível nas áreas agricultáveis – contendo resíduos metalo-orgânicos gerados pelos insumos agroquímicos. Nota-se, uma divisão igualitária entre as manchas de tonalidade em azul escuro e claro (intervalo com os menores teores de Cr – 0,000 mg/L [LD] a 0,005 mg/L), com predominância espacial no mapa. Cinco manchas em amarelo (intervalo 0,005 mg/L a 0,007 mg/L), duas difusas (NW e S da bacia), áreas com múltiplos uso da terra e, três manchas, com distribuição pontual, áreas destinadas a agropecuária.

Não houve valores que violassem os limites estabelecidos, porém, estes valores não detectados não refletem rigorosamente a concentração existente do elemento analisado,

mas indicam que o metal encontra-se presente em baixa concentração (BAGGIO, 2008). Os pontos acima mencionados, localizam-se em áreas onde os valores de pH posicionam entre 5,0 e 5,4, gerando condições ácidas a levemente ácidas, potencializando a mobilidade de Cr na água.

Os resíduos metalo-orgânicos secos e/ou pulverizados, transportados pelo ar, pela água de irrigação e depositados nos solos, quando são disponibilizados para a água superficial e para o sedimento de corrente, geram a contaminação desses compartimentos. Cuidados devem ser tomados em relação ao metal Cr, ou seja, monitoramento dos recursos hídricos e da biota aquática e das populações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade ambiental dos recursos hídricos não é um tema que se discute mais em nível federal, mas em nível mundial, e sua cobrança torna-se cada vez maior – principalmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, possuidor de uma das maiores bacias hidrográficas do planeta. Entretanto, o desconhecimento por parte dos órgãos ambientais federais, estaduais e municipais sobre as qualidades e potencialidades dos indicadores geoquímicos é evidente no Brasil.

A partir, dos dados, análises e discussões, apresentados ao longo do artigo, esta seção esboça algumas considerações acerca daqueles aspectos que nos parecem de fundamental importância. Para avaliação da qualidade das águas superficiais utilizou-se a Resolução CONAMA nº 357/2005 e a Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004. Dos 25 pontos amostrados, 24 encontram-se em desacordo com o que preconiza as resoluções CONAMA 357/2005 e pela Portaria do MS.GM 518/2004.

As análises químicas dos metais Cu e Cr nas águas superficiais demonstram que, apenas o Cu violou a resolução CONAMA 357/2005, nenhum dos dois elementos violaram a Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004. Os níveis de concentração de cromo e cobre, no compartimento água são advindos, principalmente, da contribuição gerada pelas interferências antropogênicas (atividades agrícolas na bacia) e, de uma contribuição natural de ordem litológica. Entretanto, os níveis de concentrações desses metais pesados na água superficial

demanda atenção, uma vez que, os mesmos, têm possibilidades de apresentarem efeitos tóxicos.

Em relação aos parâmetros Al, Mn e Fe, na área de influencia urbano/industrial, o lançamento de esgoto doméstico resulta em níveis de contaminação para esses elementos, no restante da área amostrada, nota-se um enriquecimento natural, cujas, fontes principais são os litotipos da Fm. Três Marias.

As análises dos mapas mostrou que, uma pluma de poluição difusa abrange 95% do segmento analisado, toda essa pluma está correlacionada com áreas, cuja, as atividades urbanas, industriais e rurais são significativas. Como mencionado anteriormente, os efluentes domésticos, gerados no meio urbano e rural, não são tratados adequadamente. Além desses fatores, e conhecendo o histórico e a dinâmica ambiental da bacia do Rio das Velhas, pode-se inferir que, há uma contribuição significativa ao despejo de esgotos domésticos e industriais, provenientes principalmente do Alto e Médio curso da bacia.

Diante do que foi apresentado, é de extrema urgência que os órgãos ambientais tomem medidas cabíveis, no intuito de preservar os compartimentos ambientais envolvidos, orientar as comunidades que vivem e dependem dos recursos naturais e ambientais ao longo da bacia e como, se deve proceder em ambientes contaminados.

Os aspectos naturais são caracterizados pela homogeneidade dos valores e ampla distribuição geográfica, já os antrópicos, são marcados pelas fontes pontuais de poluição. A segmentação do perfil de amostragem em áreas de uso urbano/industrial (no alto e baixo segmento fluvial) e agricultura (no médio curso) contemplam a grande maioria das atividades potencialmente poluidoras. As várias interferências antrópicas têm provocado uma série de impactos negativos ao meio ambiente: a retirada da cobertura vegetal; a construção de estradas vicinais que expõem os solos aos processos erosivos; as partículas de solos contaminados pelos resíduos metal-orgânicos derivados da agricultura e das indústrias, são transportadas pelo escoamento superficial e pelo vento, indo em direção aos cursos de água e, consequentemente, poluindo-os.

Outro fator de extrema importância no histórico de degradação ambiental da bacia do Rio das Velhas é que, a mesma, drena áreas com importantes atividades urbanas e industriais, desde sua nascente a sua foz com o rio São Francisco. O segmento analisado é um ambiente natural potencialmente frágil, os vários tipos de interferências antropogênicas, em

especial a agricultura comercial, atividades industriais e urbanas contribuíram de forma marcante para a sua degradação ambiental.

A contribuição deste trabalho, foi apresentar pela primeira vez, uma avaliação das condições geoquímicas e ambientais em que se encontram a água superficial do Rio das Velhas, sendo esta área, economicamente essencial para o desenvolvimento do município de Várzea da Palma. Por fim, o trabalho gerou os mapas de isóteores, além da caracterização do meio físico e socioeconômico, que poderão ser utilizados como ferramentas de apoio na elaboração dos planos de monitoramento e manejo dos recursos naturais e na elaboração do plano diretor, servindo também, à comunidade em geral.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos recebidos e, pelas bolsas concedidas para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AB` SABER, A. N. 1971. **A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras**. In: Simpósio do Cerrado, 3, 1971, São Paulo: Blücher/ed. USP, 1971.
- ALKMIM, F. F; BRITO NEVES, B. B.; CASTRO ALVES, J.A. 1993. **Arca-bouço tectônico do Cráton do São Francisco – Uma Revisão**. In: DOMINGUEZ, J.M.L.; MISI, A. (ed.) O Cráton do São Francisco. Salvador, SBG/Núcleo BA/SE, p. 45-62.
- ALLOWAY, B. J.; AYRES, D. C. 1997. **Chemical Principles of Environmental Pollution**. 2 ed. Ed. Chapman & Hall, New York.
- ANJOS, J. A. S. A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: o caso de Plubum em Santo Amaro da Purificação/BA**. Orientador: Luiz Enrique Sanchez. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de minas e de petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- ANA – Agência Nacional de Águas. 2005. **Águas Subterrâneas**. Superintendência de Informações Hidrogeológicas (SIH). Brasília.
- APHA; AWWA & WEF **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 2005.

SANTOS, M. S.; BAGGIO FILHO, H.; ARAÚJO, A. D.; FREITAS, M. O.; COSTA, T. M.; HORN, A. H. Análise da concentração e distribuição de metais pesados na água do rio das Velhas entre a cidade de Várzea da Palma e o distrito de Barra do Guaicuí - MG

BAGGIO, H. **Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em água superficial e sedimento de corrente na Bacia do Rio do Formoso, município de Buritizeiro, MG.** 2008. 216 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BAGGIO, H. **Análise dos parâmetros físico-químicos oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico e temperatura, no baixo curso do rio das Velhas-MG.** Revista Caminhos de Geografia Uberlândia v. 17, n. 60 Dezembro/2016 p. 105–117.

BRAGA, C. 2002. **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo: Prentice Hall, 2002. In: Simpósio do Cerrado. São Paulo: Brasil.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 1983. **Estudo de Metais Pesados no Estado de Minas Gerais. Relatório Final.** Belo Horizonte. 151 p.

CONAMA, 2004. Conselho Nacional do Meio Ambiente - **Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004.** Disponível em <http://www.mma.gov.br/conama>

CONAMA, 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em <http://www.mma.gov.br/conama>

FEAM & COPAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente e Conselho Estadual de Política ambiental. 1989 a 2000. **Processos de licenciamento e fiscalização (Sistema FEAM).** Belo Horizonte.

FÖRSTNER & G. T. W. WITTMANN. **Metal Pollution in the Aquatic Environment.** Berlin-Heidelberg-New York 1979. Springer-Verlag.1981.

KÖPPEN, W.; GEIGER R. **Handbuch der Klimatologie,** Berlin: G. Borntraeger, 1939. 6v.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2005. **Geografia do Brasil – Região Sudeste.** Rio de Janeiro, 2000.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS - IEF. 2005. **Mapeamento da Cobertura Vegetal e Uso do Solo do Estado de Minas Gerais.**

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 1998. **Bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte.

LIBÂNEO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de Água.** 2ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2008.

POLIGNANO, M.V.; POLIGNANO, A.H.; LISBOA, A.L.; ALVES, A.T.G.M.; MACHADO, T.M.M.; PINHEIRO, A.L.D.; AMORIM, A. **Uma viagem ao projeto Manuelzão e à bacia do Rio das Velhas – Manuelzão vai à Escola.** Belo Horizonte: Coleção Revitalizar, 2001.

SANTOS, M. S.; BAGGIO FILHO, H.; ARAÚJO, A. D.; FREITAS, M. O.; COSTA, T. M.; HORN, A. H.
Análise da concentração e distribuição de metais pesados na água do rio das Velhas entre a cidade de Várzea da Palma e o distrito de Barra do Guaicuí - MG

Portaria MS n.º 518/2004 Série E. Legislação de Saúde Brasília – DF. 2005

Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES n.º 3, de 21.06.2006. Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento, Secretaria da Saúde. **Dispõe sobre procedimentos integrados para controle e vigilância de soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo proveniente de mananciais subterrâneos.**

24.06.2006. http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/arquivos/Resolucao_Conjunta_SMA_SERHS_N_1_2005.pdf

RIZZINI, C.T., 1979. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. Hucitec/EDUSP, São Paulo.

VALADÃO, R. C. 1998. **Evolução de Longo-Termo do Relevo do Brasil Oriental (Denudação, Superfícies de Aplanamento e Soerguimento Crustais)**. 1998. 242 p. Tese (Doutorado) - Inst de Geociências. Universidade Federal da Bahia – UFB. Salvador.

Autores

Matheus Simões Santos – Possui Graduação em Humanidades pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). Atualmente é Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

Hernando Baggio Filho – Possui Graduação em Geografia, Mestrado em Geografia e Doutorado em Geologia, todos cursados na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atualmente é Professor do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

Amanda Dias Araújo – Possui Graduação em Humanidades/Geografia e Mestrado em Saúde, Sociedade e Meio Ambiente, ambos cursados na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

Mariana de Oliveira Freitas - Possui Graduação em Humanidades/Geografia e Mestrado em Saúde, Sociedade e Meio Ambiente, ambos cursados na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

Thiago Martins da Costa - Possui Graduação em Humanidades/Geografia pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). Atualmente é Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

Adolf Heinrich Horn – Possui Graduação em Química pela Chemieschule Dr E Elhardt (CEE), Graduação em Geologie Paläontologie, Mestrado em Geologie Paläontologie e em Geologie, todos cursados na Ludwig-Maximilians Universität München (LMU), Alemanha. Atualmente é Professor do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

SANTOS, M. S.; BAGGIO FILHO, H.; ARAÚJO, A. D.; FREITAS, M. O.; COSTA, T. M.; HORN, A. H.
Análise da concentração e distribuição de metais pesados na água do rio das Velhas entre a cidade de Várzea da Palma e o distrito de Barra do Guaicuí - MG

Artigo recebido em: 22 de julho de 2017.

Artigo aceito em: 23 de outubro de 2017.

Artigo publicado em: 30 de junho de 2018.