

## **IV-139 - AVALIAÇÃO DE METAIS EM SEDIMENTOS DE FUNDO DE RIO E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO POR MEIO DE ABORDAGEM MULTIVARIADA**

### **Grazielle Rocha dos Santos<sup>(1)</sup>**

Doutoranda da Universidade Federal de Ouro Preto na área de Recursos Hídricos/Meio Ambiente pelo PROAMB. Engenheira Ambiental pela mesma instituição. Atuando na área de monitoramento de bacias hidrográficas com aplicação de estatística multivariada.

### **Juçara Pêso de Menezes**

Graduada em licenciatura de Ciências com habilitação em Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (1989). Especializada em Química pela Universidade Federal de Viçosa (1998). Atualmente professora da Universidade Estadual de Minas Gerais.

### **Luisa Cardoso Maia**

Possui graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá (2015) e mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (2018) na área de concentração de Tecnologias Ambientais. Atualmente é doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto (ProAmb) na área de concentração de Tecnologias Ambientais.

### **Aníbal da Fonseca Santiago**

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2006), mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2008) e doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (2013). Tem experiência na área de tratamento simplificado de águas residuárias e produção de biomassa algal.

### **Gilmare Antônia da Silva**

Graduada em Química (Licenciatura) pela Universidade Federal de São João del-Rei (2001), mestrado em Agroquímica pela Universidade Federal de Viçosa (2003) e doutorado em Ciências (área de concentração Química Analítica) pela Universidade Estadual de Campinas (2007). Atualmente é Professora Associada II da Universidade Federal de Ouro Preto. Atua em Química Analítica com ênfase em quimiometria, métodos de separação, preparo de amostras, análises ambientais e de traços e análise de alimentos.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Campus Morro do Cruzeiro, Bauxita, Ouro Preto, MG. CEP:35400-000. Brasil. Tel.: (31) 999386287. E-mail: grazielle.santos@aluno.ufop.edu.br

## **RESUMO**

A presente pesquisa teve como objetivo aplicar abordagens de análise multivariada exploratória aos dados de metais em sedimentos de fundo de rio. Os sedimentos se caracterizam como espécies geoquímicas complexas, trazendo em seu cerne o resultado das interações da maior parte dos processos que ocorrem em um ecossistema aquático. São advindos do processo de intemperismo dos solos, assim como também podem ser originados por atividades antropogênicas, sendo considerados, dessa forma, parte integrante da bacia hidrográfica. Os metais que são encontrados nos sedimentos podem causar sérios problemas à biota na bacia dependendo de suas concentrações; além disso os sedimentos de fundo podem indicar os impactos ambientais que os efluentes domésticos e industriais podem causar nos ecossistemas em que são descartados de forma incorreta. Sendo assim esse trabalho desenvolveu-se no município de Ouro Branco/MG, por meio da realização de cinco amostragens de sedimentos em 23 pontos distribuídos ao longo dos corpos d'água presentes na região e os metais investigados foram: alumínio (Al), bário (Ba), cálcio (Ca), cromo (Cr), cobre (Cu), estrôncio (Sr), ferro (Fe), fósforo (P), magnésio (Mg), manganês (Mn), níquel (Ni), potássio (K), sódio (Na), tório (Th), titânio (Ti), vanádio (V), Y (ítrio), Zn (zinco) e Zr (zircônio). Os metais encontrados em concentrações elevadas foram alumínio, ferro e manganês. Aos dados obtidos aplicou-se a técnica rede neural de Kohonen, com o intuito de avaliar a relação dos locais amostrados com a concentração dos metais determinados. A aplicação da técnica se fez relevante uma vez que permitiu verificar a possível relação das amostras (pontos avaliados) com as concentrações de metais encontradas e, a partir desses resultados, averiguar uma possível relação com uso e ocupação do solo. Assim verificou-se que os pontos com maiores concentrações de alumínio, ferro e manganês se agruparam e tinham em comum a litologia e a atividade siderúrgica próxima aos locais amostrados. Como também os pontos amostrados em área de preservação permanente, que apresentaram valores mínimos para os metais avaliados. Sendo assim a técnica multivariada empregada se mostrou eficiente

para extrair o máximo de informação da matriz de dados e demonstrar as similaridades e dissimilaridades entre as amostras avaliadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Metais em sedimentos, qualidade da água, uso e ocupação do solo, análise exploratória multivariada.

## INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica representa o território onde as atividades humanas são desenvolvidas, assim suas águas são utilizadas para uma gama de processos domésticos, industriais e biológicos. Porém acaba por se tornar também, o destino final de resíduos indevidos, como efluentes sem tratamento prévio, comprometendo a qualidade da água disponível para a população, além de alterar também a atividade de toda biota. Dessa forma, avaliar o impacto do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica é relevante, pois os estudos ambientais são os primeiros passos para compreender o comportamento, as características e os problemas existentes em uma determinada área.

Diferentes funções dos rios são foco de pesquisas como a qualidade de água, composição da vegetação, dinâmica da população animal, qualidade dos sedimentos, entre outras. Dentre os citados a avaliação dos sedimentos tem se tornado alvo de estudos aprofundados devido a sua capacidade de agir como reservatório de poluentes e interagir diretamente com outros fatores em diversas escalas, como uso do solo, qualidade de água, população aquática e vegetação; a partir, por exemplo, do descarte incorreto de efluentes de processos industriais (LIÃO et al., 2017).

Nos processos de drenagem, as espécies químicas advindas de alterações do solo bem como de determinado tipo de poluição ficam armazenadas, em sua maioria, nos sedimentos. Ressalta-se, desta forma, a importância da utilização de sedimentos como ferramenta de análise da qualidade dos recursos hídricos e de detecção das fontes de poluição. Isso ocorre devido à possibilidade dos metais e outras espécies se dissolverem nas águas contidas nos poros dos sedimentos, ou adsorvidas na sua superfície (MORTATTI et al., 2010).

Especificamente os metais pesados se ligam aos sedimentos por mecanismo de adsorção na superfície, troca iônica, co-precipitação e complexação com a matéria orgânica; atrelado a esse fato tem-se os processos de liberação desses metais pesados na água, que podem ser por meio da reação de dessorção ou oxidação e a ressuspensão dos sedimentos de fundo. Devido às propriedades dos metais pesados, esta liberação pode ser prejudicial para a vida animal e humana através da cadeia alimentar e, assim sendo, se tornam um nicho substancial para pesquisas que tenham como objetivo averiguar o papel dos sedimentos na distribuição de metais pesados no meio ambiente (ZHUANG, LI e LIU, 2018).

Diante desta assertiva, o presente trabalho se propõe a verificar a concentração de metais em sedimentos de fundo de corpos d'água que abastecem o município de Ouro Branco, Minas Gerais (MG). Essa cidade está presente em três das principais bacias hidrográficas do estado de MG, sendo elas a do Doce, Velhas e São Francisco. Estas regiões possuem relevância histórica, política, econômica e social no estado de Minas Gerais (COELHO, 2009). Suas águas são utilizadas para o abastecimento público, para gerar energia elétrica e para o uso nos setores industriais e do agronegócio (COSTA, 2000). A intensa atividade antrópica relacionada ao uso múltiplo da água em toda a bacia gerou impactos negativos como a contaminação da água por efluentes industriais, domésticos, por agrotóxicos e fertilizantes; desmatamento, erosões e assoreamento; perda da fertilidade do solo; entre outros (CBH- DOCE, 2018).

Esta pesquisa envolveu análises dos constituintes metálicos presentes em amostras de sedimentos, oriundas de vários pontos de amostragem, o que gerou uma grande quantidade de informações complexas, devido à existência de muitos metais a serem investigados. Assim, essas informações foram avaliadas por meio da análise exploratória de dados. Dentre os métodos disponíveis foi empregada a rede neural de Kohonen ou mapas auto-organizáveis (do inglês Self-Organizing Maps) (KOHONEN, T., 1989; DA SILVA et al., 2008; GONTIJO et al., 2013; KOWALSKI et al., 2013). A rede neural de Kohonen evidencia a relação entre as variáveis e as diversas amostras coletadas em função da presença e quantidade dos metais avaliados. Desta forma, este estudo avaliou a concentração de metais em sedimentos de fundo em

corpos hídricos que abastecem o município de Ouro Branco - MG, e verificou possíveis fontes e a relação com o uso e ocupação do solo, utilizando para tal abordagens de análise multivariada de dados.

## **METODOLOGIA**

### **ÁREA DE ESTUDO**

A presente pesquisa foi desenvolvida no município de Ouro Branco - MG, situado a 116 km da capital mineira e com uma população de cerca de 38.249 habitantes (IBGE, 2015); 31.608 residem na zona urbana e 3.824 na zona rural, distribuídos em 19 comunidades. Se encontra sobre a porção leste do Quadrilátero Ferrífero e, além de atividades de mineração e siderurgia, possui forte relação com a plantação de batata inglesa.

### **AMOSTRAGEM**

Esta pesquisa ocorreu no ano de 2015 com cinco amostragens de sedimentos de fundo de rio, realizadas em 23 pontos estabelecidos em locais distribuídos ao longo de corpos hídricos que abastecem a cidade de Ouro Branco - MG. As coordenadas geográficas foram obtidas por meio do Sistema de Posicionamento Global (GPS), com equipamento modelo GPS II, marca Garmim, sistema de coordenadas UTM, Datum SIRGAS 2000, Fuso 23K. Os sedimentos foram coletados por meio da utilização de um amostrador, construído na forma de um copo coletor de metal, fixado numa das extremidades de um bastão de cerca de 2 m de comprimento. Cada amostra foi devidamente identificada e acondicionada em saco plástico e transportada para o local onde seria realizada as demais análises.

### **PREPARO DAS AMOSTRAS**

As amostras foram submetidas à secagem em temperatura ambiente e, após secas, foram sujeitas a peneiramento, sendo esse procedimento executado no Laboratório de Tratamento de Minério, da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), campus de João Monlevade. No peneiramento foi utilizado um conjunto de peneiras (35, 100, 200, 230, <230 mesh), com o objetivo de separar a fração de menor granulometria presente nas amostras dos sedimentos, uma vez que essa é a fração utilizada para a averiguação da concentração dos metais.

Para o tratamento das amostras de sedimento o método aplicado foi o de digestão parcial utilizando água régia. Na digestão com água régia foi utilizado o método proposto pela Community Bureau of Reference (BCR) (RAURET et al., 2001) modificado. Para este procedimento pesou-se cerca de 1,0000 g das amostras de sedimentos em béquer de 100 mL. Foi adicionada uma pequena quantidade de água deionizada (de 0,5 mL a 1,0 mL). Sequencialmente foram adicionados 9,3 mL de água régia (7,00 mL de HCl 37% p/p e 2,3 mL de HNO<sub>3</sub> 65% p/p). Após homogeneização, o béquer foi tampado com vidro relógio e mantido à temperatura ambiente por 16 h. O béquer tampado foi colocado em placa aquecedora com temperatura entre 90 °C e 100 °C por 2 h. Após o resfriamento a mistura foi filtrada, utilizando-se papel de filtro quantitativo JP-41, marca Quaty, com 9 cm de diâmetro. Foi feita a lavagem do resíduo com água deionizada, recolhendo-se o filtrado em balão volumétrico de 50 mL, de onde retirou-se a alíquota necessária para a determinação dos metais utilizando-se um espectrômetro de emissão óptica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) com visão radial, marca *SPECTRO*, modelo *Ciros CCD*.

### **METAIS INVESTIGADOS**

Os teores de metais investigados foram os de: alumínio (Al), bário (Ba), cálcio (Ca), cromo (Cr), cobre (Cu), estrôncio (Sr), ferro (Fe), fósforo (P), magnésio (Mg), manganês (Mn), níquel (Ni), potássio (K), sódio (Na), tório (Th), titânio (Ti), vanádio (V), Y (ítrio), Zn (zinco) e Zr (zircônio).

## **TRATAMENTO MULTIVARIADO DOS DADOS**

Os diferentes resultados das diversas amostras foram digitalizados e organizados em matrizes e vetores. Cada linha representou os pontos de coleta e, cada coluna, as variáveis analisadas (metais monitorados), devidamente identificadas durante a organização dos conjuntos de dados. Visto a quantidade de pontos e metais investigados, tem-se na análise multivariada uma forma eficaz de realizar um trabalho que permita a compreensão dos resultados, uma vez que por meio da aplicação dessas técnicas, a dimensionalidade dos dados em geral é reduzida, sendo possível uma interpretação mais clara e informativa.

As matrizes foram tratadas por meio de um método de reconhecimento de padrões não-supervisionado, a rede neural de Kohonen, que constitui um sistema de mapas auto-organizáveis que preservam a topologia de uma representação multidimensional dentro de um novo arranjo de neurônios de dimensões bastante reduzidas, sem perda da informação original. A visualização e interpretação da rede de Kohonen vêm principalmente do fato de que o usuário pode assumir que todas as amostras posicionadas em um mesmo neurônio são consideradas semelhantes entre si, de acordo com o aspecto avaliado. Essa facilidade de visualização da distribuição dos dados torna a rede de Kohonen mais atraente em comparação com outras técnicas.

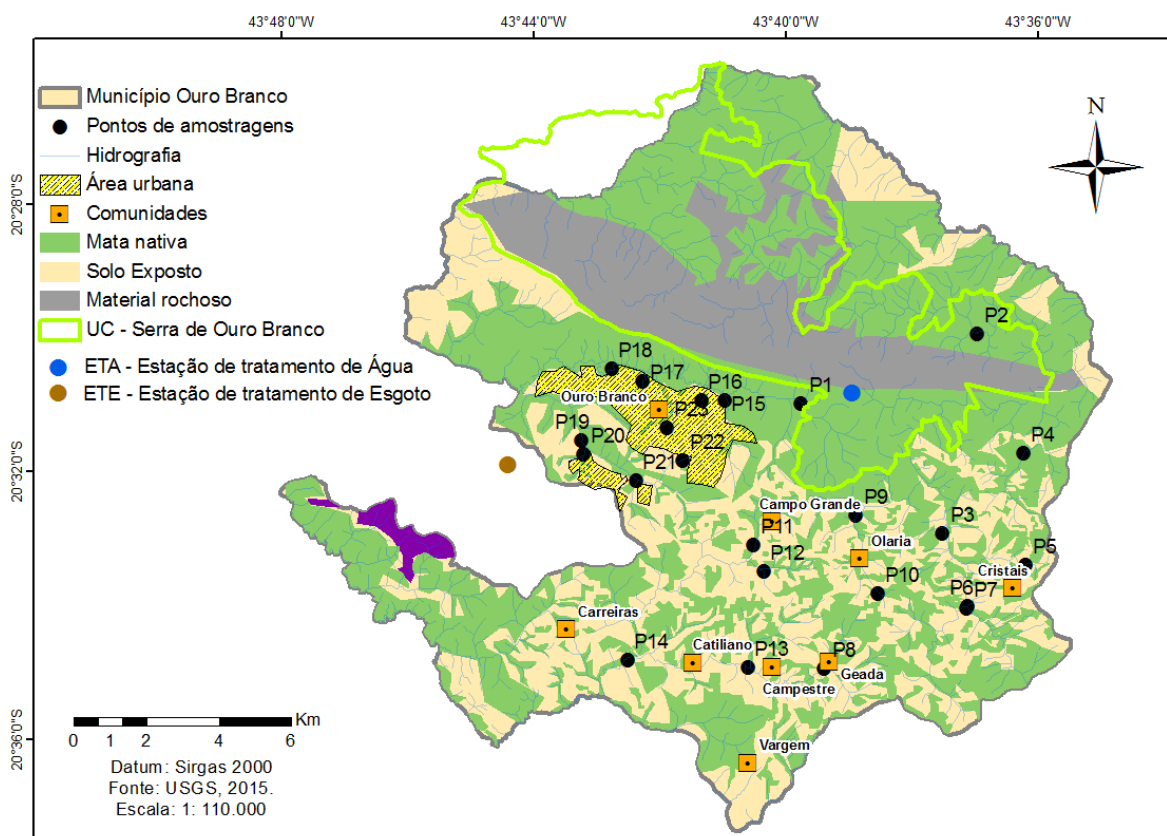
Para a realização da análise exploratória multivariada foram utilizados os seguintes softwares e pacotes de algoritmos: Excel (Microsoft, Co., USA), MatLab 9.1 (The MathWorks, Co., USA), PLS Toolbox 8.2 (Eigenvektor Research, Inc., USA), Network Toolbox 9.1 (The MathWorks, Co., USA).

## **RESULTADOS**

### **USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

O uso e ocupação do solo são importantes fatores que podem interferir num ecossistema. As diversas atividades antrópicas como as industriais, de agropecuária e comerciais alteram sensivelmente os processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais aquáticos. Entretanto, a ocupação desordenada e sem critérios de planejamento também tem sua grande parcela na degradação ambiental com processos erosivos acarretados pelas águas de escoamento superficial e lançamento de esgoto doméstico direto no recurso hídrico comprometendo a qualidade da água.

O município de Ouro Branco possui um histórico de ocupação do solo (Figura 1) datada de 1694, quando da instituição da vila por bandeirantes à procura de ouro. O desenvolvimento econômico no núcleo urbano ocorreu paralelamente com as atividades agrícola e de pecuária. Por ter um solo fértil e topografia favorável, essas atividades cresceram e se tornaram atividades econômicas mais importantes no município quando a extração mineral sofreu decadência. Um novo ciclo ocorreu no município a partir da década de 1970 pela implantação de um complexo siderúrgico, marcando assim uma nova abordagem do desenvolvimento do município (JARDIM, 2010).



**Figura 1: Principais atividades desenvolvidas no município de Ouro Branco-MG.**

Fonte: Autora.

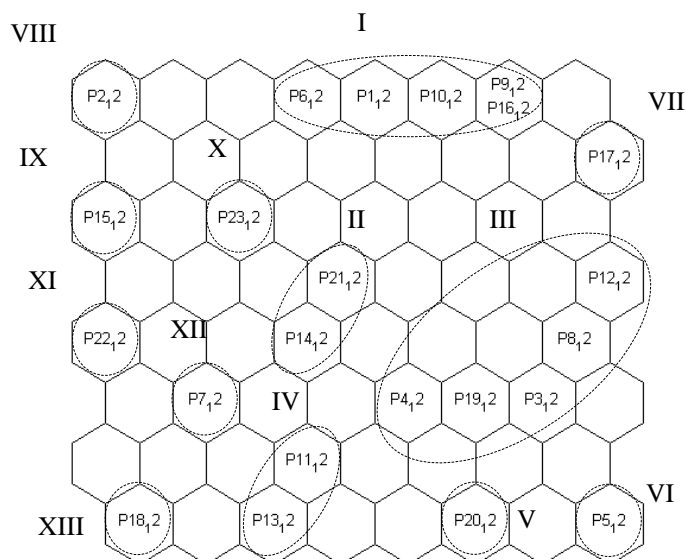
Durante o trabalho de coleta nas comunidades da área rural do município de Ouro Branco-MG pôde-se observar que a atividade da agricultura é um dos principais uso e ocupação do solo, sendo bastante intensa. A batata inglesa e a batata baroa se destacam das demais culturas, porém, produtos de lavoura temporária como milho, cana-de-açúcar, feijão e mandioca também são observados. As principais culturas do município, no quesito área plantada, são: batata inglesa (45,6%), milho (31,7%) e batata baroa (14,3%) (COSTA, 2010).

## ANÁLISE MULTIVARIADA EXPLORATÓRIA

A avaliação dos resultados pela rede neural de Kohonen foi realizada a fim de caracterizar e relacionar a influência do uso e ocupação do solo com os metais encontrados, assim como a relação entre estes nos sedimentos amostrados. A seguir tem-se o resultado para as cinco coletas realizadas.

### • 1ª coleta

As Figuras 2 e 3 representam os grupos formados a partir da distribuição dos pontos analisados em relação a concentração dos metais, assim como a influência de cada metal, respectivamente, para os resultados da primeira coleta.

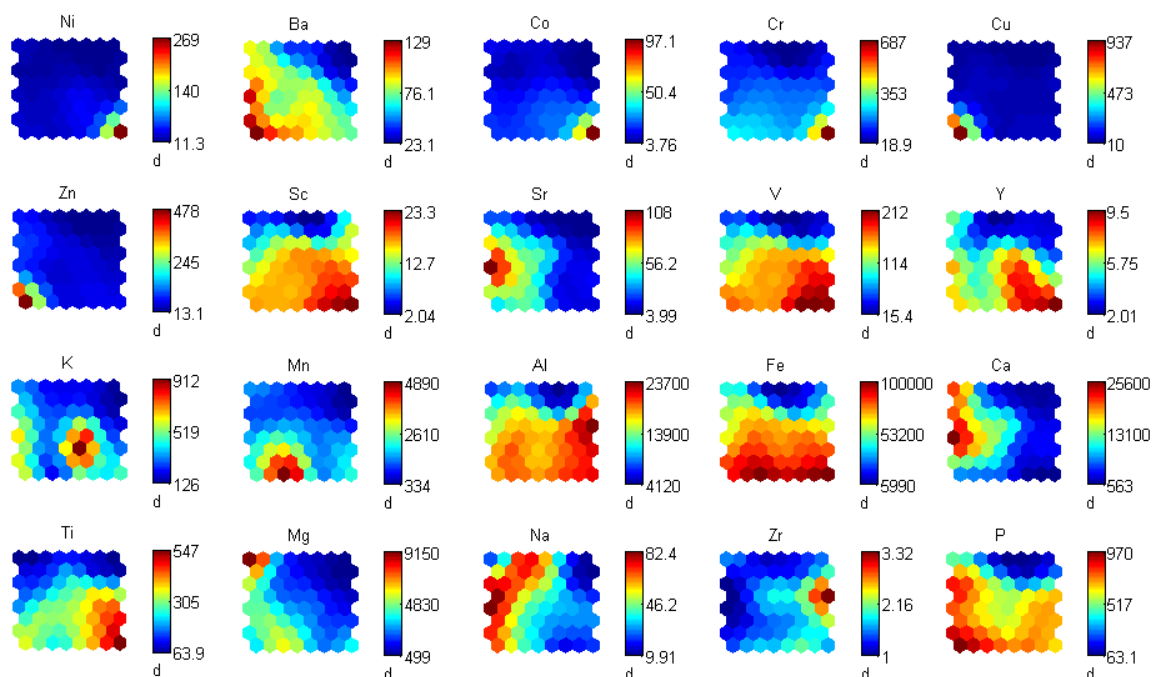


**Figura 2: Mapa de agrupamentos formados pelos pontos amostrados nos corpos hídricos do município de Ouro Branco – MG a partir da aplicação da rede neural de Kohonen, referentes a primeira coleta.**

Com a amostragem referente a coleta 1 (Figura 2) observou-se a formação de 13 grupos. Dentre eles destacam-se o grupo I formado, em sua maioria, por pontos amostrados na área rural e, entre os metais, o alumínio apresentou a variação mais alta, 1617 mg/kg a 9349 mg/kg, e o maior valor foi para o ponto 6, localizado em área rural. O alumínio tem como característica de ser o metal mais abundante nos sedimentos, e a geologia da região em estudo favorece a incidência desse metal sob a forma de moscovita e caulinita corroborado por Mendonça (2012).

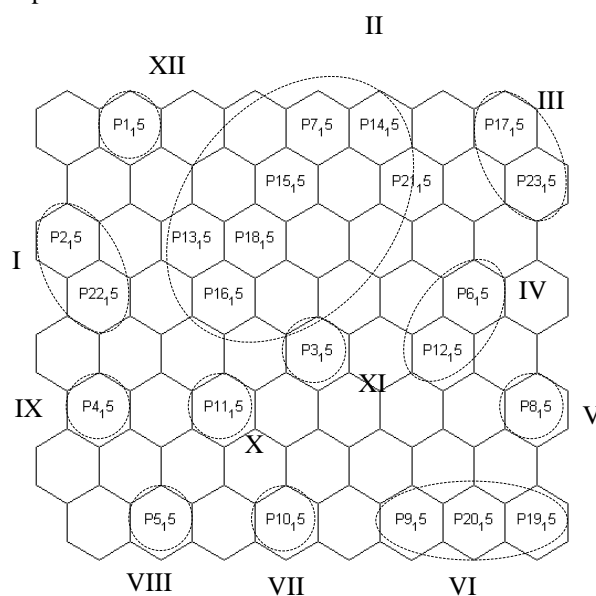
Para o grupo II, (Figura 2) formado pelos pontos 14 e 21, o ferro atingiu os maiores resultados, 74713 mg/kg e 72436 mg/kg e o alumínio 18010 mg/kg e 16604 mg/L respectivamente. De acordo com a ocorrência geológica de rochas metaultramáficas era esperada a presença de ferro e manganês. Para o grupo III, além dos metais citados para os grupos anteriores, observou-se valores consideráveis de escândio, potássio, titânio e vanádio. A ocorrência de titânio e vanádio no solo na Serra do Ouro Branco/MG foi apresentada por Barbosa (2011) em estudo litogeoquímico. O grupo VI apresentou elevados valores de alumínio, ferro e manganês, característica marcante neste grupo. A ocorrência do elemento fósforo, nos pontos amostrados em regiões rurais, pode estar atrelado a utilização de fertilizantes para o melhor desenvolvimento das atividades relacionadas a agricultura; sendo considerada uma alteração proveniente da ação do homem.

**Figura 3: Mapas de distribuição individual das variáveis avaliadas a partir da aplicação da rede neural de Kohonen na primeira coleta.**

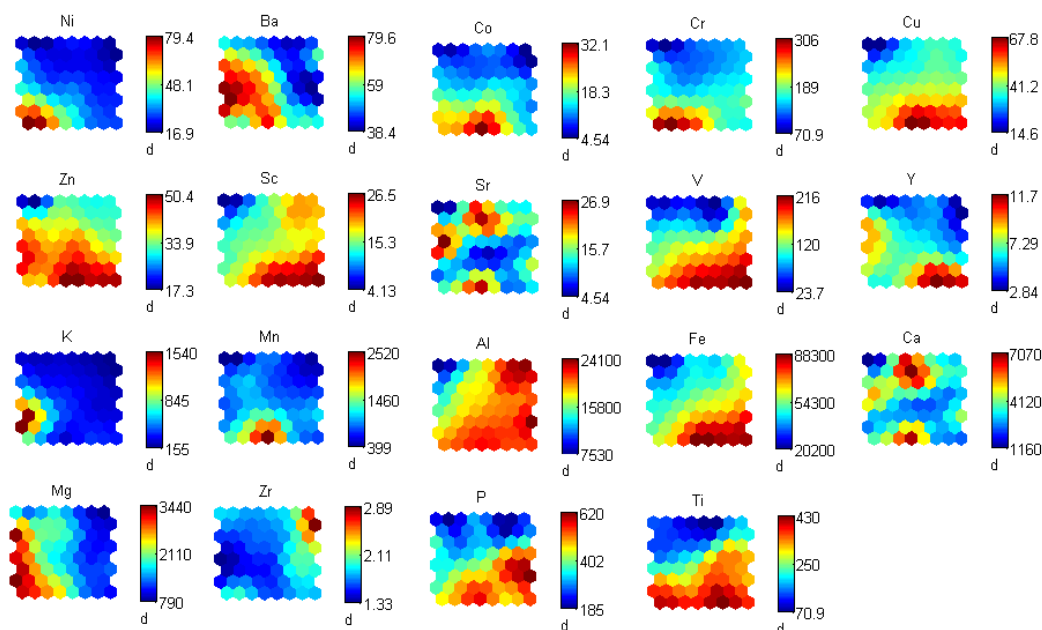


## • 2ª coleta

As Figuras 4 e 5 representam os grupos formados a partir da distribuição dos dados analisados, assim como a influência de cada variável, respectivamente.



**Figura 4: Mapa de agrupamentos formados pelos pontos amostrados nos corpos hídricos do município de Ouro Branco – MG a partir da aplicação da rede neural de Kohonen, referentes a segunda coleta.**



**Figura 5: Mapas de distribuição individual das variáveis avaliadas a partir da aplicação da rede neural de Kohonen na segunda coleta.**

A coleta 2 ocorreu no período chuvoso (2015) e foi observado a formação de 12 grupos. O grupo I, representado pelo ponto 2, localizado em área preservada, e pelo ponto 22, que se encontra em área urbana com contribuição de efluentes domésticos, apresentou forte influência dos elementos bário e magnésio. De acordo com relatos de JARDIM et al., (2009) e SILVA (2009), a ocorrência de bário na área urbana pode estar relacionada com a disposição de resíduos sólidos, e na rural pelas atividades agrícolas, sendo utilizado juntamente com cromo na composição de fungicidas e fertilizantes.

O grupo II é formado por um número maior de pontos, sendo quatro localizados na área urbana e dois na rural, apresentando altos valores de alumínio, cálcio e estrôncio. Os metais alcalinos terrosos mencionados são elementos típicos dos plagioclásios (silicatos duplos). A ocorrência em sedimentos pode indicar a presença destes minerais em rochas máficas, característica da região. (RHODES, 2010).

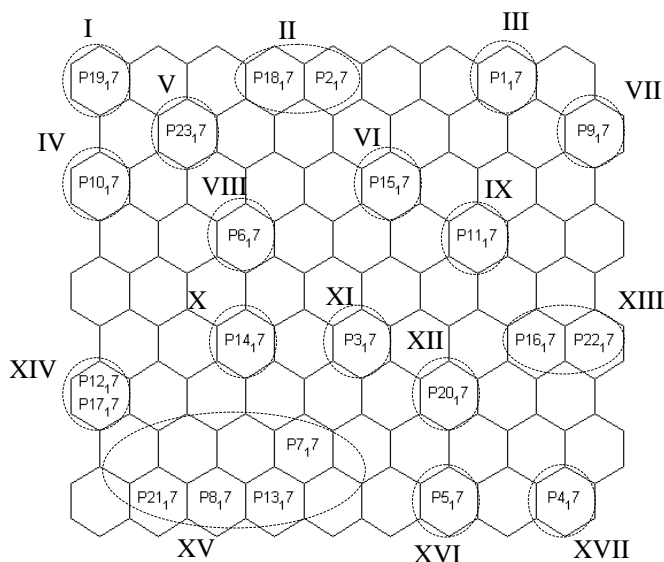
O grupo III composto por pontos amostrais urbanos apontou forte influência do alumínio e zircônio. A maior ocorrência do zircônio na coleta 2 foi no ponto 23. Localizado num ambiente lântico, este local tornou-se um “reservatório” de diferentes espécies químicas oriundas de vários tipos de lançamentos. Concentrações significativas de zircônio podem ser oriundas do intemperismo de rochas ígneas e devem-se exclusivamente aos processos naturais que atuam sobre a litologia da área (CHICHORRO, 2014).

O grupo IV, formado por dois pontos rurais (P6 e P12), mostrou valores de concentração muito significativos para os elementos alumínio e ferro, e também com ocorrência para fósforo, titânio e vanádio. A ocorrência de titânio e vanádio geralmente está associada com minerais de ferro. De acordo Barbosa (2011) em estudo litogeoquímico na Serra do Ouro Branco - MG há presença de titânio no solo sob a forma de óxido.

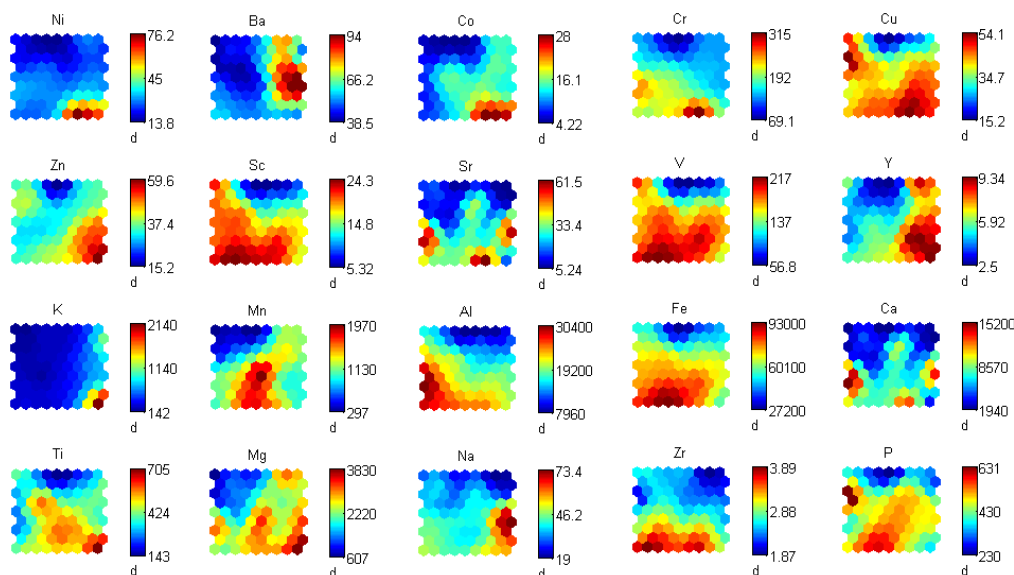
O grupo V composto por um ponto rural e dois urbanos, P9, P19 e P20, respectivamente, apresentou forte influência principalmente de alumínio, cobre, escândio, ferro, fósforo, titânio e vanádio.

### - **3ª coleta**

As Figuras 6 e 7 representam os grupos formados a partir da distribuição dos pontos analisados em relação a concentração dos metais, assim como a influência de cada metal, respectivamente, para os resultados da terceira coleta.



**Figura 6: Mapa de agrupamentos formados pelos pontos amostrados nos corpos hídricos do município de Ouro Branco – MG a partir da aplicação da rede neural de Kohonen, referentes a terceira coleta.**



**Figura 7: Mapas de distribuição individual das variáveis avaliadas a partir da aplicação da rede neural de Kohonen na terceira coleta.**

Para a coleta 3 foram observados a formação de 17 grupos, destacando-se o grupo II representado pelos pontos 2 e 18, apresentou os menores valores de concentração para todos os elementos analisados. O grupo XIII, formado por dois pontos (16: rural e 22: urbano), foi influenciado pelos elementos alumínio, cálcio, escândio e estrôncio. O escândio é encontrado sob a forma de sulfeto, predominantemente na cassiterita ( $\text{SnO}_2$ ), em rochas graníticas como ocorre na região de Ouro Branco. A máxima concentração do estrôncio foi afirmada no ponto de amostragem localizado na área rural (P12), e a jusante do lançamento de água de lavagem de batata baroa, caracterizando como fonte pontual. Pode-se considerar que a presença desse metal se deve à litologia da área e, particularmente nesse ponto, em função da atividade local.

O grupo XV apresentou os maiores valores para os metais alumínio, ferro, manganês, zircônio, fósforo, escândio, vanádio e cobre; verificou-se que é constituído por amostras localizadas tanto em zonas rurais quanto

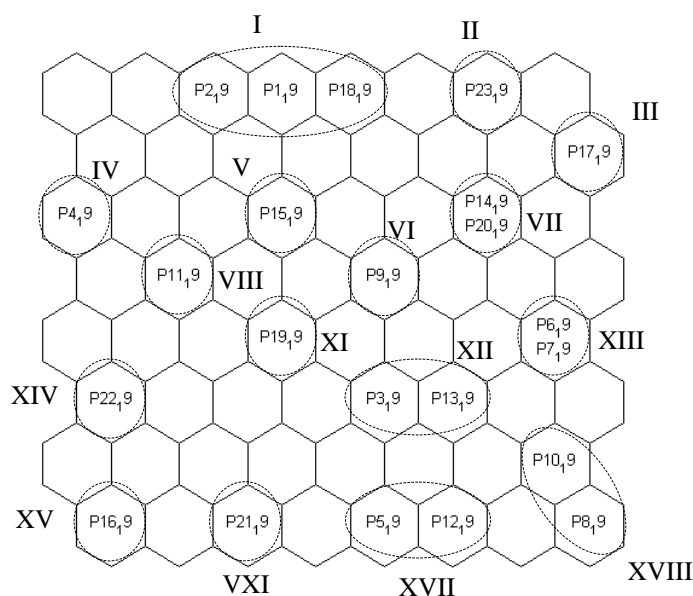
em zonas urbanas, sendo todos os pontos caracterizados por possuírem elevado aporte de esgoto doméstico assim como atividades agropecuárias. A formação do grupo XIV foi somente por dois pontos amostrais urbanos e foi possível verificar a influência dos elementos alumínio, bário, cobre, escândio, ferro, ítrio, magnésio, sódio e zinco.

- **4ª coleta**

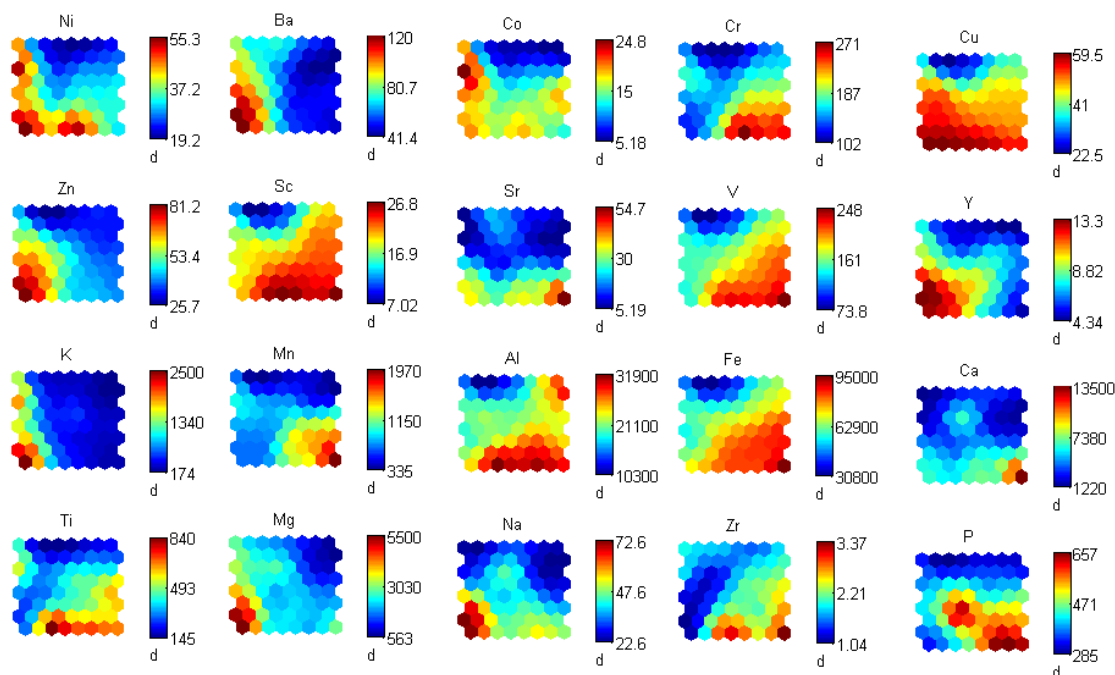
As Figuras 8 e 9 representam os grupos formados a partir da distribuição dos pontos analisados em relação a concentração dos metais, assim como a influência de cada metal, respectivamente, para os resultados da quarta coleta.

Para a coleta 4 foi observada a formação de 18 grupos, destacando-se entre esses o grupo I formado pelos pontos localizados na APP e o P18, os sedimentos coletados apresentaram concentrações com valores baixos para todos os elementos analisados. O grupo II teve como metais em destaque o alumínio e o ferro. Para o grupo XVIII e XVII foram observadas as ocorrências em comum dos elementos alumínio, ferro, cobre, cromo, escândio, vanádio e manganês e, de acordo com a escala de variação, foram concentrações relativamente altas.

Para os grupos XIV e XV verificou-se as maiores concentrações de níquel, bário, cobre, zinco, potássio, manganês e sódio. Ressalta-se que são apenas dois pontos amostrais, isto é, são grupos individuais, e ambos localizados na região urbana e caracterizados por recebimento de efluentes domésticos sem tratamento. A ocorrência dos metais escândio, cromo, titânio e vanádio geralmente está associada com minerais de ferro (Barbosa, 2011).



**Figura 8: Mapa de agrupamentos formados pelos pontos amostrados nos corpos hídricos do município de Ouro Branco – MG a partir da aplicação da rede neural de Kohonen, referentes a quarta coleta.**

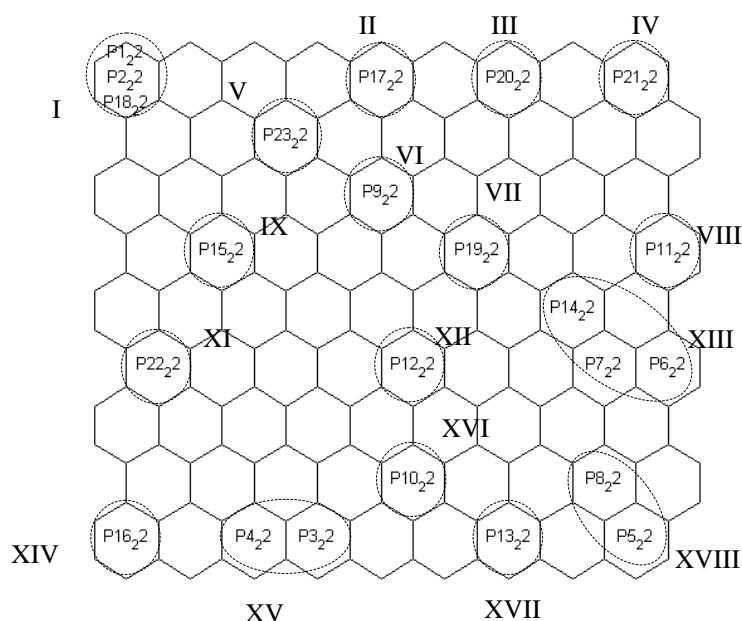


**Figura 9: Mapas de distribuição individual das variáveis avaliadas a partir da aplicação da rede neural de Kohonen na quarta coleta.**

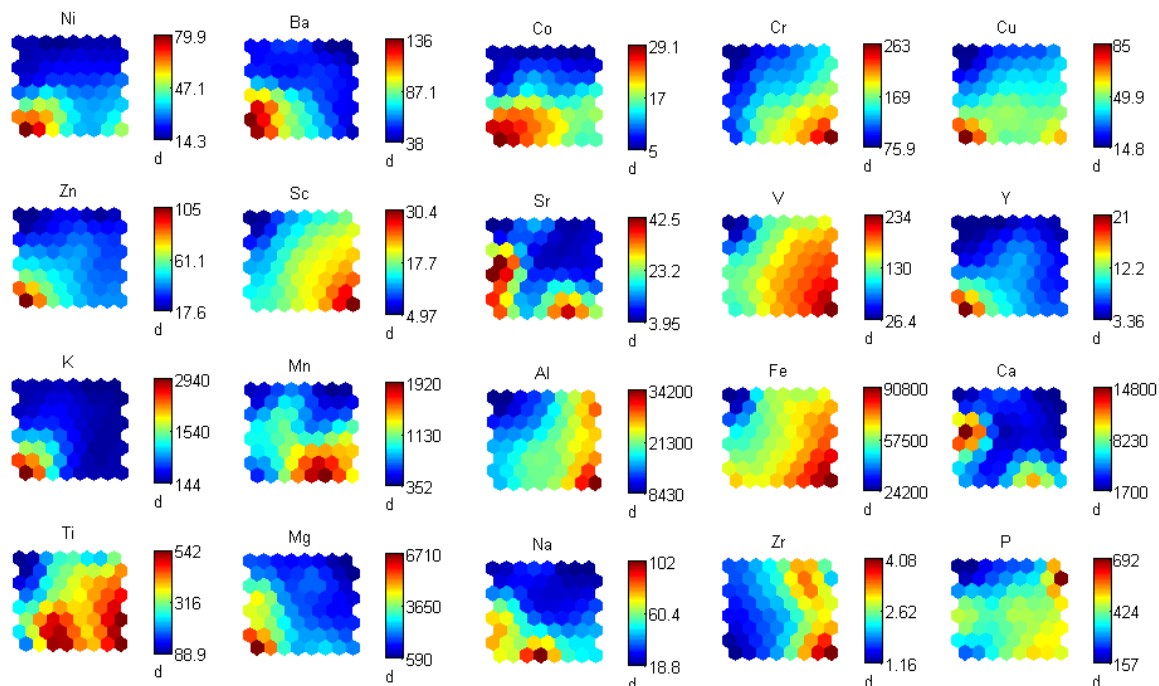
- **5ª coleta**

As Figuras 10 e 11 representam os grupos formados a partir da distribuição dos pontos analisados em relação a concentração dos metais, assim como a influência de cada metal, respectivamente, para os resultados da quarta coleta.

Na coleta 5 foi possível verificar a formação de 18 grupos. O grupo I formado pelos pontos localizados na APP e o P18 (ribeirão Ouro Branco), apresentou os menores valores para todos os elementos analisados nesta coleta.



**Figura 10: Mapa de agrupamentos formados pelos pontos amostrados nos corpos hídricos do município de Ouro Branco – MG a partir da aplicação da rede neural de Kohonen, referentes a quinta coleta.**



**Figura 11: Mapas de distribuição individual das variáveis avaliadas a partir da aplicação da rede neural de Kohonen na quinta coleta.**

O grupo XIII e XVIII composto por pontos localizados na área rural apresentaram forte influência dos metais alumínio, ferro, vanádio e titânio. A região em estudo tem uma geologia que favorece a incidência desses metais. O grupo XV também formado por pontos da área rural (P3 e P4), apresentou os metais cobalto, sódio e titânio.

Outro fato relevante nesta coleta foi o ponto 16, que está isolado no mapa de distribuição (Figura 11), porém apresentou os maiores valores para a maior parte dos elementos analisados, como por exemplo, bário, cobalto, cobre, ferro, magnésio, níquel, potássio e zinco. Esse ponto é caracterizado pela ocorrência de argila em sua margem, onde pode-se explicar a presença de bário.

De acordo com Costa (2001), o bário é complexado principalmente nas argilas (caulinita, montmorilonita) e nos óxidos de ferro-manganês. Os metais níquel e cobalto têm características similares e estão coerentes com a geologia local. Segundo Oliveira e Pasqual (2004), os elementos presentes no percolado das áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos destacam-se o cobre, o zinco, o bário além de lítio e cádmio, o que justifica a presença desses elementos nas áreas urbanas. A ocorrência de potássio nos sedimentos no ponto 16 pode estar relacionado com geologia local pela presença de forma de silicatos duplos ( $\text{KAISi}_3\text{O}_8$ ) e de mica moscovita.

## CONCLUSÕES

Os metais encontrados em concentrações altas foram alumínio, ferro, manganês que podem ter origem na litologia local e na atividade siderúrgica, desenvolvida próxima ao município. Outro processo que exerce influência na composição dos sedimentos na região estudada pode ser a precipitação de particulados atmosféricos. Com base nos resultados, um monitoramento contínuo dos metais em sedimentos atrelado ao estudo de uso e ocupação do solo se faz necessário para que as medidas preventivas e mitigadoras dos problemas encontrados possam ser propostas.

Além disso a rede neural de Kohonen se mostrou uma técnica de análise exploratória multivariada apropriada para amostragens que geram uma grande quantidade de dados e para estudos geoquímicos, em função da

excelente visualização na interpretação dos resultados ao manter as informações originais relevantes em um espaço dimensional reduzido.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos seguintes fomentadores: CAPES, CNPq FAPEMIG, Fundação Gorceix, PROAMB e UFOP, pelo auxílio financeiro e bolsas concedidas para a realização do trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CBH - DOCE - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2018). Disponível em: [www.riodoce.cbh.gov.br](http://www.riodoce.cbh.gov.br). Acessado em 17 de outubro de 2018.
2. COELHO, A. L. N. Bacia hidrográfica do Rio Doce (MG/ES): uma análise socioambiental. Geografars, v.2, n.7, p.135-140, 2009.
3. CHICHORRO, M. O zircão. Um mineral marcador de grandes ciclos geológicos. VIII Encontro de professores de geociências do Alentejo e Algarves, 2014. Disponível em: [www.associacaoodpaga/viii\\_silves\\_files/chichorro\\_m.pdf](http://www.associacaoodpaga/viii_silves_files/chichorro_m.pdf). Acesso em 10 de junho de 2017.
4. COSTA, H. S. M. Indústria, produção do espaço e custos socioambientais: reflexões a partir do exemplo do Vale do Aço, Minas Gerais in: Haroldo Costa e Heloisa Costa, População e meio ambiente: debates e desafios Ed. SENAC, São Paulo, 2000.
5. COSTA, R. P. V. Desenvolvimento do índice de Insalubridade Ambiental (ISA) para Comunidades Rurais e sua Aplicação e Análise nas Comunidades de Ouro Branco MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.
6. DA SILVA, G. A.; AUGUSTO, F.; POPPI, R. J. Exploratory analysis of the volatile profile of beers by HS-SPME-GC. Food Chem., 111, 1057, 2008.
7. FUKUZAWA, M. C. Influência da litologia nas águas e sedimentos do rio Doce. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2008
8. GONTIJO, E. S. J.; OLIVEIRA, F. S. D.; FERNANDES, M. L.; SILVA, G. A. DA; ROESER, H. M. P.; FRIESE, K. Application of a Multivariate Exploratory Analysis Technique in the Study of Dissolved Organic Matter and Metal Ions in Waters from the Eastern Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Journal of the Brazilian Chemical Society (Impresso), v. 25, p. 108-118, 2013.
9. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em [www.ibge.gov.br/cidades2015](http://www.ibge.gov.br/cidades2015). Acessado em 15 de outubro de 2018, 2015.
10. JARDIM, P. B. Qualidade de águas de nascentes como reflexo de manejo de uso e ocupação do solo e conservação da mata ciliar, no município de Ouro Branco-MG. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.
11. KOHONEN, T. Self-organization and associative memory. 3ª ed.; Springer Verlag: Berlin, 1989.
12. KOWALSKI, C. H.; SILVA, G. A. DA; POPPI, R. J.; GODOY, H. T.; AUGUSTO, F. Neuro- genetic multiobjective optimization of the determination of polychlorinated biphenyl congeners in human milk by headspace solid phase microextraction coupled to gas chromatography with electron capture detection. Anais. Chim. Acta 585, (1), 66, 2007.
13. LIAO, J.; CHEN, J.; RU, X.; CHEN, J.; WU, H.; WEI, C. Heavy metals in river surface sediments affected with multiple pollution sources, South China: distribution, enrichment and source apportionment. Journal of Geochemical Exploration, vol. 176, p. 9-19, 2017.
14. MENDONÇA, F. P. C. Influência da mineração geoquímica das águas superficiais e dos sedimentos no alto do curso da bacia do Ribeirão Mata Porcos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Dissertação (Mestre em Ciências Naturais). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2012.
15. MORTATTI, J.; HISSLER, C.; PROBST, J. L.; Distribuição de Metais Pesados nos Sedimentos de Fundo ao Longo da Bacia do Rio Tietê. Revista do Instituto de Geociências – USP, v. 1º, n. 2, p. 3-11, 2010.
16. OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido de aterro sanitário. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.9, n.3, p.240-249, 2004.
17. PITELLI, R. L. C. M.; FERRAUTO, A. S.; PITELLI, A. M. C. M.; PITELLI, R. A.; VELINI, E. D. Utilização de análise multivariada e redes neurais artificiais na determinação do comportamento e colonização de população de macrófitas aquáticas no reservatório de Santana. Planta Daninha, v.27, n.3, Viçosa, 2009.

18. RAURET G., LÓPEZ-SÁNCHEZ J.F., LÜCK D., YLI-HALLA M., MUNTAU H., QUEVAUVILLER., PH.2001. The certification of the extractable contents (mass fractions) of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in freshwater sediment following sequential extraction procedure - BCR 701, BCR information reference material, Bruxelas, Bélgica, 2001.
19. RHODES, V. P. Distribuição de Hg e As nos sedimentos de área afetada por garimpo de ouro – rio Gualaxo do Norte, Mariana – MG. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2010.
20. SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; ALMEIDA, K. C. B. Uso de métodos estatísticos robustos na análise ambiental. Engenharia Sanitária e Ambiental, [s.l.], v. 19, n. 1, p.87-94, 2014.
21. SILVA, A. P. S; DIAS, H. C. T; BASTOS, R. K. X; SILVA, E. Qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. Revista Árvore, v.33, n.6, p.1063-1069, Viçosa, 2009.
22. ZHUANG, Q.; LI, G.; LIU, Z. Distribution, source and pollution level of heavy metals in river sediments from South China. Catena, vol. 170, p. 386-396, 2018.