



XVII ENANPUR

SÃO PAULO • 2017



Evidências entre a qualidade das bacias hidrográficas e as características dos municípios de Minas Gerais¹

Suzana Quinet de Andrade Bastos, Professora do PPGE – UFJF, quinet.bastos@ufjf.edu.br

Admir Antônio Betarelli Filho, Professor PPGE – UFJF, quinet.bastos@gmail.com.br

Bruno Silva de Moraes Gomes, Doutorando do PPGE- UFJF, suquinet@powerline.com.br

¹ Os autores agradecem o financiamento do CNPq, CAPES e FAPEMIG para elaboração deste trabalho.

RESUMO

A qualidade, a escassez e a alocação dos recursos hídricos brasileiro são preocupações recorrentes no debate político. Uma forma de contribuir para esse debate é analisar a qualidade dos recursos hídricos e as características socioeconômicas de alguns municípios do Estado de Minas Gerais para o ano de 2010. Para atingir esse objetivo se desenvolve um Indicador de Qualidade da Água que permite classificar os municípios mediante a articulação de duas técnicas: Análise de Componentes Principais e *Cluster*. Os resultados apontam que a qualidade da água é influenciada pela vulnerabilidade a pobreza, taxa de analfabetismo, mortalidade, urbanização, tratamento inadequado de água e esgoto e expectativa de vida.

Palavras chaves: Qualidade da água. Análise multivariada. Municípios e bacias de Minas Gerais.

ABSTRACT

The quality, scarcity and allocation of water resources along the Brazilian territory are recurrent concerns in the political debate. Thus, the main aim of this paper is to analyze and combine characteristics of the municipalities and watershed, especially for Minas Gerais in 2010. For this purpose, first this paper develops a municipal database with a Water Quality Index (AQI) and characteristics variables. Then, we apply the Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis to split municipalities and watershed in groups. The main results show that the water quality is influenced by the vulnerability to poverty, illiteracy, mortality, population density, inadequate water treatment and sewage and life expectancy, as well as by agricultural activities and industrial.

Key words: Water quality. Multivariate Analysis. Municipalities and watersheds of Minas Gerais.

Classificação JEL: C02; R11, Q25

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural renovável importante para a existência humana, porém, apesar da sua abundância na natureza, apenas uma pequena parte está disponível para o uso comum ou consumo humano. Por ser um típico recurso comum, externalidades negativas são geradas pelo seu uso excessivo a preço zero (“tragédia dos comuns”). Em razão disso, as diversas ações humanas, seja para o uso comercial, doméstico, industrial ou em virtude da ocupação do solo e das relações circunvizinhas entre regiões (PEREIRA, 2004; LOPES *et al.*, 2008; RODRIGUES; PRADO, 2004; ÁVILA; MONTE-MÓR, 2007) têm contribuído para a escassez e redução de qualidade da água, afetando as bacias hidrográficas e os benefícios coletivos no uso comum desse recurso. Ou melhor, as reestruturações e reorganizações do espaço socioeconômico do capitalismo urbano-industrial, verificadas nos últimos cinquenta anos, intensificaram a degradação da qualidade da água, cujo problema é crescente (GRASSI, 2001). Questões geológicas podem também afetar a qualidade da água (LOPES *et al.*, 2008).

As atividades poluidoras são distintas entre o meio rural e urbano. Nas áreas urbanas a poluição afeta de maneira direta ou indireta a “saúde” dos rios, muitas vezes pela contaminação do lençol freático, o despejo de resíduos fecais via esgoto doméstico, pela falta de tratamento do lixo colhido que produz o chorume, pelos resíduos industriais (metais pesados) que são resultado do processo de desenvolvimento, pelos vazamentos de combustível nos tanques de armazenamento e pela água das chuvas que carregam rejeitos espalhados pelas ruas. Já a poluição na área rural ocorre pelo desenvolvimento da agricultura, em virtude do crescimento da população e necessidade maior de consumo de alimentos (RODRIGUES; PRADO, 2004). A necessidade do uso da água para o desenvolvimento da agricultura e pecuária faz com que estas atividades se localizem próximas aos rios e lagos, o que também leva a degradação do solo, deixando-o exposto aos escorrimentos de água da chuva e erosões e, conseqüentemente, provocando maior entrada de matéria orgânica, inorgânica e compostos químicos. Juntas, essas matérias geram desequilíbrios na fauna e flora dos corpos d’água (CARVALHO, 2000).

Outra fonte de poluição é a eutrofização artificial, isto é, os corpos d’água passam por um processo de enriquecimento pelos nutrientes decorrente de sedimentos e materiais dissolvidos. Esses elementos são carregados para lagos ou reservatórios de forma lenta e constante, geralmente provocados pelas atividades antrópicas (GRASSI, 2001).

A identificação das fontes de poluição em determinados locais pode ser dificultada pelo fato de que os poluentes, por vezes, seguem o curso do rio afetando os níveis de poluição nos pontos a jusante ou por causa da presença de diversos afluentes que ao serem despejados no rio principal acabam diluindo os poluentes presentes, reduzindo assim a sua concentração (ÁVILA; MONTE-MÓR, 2007).

As mudanças no meio ambiente têm intensificado a preocupação com a questão da alocação e qualidade dos recursos hídricos nas formulações de políticas públicas ao nível nacional e ao nível de planejamento regional e local. No Brasil, embora haja uma privilegiada quantidade de recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, os problemas inerentes à qualidade, distribuição e oferta hídrica são diversos e distintos entre as suas regiões. Por exemplo, enquanto algumas regiões sofrem com a falta d’água, como o Nordeste, outras a possuem em abundância, como o Norte e Centro Oeste. As regiões como o Sul e Sudeste sofrem com conflitos referentes ao uso, como consequência de seu tamanho populacional e alto grau de desenvolvimento. Em geral, grande parte da qualidade dos rios brasileiros está se deteriorando em razão da emissão de diversos agentes poluentes e à falta de tratamento adequado (LOPES *et al.*, 2008).

Rodrigues e Prado (2004) apontam que se faz necessário não só a presença de órgãos de controle como também a conscientização da população e do governo quanto às questões referentes ao meio ambiente, via programas de educação ambiental. Os autores acrescentam que a degradação dos corpos hídricos era um problema identificado apenas em países desenvolvidos e agora está presente naqueles em desenvolvimento. Nos países desenvolvidos os programas de controle e pesquisa sobre a contaminação do ambiente estão bastantes presentes, enquanto nos outros são poucos os projetos relacionados a isto. No Brasil, a população apresenta-se mais preocupada com o ambiente em razão das consequências para o futuro, mas pouco se importa com a fiscalização. Embora existam investimentos públicos e privados para a preservação e recuperação do meio ambiente, ainda não há uma política ambiental bem definida dentro do país. Para Pereira (2004), há diversos instrumentos que permitem controlar e gerenciar a questão da poluição hídrica e o problema não está na regulamentação de leis e normas e sim na falta de programas e políticas que promovam a conscientização de que apesar da água ser um recurso renovável há a possibilidade de tornar-se escassa.

É nesse mote de pesquisa que originam as principais motivações de estudo para esse trabalho. Em razão dos poluentes gerados pelas atividades humanas nas áreas rurais e urbanas, objetiva-se analisar alguns dos fatores socioeconômicos dos municípios mineiros e o nível de qualidade da água das bacias hidrográficas no Estado de Minas Gerais e essa associação permite evidenciar e classificar as regiões mineiras que mais enfrentam problemas para o uso comum desse recurso. Tais informações podem auxiliar na elaboração de políticas regionais de meio ambiente, como no combate da poluição hídrica. O Estado de Minas Gerais foi escolhido pelo fato de ser conhecido como a caixa d'água brasileira, por causa da relevância de suas bacias hidrográficas, sendo produtor de águas em seus 58,6 milhões de hectares (GOVERNO DE MINAS GERAIS, 2014).

Para tanto, é desenvolvida uma base de dados para o ano de 2010, cujo conjunto de informações contempla um Indicador de Qualidade da Água (IQA) e variáveis socioeconômicas dos municípios mineiros. Em uma etapa posterior, aplica-se a Análise de Componentes Principais (ACP) sobre esse conjunto de variáveis, pois tal técnica possibilita extrair de forma condensada (reduzida) as características regionais e hídricas. Não obstante, a análise de *cluster* é também utilizada a fim de realizar uma tipologia dos municípios e bacias hidrográficas. Em suma, a articulação de ambas as técnicas de multivariada permite classificar ou dividir os municípios em grupos homogêneos ou heterogêneos de acordo com suas variáveis características. Logo, os resultados e as análises de classificação dos municípios mineiros podem ser de grande interesse tanto para os agentes das instituições reguladoras como aos formuladores de política pública do Governo do Estado de Minas Gerais.

A partir desta introdução o trabalho divide-se em mais cinco partes. O segundo tópico trata da classificação da qualidade da água bem como dos trabalhos empíricos sobre o assunto. Na terceira parte apresenta-se a metodologia e na quarta tem-se a base de dados e sua respectiva análise descritiva. Os resultados são apurados no quinto tópico e por último são feitas as conclusões.

QUALIDADE DA ÁGUA

É necessário o monitoramento dos corpos d'água para que se possa saber qual o tratamento adequado que a água deve receber para ser consumida. É por este motivo que a água é enquadrada em classes que deve ser mantida ou atingida ao longo do tempo, instrumento fundamental ao planejamento, pois integra a política de recursos hídricos e do meio ambiente

associada a instrumentos de gestão das águas e ambiental. O enquadramento funciona como forma de assegurar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas e de diminuir os custos de poluição por meio de medidas preventivas (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2014).

A proposta de enquadramento feita de acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica é elaborada pela Agência da Bacia Hidrográfica ou pelo órgão gestor de recursos hídricos, que no caso do Estado de Minas Gerais é o Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, sendo discutida e aprovada pelo comitê respectivo a cada Bacia e deliberada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Especificamente para Minas Gerais, o COPAM e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG) estabeleceram a Deliberação Normativa Conjunta nº 01 de 05 de maio de 2008 que traz a classificação para o enquadramento dos corpos d'água, assim como determina o padrão para o lançamento de efluentes.

De acordo com seu capítulo II as águas doces são divididas em cinco categorias classificadas de acordo com a qualidade solicitada para seu uso e as condições ambientais da água. As águas da classe especial têm destino ao consumo humano, desde que ocorra filtração e desinfecção, à preservação de comunidades aquáticas e de ambientes aquáticos em locais que possuem proteção integral. As águas da classe 1 também são usadas no consumo do homem, desde que passe por tratamento simplificado, na proteção das comunidades aquáticas em geral e as localizadas em terras indígenas, além de servirem para recreações que sejam de contato primário e irrigação de frutas e alimentos ingeridos crus. As águas da classe 2 são usadas no consumo humano, apenas se passarem por tratamento convencional, na proteção de comunidades aquáticas e recreação com contato primário, irrigação de hortaliças, jardins, campos em que haja contato direto da população e a atividade da pesca e aquicultura. A classe 3 tem destino ao uso humano, se a água for tratada de forma convencional ou avançada, à irrigação de cultivos arbóreos, à pesca amadora, recreações com contato secundário, e para o consumo de animais. A classe 4 é apenas usada na navegação, na manutenção da paisagem e no uso para fins menos exigentes. (COPAM/CERH-MG, 2008).

Existem diversos índices que ajudam a identificar e controlar a qualidade da água. O Índice de Qualidade das Águas (IQA), criado pela *National Sanitation Foundation*, em 1970 nos Estados Unidos, a partir de 1975 tornou-se o principal índice de qualidade da água do Brasil. Ele foi desenvolvido para analisar a qualidade da água bruta que é destinada ao abastecimento público e os indicadores de poluição que o constitui são derivados do lançamento de esgotos domésticos, sendo nove o número de parâmetros utilizados em seu cálculo (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2009):

- a) oxigênio dissolvido (OD): é de vital importância para a vida aquática, já que a maioria dos organismos precisa dele para respirar. Em casos de presença de poluição, há um maior consumo dele para a decomposição de matéria orgânica, fazendo com que sua concentração seja baixa;
- b) coliformes termotolerantes ou fecais: bactérias indicadoras de poluição por esgotos domésticos, sendo que sua presença na água, em grande quantidade, indica que podem existir microrganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica;
- c) potencial hidrogênico (PH): pode afetar o metabolismo das espécies aquáticas e variações em seu valor também podem aumentar o efeito de substâncias tóxicas sobre os organismos. O ideal é que o valor do PH esteja entre 6 e 9;

- d) demanda bioquímica de Oxigênio (DBO_{5, 20}): representa a quantidade de oxigênio consumida, em cinco dias a uma temperatura de 20°C, para oxidar a matéria orgânica da água por meio da decomposição microbiana aeróbica;
- e) temperatura da água: influencia diversos parâmetros físicos e químicos da água. Efluentes com níveis de temperatura elevados causam grande impacto sobre os corpos d'água;
- f) nitrogênio total: pode ser observado em algumas formas como nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. Ele serve de nutriente ao processo biológico. O seu lançamento nos corpos d'água em grande quantidade pode causar excessivo crescimento de algas prejudicando desde o abastecimento público à vida aquática. É decorrente principalmente de esgotos sanitários e efluentes industriais.
- g) fósforo total: importante nutriente para o desenvolvimento de processos biológicos, causando problemas semelhantes ao nitrogênio. Pode ser encontrado nos efluentes industriais, agrícolas e na matéria fecal;
- h) turbidez: apresenta o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, isso ocorre devido à absorção e espalhamento da luz que são causadas pelos sólidos em suspensão. Atividades de mineração, lançamento de esgoto e efluentes industriais são algumas de suas fontes;
- i) resíduo total: é a matéria que permanece na amostra depois de sua evaporação, secagem ou calcinação, durante uma determinada temperatura e tempo. Pode causar assoreamento, danos à vida aquática e aos locais de desova de peixes.

O cálculo do IQA é feito por meio de um produtório ponderado desses nove parâmetros. Cada um deles possui um peso (w) dado de acordo com sua importância e um valor de qualidade (q) estabelecido conforme sua concentração ou medida (SAAD *et al.*, 2007; INFO HIDRO, 2014, CETESB, 2014; PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2009). A fórmula do IQA é descrita como (1):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i w_i \quad \because \sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad 0 \leq w_i \leq 1 \quad (1)$$

em que q_i é a qualidade do i -ésimo parâmetro; e w_i representa o peso que corresponde a cada i -ésimo parâmetro. Os valores do IQA são classificados por faixas de qualidade que variam entre 0 e 100. O IGAM adota para Minas Gerais os valores determinados no Quadro 1.

TRABALHOS EMPÍRICOS

Carvalho, Ferreira e Stapelfeldt (2004) analisaram a qualidade da água do Ribeirão Ubá, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (MG), e questionaram se as atividades antrópicas e as indústrias moveleiras na região de Ubá afetavam a qualidade da água. Utilizaram o índice de qualidade da água e dividiram o Ribeirão em cinco pontos, desde sua nascente à saída da cidade e realizaram três amostragens durante o ano de 2003. A partir do segundo ponto de coleta, alguns parâmetros deixaram de atender as especificações para que a água pudesse se enquadrar na classe 2 ou até mesmo na classe 4. Os pontos 1 e 2 variaram entre o nível médio e bom, já nos demais pontos a qualidade foi considerada ruim. Esses valores já eram esperados em razão dos descartes de efluentes domésticos e industriais para o corpo do rio.

QUADRO 1 - Faixas de IQA

Valor do IQA	Classes	Significado
$90 < IQA \leq 100$	Excelente	Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público.
$70 < IQA \leq 90$	Bom	
$50 < IQA \leq 70$	Médio	
$25 < IQA \leq 50$	Ruim	Águas impróprias para tratamento convencional visando o abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados
$IQA \leq 25$	Muito Ruim	

Fonte: IGAM (2012) e CETESB (2008) *apud* Info Hidro (2014).

Ávila e Monte-Mór (2007) mostraram as relações entre o processo de urbanização e industrialização e os impactos causados sobre a poluição da água em 13 municípios da região do Médio Rio Doce (MG), Raul Soares, Rio Piracicaba, João Monlevade, São Gonçalo do Rio Abaixo, Nova Era, Itabira, Antônio Dias, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Caratinga, Ponte Nova, Rio Casca e Governador Valadares. Utilizaram o método de Análise de Componentes Principais (ACP) que permite mostrar a correlação entre as características urbano-industriais e a qualidade hídrica. As variáveis escolhidas para a análise referente ao ano 2000 são o índice de qualidade da água (IQA); os resíduos sólidos em suspensão (SS), em que o lixo doméstico e industrial são apontados como sua origem principal; os coliformes fecais (CF) que representam a poluição vinda de efluentes domésticos; o produto interno bruto industrial municipal (PIBIND) que é uma *proxy* da pressão que a indústria causa sobre o município; a população urbana (POPURB); e as condições sanitárias (CSAN), como *proxy* de infraestrutura do município, ou seja, mostra os indivíduos residentes em domicílios que possuem o escoamento de esgoto nos rios ou lagos. Concluíram que os municípios mais industrializados possuem melhores indicadores de poluição hídrica, pois podem fornecer melhores condições de infraestrutura que diminuem os níveis de poluição orgânica, porém isto não reflete, uma maior qualidade da água, pois outras formas de poluição que são maiores nestes municípios como os resíduos sólidos e metais pesados possuem pouco peso no cálculo do IQA.

Saad *et al.* (2007) analisaram a qualidade da água do Reservatório Tanque Grande entre 1990 e 2006. Junto ao IQA foram usadas a correlação de Person e regressão múltipla, além de dados sobre as condições dos meios físicos, bióticos e socioeconômicos da região. Concluíram que ao longo dos anos o valor do IQA foi se elevando e as diferenças do valor do índice entre o verão e inverno diminuíram. Nos últimos três anos o IQA esteve próximo ao limite entre a qualidade boa e ótima.

Lopes *et al.* (2008) analisaram a qualidade das águas da bacia do Rio Acaraú no Norte (CE), usando amostras coletadas nos meses de fevereiro, julho e novembro de 2003 e em março do ano de 2004 em 13 estações ao longo da bacia. Para isto empregaram o IQA junto a um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os valores de IQA mais baixos foram encontrados próximos à cidade de Sobral, como consequência da maior população, variabilidade industrial e exploração da pecuária e no rio Groaíras, por causa do lançamento direto de esgoto doméstico. Já os melhores valores de IQA foram encontrados na parte alta da bacia, porém não estão localizados nas nascentes. Apesar de a média do índice ter sido maior na estação chuvosa, não ocorreu diferença significativa entre as estações.

Pinto *et al.* (2009) estudaram a qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha que desagua no Rio Grande (MG), por meio do cálculo do índice de qualidade da água. Foram colhidas sete amostras entre 2006 e 2007. Os resultados do IQA foram excelentes para o mês de julho em virtude da ausência de coliformes termotolerantes fato explicado pelo baixo índice pluviométrico que impede o escoamento superficial. Já em maio os valores foram bem inferiores, pois a presença da chuva propiciou o escoamento superficial de coliformes e sólidos totais e por motivos semelhantes, de setembro a janeiro, o índice variou entre médio e bom. Concluíram que o uso e a ocupação do solo na região podem ser considerados os possíveis fatores que determinam tal situação, sendo que a presença de coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio são os principais limitantes da qualidade deste corpo hídrico.

Piasentin *et al.* (2009) monitoraram a qualidade da água do reservatório do Tanque Grande na cidade de Guarulhos (SP), durante 12 meses. As amostras foram coletadas em três pontos de agosto de 2007 a julho de 2008. Analisaram os parâmetros que compõem o IQA, separadamente, relacionando-os com o uso e ocupação do solo. Tais parâmetros foram avaliados em termos de correlação de Spearman (r_s) com o IQA. Nos pontos 1 e 2 observaram que a concentração de coliformes termotolerantes contribuiu na classificação do índice. Além disso, a concentração de fósforo e nitrogênio aumenta no verão, sendo assim o valor do IQA varia de acordo com as estações do ano.

O presente trabalho diferencia-se dos demais por abranger mais municípios, todas as bacias hidrográficas de Minas Gerais, pela preocupação com a relação socioeconômica e a qualidade da água, além de ser mais recente por fazer referência ao ano de 2010.

METODOLOGIA

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

Essa técnica expressa à estrutura de variância e covariância por meio de (poucas) combinações lineares das variáveis originais em estudo. Essas combinações lineares chamadas de componentes principais, não são correlacionadas entre si (ortogonais), e são ordenadas pela parcela da informação total que cada componente retém. Assim, os componentes principais permitem reduzir e classificar os dados originais mantendo a maior parte das informações (MINGOTI, 2007). Considerando que a matriz de correlação C possui os pares de autovalores $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ e autovetores $(\lambda_1, \mathbf{e}_1), (\lambda_2, \mathbf{e}_2), \dots, (\lambda_p, \mathbf{e}_p)$, tal que $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p > 0$, e o vetor aleatório é $\mathbf{X}' = [X_1, X_2, \dots, X_p]$, então os componentes principais são:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= \mathbf{a}'_1 \mathbf{Z} = a_{11}Z_1 + a_{12}Z_2 + \dots + a_{1p}Z_p \\
 Y_2 &= \mathbf{a}'_2 \mathbf{Z} = a_{21}Z_1 + a_{22}Z_2 + \dots + a_{2p}Z_p \\
 &\vdots \\
 Y_p &= \mathbf{a}'_p \mathbf{Z} = a_{p1}Z_1 + a_{p2}Z_2 + \dots + a_{pp}Z_p
 \end{aligned} \tag{2}$$

sendo $Var(\mathbf{a}'_i \mathbf{Z}) = \mathbf{a}'_i \mathbf{C} \mathbf{a}_i$, $Cov(Y_i, Y_k) = \mathbf{a}'_i \mathbf{C} \mathbf{a}_k$, $\forall i, k = 1, 2, \dots, p$. A padronização de cada variável do vetor aleatório \mathbf{X}' , $Z_k = (X_k - \mu_k) / \sqrt{\sigma_{kk}}$, retira a influência de sua escala na formação dos componentes.

As combinações lineares, Y_1, Y_2, \dots, Y_p , não são correlacionadas (ortogonais) e suas variâncias são as maiores possíveis (JOHNSON; WICHERN, 2002). Ou melhor, o i -ésimo componente ($Y_i = \mathbf{a}'_i \mathbf{X}$) maximiza $Var(\mathbf{a}'_i \mathbf{X})$ sujeito a $\mathbf{a}'_i \mathbf{a}_i = 1$ e $\mathbf{a}'_i \mathbf{a}_k = 0$:

$$\max_{\mathbf{a}'_i \mathbf{a}_i = 1} \frac{\mathbf{a}'_i \mathbf{C} \mathbf{a}_i}{\mathbf{a}'_i \mathbf{a}_i} = \lambda_i = \frac{\mathbf{e}'_i \mathbf{C} \mathbf{e}_i}{\mathbf{e}'_i \mathbf{e}_i} = \mathbf{e}'_i \mathbf{C} \mathbf{e}_i = Var(Y_i) \quad \because \mathbf{a}_i = \mathbf{e}_i, \mathbf{e}'_i \mathbf{e}_i = 1$$

(3)

$$COV(Y_i, Y_k) = \mathbf{e}'_i \mathbf{C} \mathbf{e}_k = \mathbf{e}'_i \lambda_k \mathbf{e}_k = \lambda_k \mathbf{e}'_i \mathbf{e}_k = 0 \quad \because \mathbf{C} \mathbf{e}_k = \lambda_k \mathbf{e}_k, \mathbf{e}'_i \mathbf{e}_k = 0$$

Portanto, $\mathbf{a}_1 = \mathbf{e}_1, \mathbf{a}_2 = \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{a}_p = \mathbf{e}_p$, tal que $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p > 0$. Ou seja, o componente Y_1 retém a maior parcela de variância possível de C , seguindo similarmente de Y_2 até Y_n . Pelo resultado do teorema espectral, o somatório das variâncias do sistema padronizado de dados é o mesmo que o somatório da variância dos componentes principais:

$$\sum_{k=1}^p Var(Z_k) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p = \sum_{i=1}^p Var(Y_i) \quad (4)$$

Assim, a proporção do i -ésimo componente mais representativo é definida como:

$$\% Var(Y_i) = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \times 100 \quad (5)$$

A partir da equação (5) é possível selecionar um número mínimo de componentes necessários para expressar uma grande parte da variância total das variáveis originais. A interpretação dos componentes formados pode ser feita com base nos coeficientes do vetor \mathbf{a}_k atribuídos a cada variável, ou melhor, sobre os pesos das variáveis. Os pesos das variáveis (*loading*) correspondem à carga ou importância de cada variável para o valor de cada componente principal. As variáveis mais importantes são as de maiores pesos, negativos ou positivos. O sinal indica se a correlação é positiva ou negativa (JOHNSON; WICHERN, 2002; MINGOTI, 2007).

ANÁLISE DE CLUSTER

A análise de *clusters* busca descobrir agrupamentos naturais de indivíduos (ou variáveis) a partir dos dados observados, agrupando indivíduos com base na similaridade ou distâncias (dissimilaridades) (JOHNSON; WICHERN, 2002). Dessa maneira, essa técnica busca maximizar a

homogeneidade de indivíduos dentro de grupos, ao mesmo tempo em que se maximiza a heterogeneidade entre os grupos (MINGOTI, 2007). O critério de agrupamento dos indivíduos se dá com base na sua proximidade, indicada por uma métrica de similaridade. Nesse trabalho, utiliza-se a matriz de distância euclidiana ao quadrado para a formação natural dos grupos pelo método hierárquico e aglomerativo de Ward, o que significa dizer que as observações são agrupadas sequencialmente de acordo com suas semelhanças, formando subgrupos e grupos de acordo com as influências das suas similaridades encontradas em cada estágio.

Após a formação dos *clusters* é necessário identificar o número ideal de grupos, i.e., a partição natural dos elementos que são comparados e agrupados. Para tanto, utilizam-se as estatísticas Pseudo F e Pseudo T^2 , como sugerido por Calinski e Harabasz e por Duda e Hart, respectivamente. Em ambos os casos se considera o valor de máximo das estatísticas, pois ele se relaciona com a menor probabilidade de significância dos testes, ou seja, representa a rejeição da hipótese de igualdade dos vetores de médias, indicando que se não há tal igualdade os grupos não devem ser unidos para formarem um novo *cluster* (MINGOTI, 2007).

DADOS E ANÁLISE DESCRITIVA

O cálculo do IQA é feito a partir do período que se iniciou a coleta nos rios dos municípios do Estado de Minas Gerais estendendo-se do ano 2000 a 2012, atingindo um total de 376 municípios, número que não representa o total de cidades do estado. As estações de coleta se alteram ou porque novos pontos de análise foram criados ou porque novos municípios foram criados. Além disso, muitas vezes uma mesma estação de coleta abrange mais de um município devendo-se considerar a mesma informação para ambos. As estações podem possuir coletas trimestrais a mensais e assim é necessário calcular mais de um IQA por ano para cada ponto. Por este motivo trabalha-se com uma média do índice de forma a obter uma única informação de qualidade da água em cada um dos anos tanto para os municípios quanto para as bacias.

Além dos nove parâmetros para o cálculo do IQA as condições ambientais são representadas pelas variáveis Sólidos em Suspensão Totais (SST), representando os resíduos sólidos que geralmente são compostos pelo lixo da indústria e doméstico e Coliformes Termotolerantes (CT), elemento que prejudica a qualidade da água em razão do despejo de efluentes domésticos. Os dados de SST e CF e as informações para o cálculo do IQA foram retirados do Info Hidro disponibilizado pelo IGAM para o ano de 2010. Para esse ano também se faz a média do IQA e das variáveis CT e SST, para cada um dos municípios. Neste caso, alguns municípios foram excluídos do cálculo pelo fato de não possuírem todos os dados para o ano de 2010. Por isto o número de municípios reduz-se a 337.

As variáveis, que indicam os fatores socioeconômicos foram retiradas do Censo Demográfico 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). São elas EXP_VIDA e MORT que representam a expectativa de vida e mortalidade de cada local; IDHM que indica o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal sendo composto por informações de renda, educação e longevidade; TX_ANALF que sugere a taxa de analfabetismo; PPOB indicando a proporção de indivíduos vulneráveis à pobreza e TX_URB que mostra a taxa de urbanização (população urbana / população total) de cada município.

A média dos valores do índice de qualidade da água (IQA) para os anos, 2000 a 2012, mostra a evolução da qualidade da água ao longo do período. Os valores do IQA, em geral, confirmam o encontrado por Ávila e Monte-Mór no ano 2000, pois apesar da pequena evolução em relação à

qualidade da água, os corpos d'água continuam sendo prejudicados pelo aumento da produção industrial, urbanização e falta de infraestrutura. Dentre os 376 municípios, pouco mais da metade apresentou evolução do IQA, como por exemplo, Chapada Gaúcha que aumentou de 42,7 para 65,8, saindo da faixa de classificação ruim para a média, Coronel Murta de 63,1 para 74,7, Turmalina de 63,1 para 77,4 e Santana do paraíso de 56,0 para 76,8, estes últimos de qualidade média passaram para a qualidade boa.

Outros municípios mostraram grande salto no valor de seu índice, apesar de permanecerem em qualidades não tão boas, como Juiz de Fora que possuía IQA de 48,6 no ano de 2000 e foi para 58,2 em 2012, indo da qualidade ruim para a média, Visconde de Rio Branco que sai da faixa de muito ruim para a ruim com aumento do IQA de 18,8 para 36,0 e Ubá que continua na faixa ruim, mas há evolução do índice indo de 26,3 para 42,9. A classificação de Ubá confirma o exposto em Carvalho, Ferreira e Stapelfeldt (2004), visto que Ubá, no ano de 2003, possuía qualidade ruim em alguns pontos de coleta como consequência das atividades humanas que geram degradação da água, principalmente, pelos efluentes industriais. Alguns municípios ficaram estagnados quanto ao valor do IQA, não apresentando aumentos ou reduções significativas.

A Tabela 1 fornece as informações das bacias em termos de qualidade da água (IQA), Coliformes Termotolerantes (CT) e Sólidos em Suspensão Totais (SST), cujos resultados foram calculados pela média das variáveis do grupo de municípios pertencente a cada bacia. Em linhas gerais, observa-se um crescimento da qualidade da água na maioria das bacias mineiras entre 2000 e 2010. Entre essas bacias, existem diversas razões que justifiquem variados graus de qualidade da água.

Por exemplo, as Bacias do Leste não possuem dados para o ano 2000, porém é possível perceber que a sua qualidade da água é razoavelmente boa, justamente por ser classificada em 2010 próxima a média do IQA de outras bacias. A moderada qualidade se associa aos efluentes nos corpos hídricos, frequentemente gerados por diversas atividades econômicas ali próximas (e.g., agropecuária, reflorestamento, turismo, lapidação de pedras preciosas, pecuária, geração de energia, abastecimento público e industrial, e piscicultura) (EUCLYDES et al, 2011). Por sua vez, a Bacia do Rio Jequitinhonha permanece na qualidade média da água, mas apresenta um aumento no valor do índice no período. A bacia apresenta falta de infraestrutura e baixo grau de urbanização no seu entorno, por vezes influenciados pelo êxodo rural da região (CEMIG, 2014). Já a Bacia do Rio Doce apresenta uma leve melhora no valor do índice de qualidade da água, mas ainda permanece na classificação de qualidade média. Em seu entorno, os setores que possuem maior destaque são: siderurgia, metalurgia, extrativa mineral, álcool, reflorestamento, mecânica, química, alimentícia, têxtil, curtume e agricultura, o que pode ajudar na baixa qualidade da água (CEMIG, 2014). Por seu turno, a bacia do Rio Grande também apresenta classificação de qualidade média da água, porém o valor do IQA decresce um pouco do ano 2000 para 2010. Trata-se de uma bacia localizada na divisa dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, o que indica alta atividade econômica na região, além de ter grande potencial na geração de energia hidrelétrica (CEMIG, 2014). Assim como esta, a Bacia do Rio Paraíba do Sul possui qualidade da água classificada como média e o índice sofre queda entre os dois anos, o que se deve à bacia também estar localizada em uma das regiões mais habitadas e industrializadas do país (CONHECENDO A GEOGRAFIA, 2009). A Bacia do Rio Paranaíba se mantém na qualidade média e seu IQA sofre uma ligeira redução, isto pode ter ocorrido face ao seu potencial hidrelétrico e à exploração de atividades diamantíferas (CEMIG, 2014).

A Bacia do Rio Pardo apresenta a pior evolução, pois o índice de qualidade da água cai de forma significativa, saindo da classificação boa para a média. Nas proximidades dessa bacia há fontes de

geração de efluentes nos corpos hídricos, como as atividades da pecuária, agricultura, do extrativismo vegetal e mineração, além de pequenas indústrias (CEMIG, 2014). A Bacia do Rio São Francisco se manteve quase no mesmo patamar de qualidade da água, sendo que seu índice é classificado como qualidade média. Geralmente essa bacia é usada para a irrigação, navegação, suprimento de água, pesca e aquicultura e geração de energia (AMBIENTE BRASIL, 2014). Por outro lado, a Bacia do Rio Mucuri revela uma boa melhora na qualidade da água, quase saindo do patamar de qualidade média para a boa. Ao seu redor há atividades de reflorestamento, turismo e principalmente a lapidação de pedras preciosas (CEMIG, 2014).

Na tabela 1, observam-se algumas características das bacias hídricas que apresentam qualidades da água diferenciadas, muitas vezes, explicadas pelas suas localizações e proximidades com certas atividades econômicas, que as degradam.

RESULTADOS

A tabela 2 apresenta os resultados gerais da ACP para os municípios no ano de 2010, destacando a contribuição individual e acumulada dos componentes principais. Cabe ressaltar que o método ACP fornece um número de componentes principais igual ao número de variáveis originais. Todavia, é conveniente considerar um número mínimo de componentes que contenha a maior parte da variabilidade do vetor aleatório. De acordo com a tabela 2, os quatro primeiros componentes representam em conjunto 87% da variabilidade dos dados. O primeiro componente, que representa 54% da variância, capta nitidamente as direções semelhantes e opostas entre as variáveis aleatórias, especialmente se comparadas em relação à qualidade das bacias hidrográficas (IQA). Assim, de um lado, observa-se que a qualidade hidrográfica é maior em municípios onde existem um tratamento de água e esgoto (AGU_ESG), alto nível de pobreza (PPOB), de analfabetismo (TX_ANALF) e alta taxa de mortalidade (MORT).

TABELA 1 - Média das variáveis de qualidade da água nas bacias

Bacias	Ano 2000			Ano 2010		
	IQA	CT	SST	IQA	CT	SST
Bacias do Leste	-	-	-	56.0	28994.8	66.9
Rio Doce	62.9	12474.5	47.9	65.3	18240.7	11.0
Rio Grande	59.4	13042.1	85.1	58.9	21683.9	83.8
Rio Jequitinhonha	64.3	1274.7	183.1	67.6	11804.8	17.1
Rio Mucuri	64.3	19130.2	40.0	69.1	17693.3	29.0
Rio Paraíba do Sul	58.4	27143.9	37.2	55.9	25578.0	69.4
Rio Paranaíba	67.6	4781.8	69.5	66.9	8610.5	16.6
Rio Pardo	74.2	354.6	14.5	67.9	3804.2	6.9
Rio São Francisco	60.3	14497.3	128.1	61.3	21297.5	41.2

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota: As Bacias do Leste não contém dados para o ano 2000 devido a falta de informações nos pontos de coleta.

Algumas dessas variáveis estão presentes em municípios economicamente pequenos e de baixa taxa de urbanização, onde forças desaglomerativas às atividades econômicas e humanas prevalecem. Essa assertiva é ratificada pelos sinais negativos dos coeficientes das variáveis como expectativa de vida (EXP_VID), desenvolvimento humano (IDHM) e taxa de urbanização (TX_URB), que conjuntamente expressam o grau de desenvolvimento econômico dos municípios mineiros. Assim, municípios que apresentam um alto grau de desenvolvimento local por esses três critérios parecem emitir coliformes termotolerantes, bactérias indicadoras de poluição por esgotos domésticos, e, conseqüentemente, afetam negativamente a qualidade hidrográfica. Trata-se, portanto, de um componente de qualidade da água que é afetada pelo desenvolvimento econômico.

Por seu turno, o segundo componente praticamente é formado por cargas significativas das propriedades químicas de poluição sobre as bacias hidrográficas. Por essa razão, o mesmo é denominado como Índice de poluição sobre a Qualidade da Água, que representa 17% da variância total dos dados. Neste componente principal, tanto os sólidos em suspensão totais (SST) – lixo oriundos da indústria e residências – quanto o volume de coliformes termotolerantes (CT) apresentam sinais opostos a qualidade das águas (IQA). Uma vez que o tratamento de água e esgoto (AGU_ESG) também revelou uma correlação positiva, os resultados parecem sinalizar que os lixo que mais afetam a qualidade da água são das residências nos municípios mineiros, devido ao tratamento inadequado da rede de esgoto. Já o terceiro componente apresenta uma correlação negativa com o volume de coliformes termotolerantes (CT), taxa de urbanização (TX_URB) e taxa de mortalidade (MORT). Esse componente procura evidenciar a poluição de coliformes termotolerantes ou fecais, geralmente mais presentes em certos municípios com alto grau de urbanização e de alta taxa de mortalidade. Como o coeficiente da qualidade da água (IQA) foi relativamente baixo, essas evidências parecem retratar para alguns casos entre 337 municípios.

TABELA 2 – ACP dos municípios em 2010*

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
IQA	0.22	-0.60	0.10	0.10
CT	-0.16	0.58	-0.37	-0.36
SST		0.46	0.74	0.39
AGU_ESG	0.31	0.17	0.11	
PPOB	0.40			
TX_ANALF	0.39			-0.10
MORT	0.36	0.17	-0.31	0.38
EXP_VID	-0.37	-0.15	0.29	-0.34
TX_URB	-0.30		-0.31	0.64
IDHM	-0.40			0.14
Proporção individual	0.54	0.17	0.09	0.07
Proporção acumulada	0.54	0.71	0.80	0.87

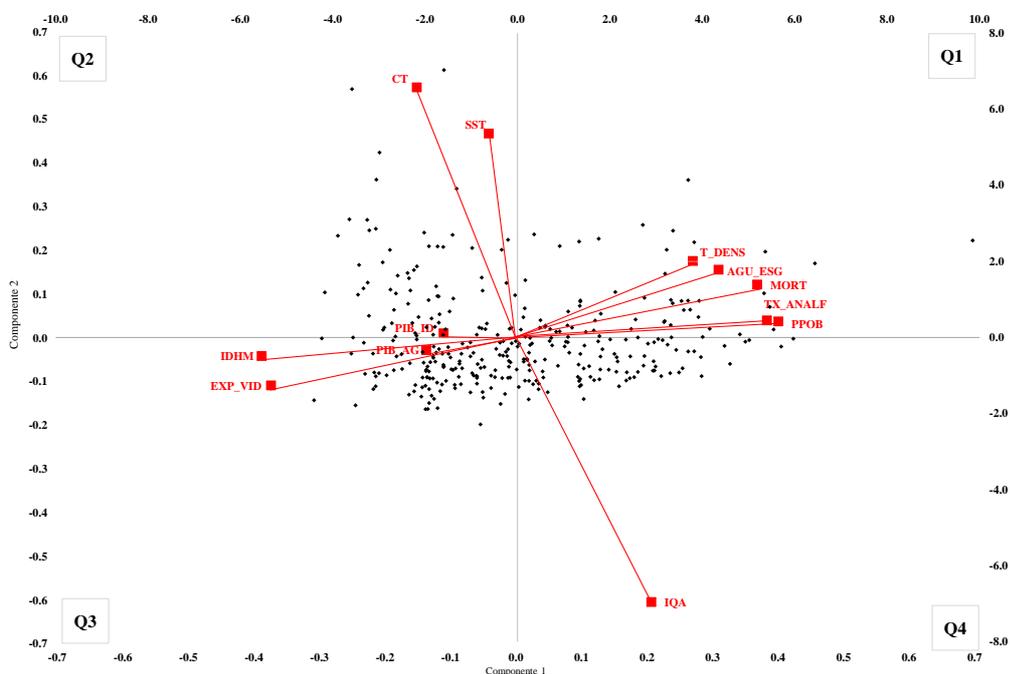
Fonte: Resultados da pesquisa

* Os valores ocultos situam-se abaixo de 0,10, exceto para a variável IQA.

Após as descrições dos componentes principais de maior variância, é possível realizar uma representação gráfica a fim de averiguar a dispersão e distribuição dos escores municipais sobre os dois primeiros componentes. A análise consiste em descrever as características de cada quadrante cartesiano no gráfico 1, que, em última instância, ajuda na própria classificação e caracterização dos municípios na análise de *cluster*.

No quadrante superior direito (Q1) estão os municípios (escores) com alto nível de pobreza, de analfabetismo e alta taxa de mortalidade, porém possuem um sistema de água e esgoto e emitem certos volumes de poluição. Tal caracterização é mais evidente para os municípios de Águas Vermelhas, Pai Pedro, Ponto Chique, Francisco Badaró e São João da Ponte. Por sua vez, no quadrante superior esquerdo (Q2), estão os municípios com alta emissão de lixos oriundos da indústria e residências (SST) e de poluição de coliformes termotolerantes (CT). Esses municípios apresentam alta taxa de urbanização e revelam certo grau de desenvolvimento local, porém um precário sistema de água e esgoto. Os municípios Pratápolis, São Gonçalo do Pará, Boa Esperança, Baependi e Itaúna são exemplos desse quadrante. Já no quadro inferior esquerdo (Q3) concentram-se os municípios com maior grau de urbanização e desenvolvimento local. Apresentam alta qualidade hidrográfica por emitirem menos lixos e coliformes termotolerantes, se comparados aos municípios situados no (Q2), entretanto possuem deficiências no sistema de água e esgoto. Nesse quadrante se destacam os municípios de Uberlândia, Itajubá, Passos, Poços de Caldas, Varginha e Barbacena. Por fim, no quadrante inferior direito (Q4) encontram-se os municípios que exibem forças desaglomerativas em suas economias, um bom sistema de água e esgoto e alta qualidade hidrográfica, justamente por poluírem relativamente menos aos municípios de outros quadrantes. Os principais municípios com essas características são: Barra Longa, São Domingos do Prata e São Sebastião do Rio Preto. Perante as análises exploratórias realizadas, cabe mencionar que a existência de sistema de água de esgoto bom ou ruim está relacionada com as características e tamanho das economias. Ou melhor, é esperado que o requerimento desse sistema em economias com um grau maior de urbanização e desenvolvimento seja maior, o que pode levar, por vezes, à sua insuficiência.

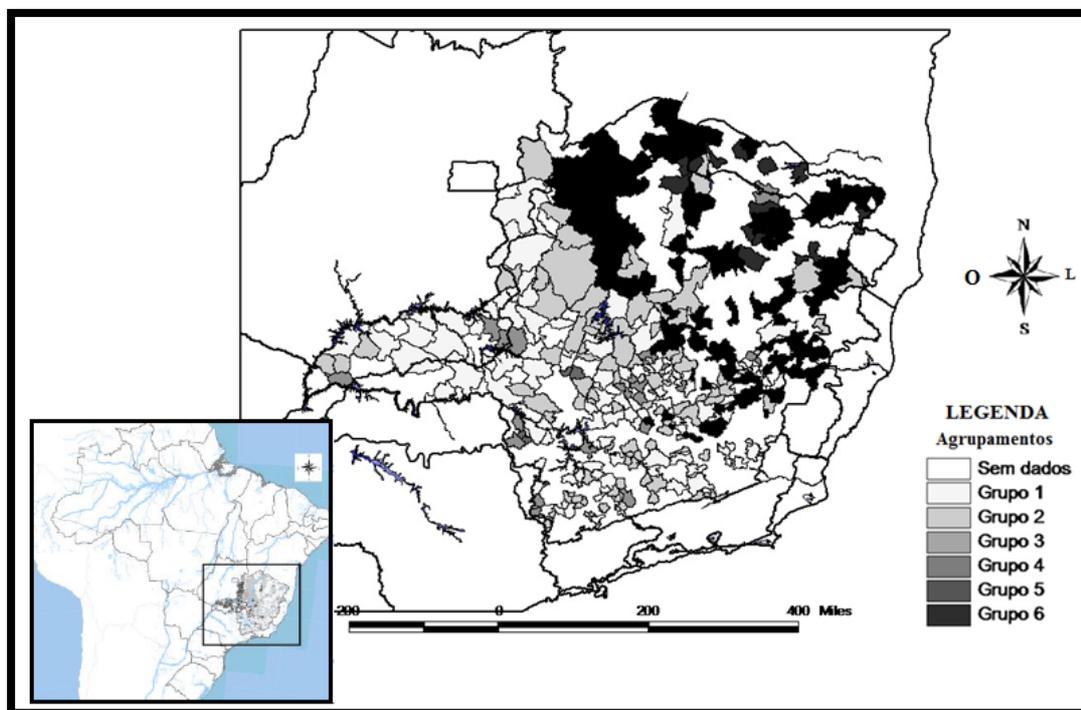
GRÁFICO 1 – Distribuição dos municípios entre os dois primeiros componentes



Fonte: Resultados da pesquisa.

Para auxiliar a tipologia que evidencia as características dos municípios mineiros e a qualidade das bacias hidrográficas em Minas Gerais, adota-se a análise de *Cluster*. Alguns indicadores estatísticos apontam que a partição final é de seis grupos distintos. Desta forma, os 337 municípios analisados estão divididos em seis grupos com características distintas (Tabela 3). O mapa da Figura 1 ilustra a distribuição espacial dos agrupamentos. Esses grupos podem ser associados com os quadrantes evidenciados no Gráfico 1.

FIGURA 1 – Distribuição espacial dos grupos no Estado de Minas Gerais



Fonte: elaborado pelo autor

Em linhas gerais, o primeiro grupo é formado por 99 municípios mineiros, o que representa 29,38% do total de observações. Nesse grupo estão os municípios que na média apresentam o melhores e mais altos índices de desenvolvimento humano (IDHM), expectativa de vida (EXP_VID) e taxa de urbanização (TX_URB) e menor índice de mortalidade (MORT) e proporção de pobreza (PPOB), bem como contêm intermediária qualidade de água entre os demais grupos, com IQA variando de 36,28 na faixa de qualidade ruim até 72,75 com a qualidade boa. Comparando com o Gráfico 1, esse grupo se espalha entre os quadrantes 2 e 3, com certa predominância no terceiro, justificando-se a participação de municípios como Uberlândia, Itajubá, Passos, Poços de Caldas, Varginha e Barbacena.

Por seu turno, o segundo grupo atinge 29,67% dos dados, sendo que seus 100 municípios tem como características uma média de qualidade de água não muito ruim com IQA variando de 45,68 a 79,30 e uma menor concentração de coliformes (CT) e sólidos em suspensão (SST). Os indicadores socioeconômicos (desenvolvimento) ainda são bons e por isto, a maioria dos municípios também está localizada no Q3, quadrante que indica os municípios com maior grau de urbanização e desenvolvimento local, como por exemplo, Itumirim, Itutinga, Itabirito, Pirapora, Lagoa da Prata e Ouro Preto. Apesar disso, este grupo espalha-se por todos os quadrantes.

TABELA 3 – Estatísticas descritivas do IQA por grupos formados em 2010

Grupo	Observações	Indicadores	iqa	ct	sst	agu_esg	ppob	t_analf	mort	expvid	t_urb	idhm
1	99	Média	57,27	23962,29	56,35	0,67	23,79	8,63	13,24	76,43	0,87	0,73
		Desvio padrão	7,38	20403,51	53,30	0,74	6,12	2,67	1,21	0,79	0,09	0,03
		Mínimo	36,38	773,75	8,25	0,00	12,41	3,92	10,35	74,99	0,50	0,67
		Máximo	72,75	84000,00	308,25	4,22	41,44	14,98	15,42	78,15	1,00	0,79
2	100	Média	62,27	9825,47	57,29	1,90	34,70	12,67	15,55	74,89	0,71	0,69
		Desvio padrão	5,30	9295,90	58,62	2,65	7,91	3,47	1,73	1,10	0,15	0,02
		Mínimo	45,58	166,67	6,00	0,00	16,30	4,92	11,50	72,21	0,32	0,63
		Máximo	79,30	43475,00	358,75	15,42	52,98	21,04	20,00	77,67	0,99	0,741
3	25	Média	43,73	96069,75	65,17	1,18	27,84	11,24	15,73	74,84	0,83	0,70
		Desvio padrão	7,85	34635,82	35,05	1,71	11,62	5,25	2,55	1,64	0,14	0,03
		Mínimo	22,55	14349,20	11,25	0,00	10,77	4,81	11,50	72,06	0,39	0,63
		Máximo	56,20	160000,00	132,75	6,12	51,69	24,64	20,30	77,69	0,98	0,76
4	4	Média	40,85	44993,75	757,13	0,51	26,73	13,32	13,80	76,12	0,75	0,70
		Desvio padrão	19,57	42962,08	59,32	0,19	5,55	2,81	2,90	1,90	0,12	0,03
		Mínimo	23,90	7787,50	705,75	0,30	21,84	10,54	11,80	73,31	0,61	0,67
		Máximo	57,80	82200,00	808,50	0,72	34,67	15,99	18,10	77,49	0,88	0,73
5	14	Média	64,56	17476,12	33,68	15,54	67,42	37,13	21,73	71,66	0,41	0,59
		Desvio padrão	7,61	23931,68	54,65	7,15	7,16	5,49	5,34	1,87	0,15	0,03
		Mínimo	49,85	692,50	4,00	6,25	56,27	27,84	17,00	67,11	0,23	0,54
		Máximo	75,81	80130,00	193,50	28,26	78,72	46,17	38,14	73,97	0,70	0,63
6	95	Média	67,13	8675,93	53,66	6,17	54,23	22,53	18,05	73,35	0,61	0,63
		Desvio padrão	5,35	11422,12	89,42	5,20	8,40	5,78	1,86	1,09	0,16	0,02
		Mínimo	52,19	177,50	5,25	0,19	31,02	5,73	13,90	69,63	0,27	0,58
		Máximo	79,03	54500,00	539,25	24,29	73,67	34,13	25,00	75,93	0,91	0,70

Fonte: Resultados da pesquisa.

Já o grupo 3 possui 25 municípios representando 7,42% dos dados. Tem como característica um dos piores níveis das médias do índice de qualidade da água (IQA), variando de 22,25 com qualidade muito ruim até 56,20 na qualidade média. Este fato pode justificar-se pela alta concentração de coliformes termotolerantes (CT), a maior média dentre os grupos, além da alta taxa de urbanização (TX_URB) e do elevado índice de desenvolvimento humano (IDHM). Os municípios deste grupo espalham-se pelos quadrantes 1, 2 e 3, mas sua maior concentração é no Q2, como São Gonçalo do Pará, Boa Esperança, Baependi e Itaúna.

O grupo 4 representa apenas 4,15% da amostra e é composto por quatro municípios, Estrela do Indaiá, Fortaleza de Minas, Pratápolis e Santa Rosa da Serra. Ele apresenta a pior qualidade da água (IQA) entre as médias dos grupos, percorrendo da faixa de qualidade muito ruim com IQA de 23,90 à qualidade média com IQA de 57,80. Possui o pior índice de tratamento de água e esgoto assim como a maior concentração de sólidos em suspensão (SST), além de alta concentração de coliformes termotolerantes (CT). Apesar disto, o grupo apresenta bons indicadores de desenvolvimento, como menor proporção de pobreza (PPOB) e mortalidade (MORT) e alta expectativa de vida (EXP_VID). O grupo localiza-se apenas no segundo quadrante, Q2.

Os municípios Águas Vermelhas, Pai Pedro, Francisco Badaró e São João da Ponte representam o quinto cluster que possui um total de 14 municípios e é composto por 4,15% da amostra. É caracterizado pelas piores médias dos indicadores socioeconômicos, como baixo índice de desenvolvimento humano (IDHM), taxa de urbanização (T_URB) e menor expectativa de vida (EXP_VID), além de alta proporção de pobreza (PPOB), analfabetismo (T_ANALF) e mortalidade (MORT). Apesar disto, apresenta IQA de 64,56, sendo a segunda melhor média de qualidade da água entre os seis grupos, o que pode ser justificado pelos ótimos valores para a concentração de sólidos em suspensão (SST) e o melhor índice de tratamento de água e esgoto (AGU_ESG). Os municípios se espalham entre os quadrantes 1 e 4, mas está mais presente no Q1.

O último grupo, de número 6, apresenta 28,19% dos dados, possuindo 95 municípios que mostram a melhor média de qualidade da água entre os demais, com IQA de 67,13 que pode variar de 52,19 com a classificação de qualidade média à 79,03 com qualidade boa. Tal fato pode ser associado ao grupo apresentar o melhor e menor valor para a concentração de coliformes termotolerantes (CT), além de baixa concentração de sólidos em suspensão (SST) e bom índice de tratamento de água e esgoto (AGU_ESG). Em contraposição, ele possui valores ruins para os fatores socioeconômicos como alta taxa de analfabetismo (T_ANALF), mortalidade (MORT) e proporção de pobreza (PPOB) além de baixo índice de desenvolvimento humano (IDHM), taxa de urbanização (T_URB) e menor expectativa de vida (EXP_VID). O grupo está distribuído entre os quadrantes 1 e 4, mas a maior concentração de municípios é no Q4, tais como: Barra Longa e São José do Rio Preto.

CONCLUSÕES

Por meio deste estudo sobre os fatores socioeconômicos e a qualidade da água dos municípios do estado de Minas Gerais observa-se que a qualidade da água é influenciada pela vulnerabilidade à pobreza, taxa de analfabetismo, mortalidade, tratamento inadequado de água e esgoto, expectativa de vida, urbanização, características relacionadas ao desenvolvimento socioeconômico da região. Na análise de agrupamentos dos municípios mineiros, a formação dos *clusters* confirmou a constatação de que a qualidade da água depende de um bom sistema de tratamento de água e esgoto e este está relacionado às características e tamanhos das economias, sendo assim em economias mais desenvolvidas há maior pressão sobre o uso dos recursos hídricos, o que pode levar a insuficiência do sistema.

Em uma análise para o índice de qualidade da água (IQA) ao longo do tempo para os municípios e bacias hidrográficas de Minas Gerais verifica-se que um pouco mais da metade dos municípios apresentam evolução quanto à qualidade e que as bacias também evoluem, mas observa-se que muitos municípios ainda sofrem com as atividades antrópicas realizadas no entorno das localidades.

No geral, é possível observar que a maioria das alterações nos valores para a qualidade da água não são muito boas, pois ao longo dos anos ocorreram muitas mudanças em volta dos corpos d'água. Assim como em Ávila e Monte-Mór (2007), percebe-se que os processos de urbanização e industrialização estão relacionados com a poluição da água, em que municípios com maior população e produção industrial tendem a ter pior qualidade de água devido a problemas com efluentes das indústrias e esgoto despejados nos corpos d'água, além de problemas com infraestrutura. Portanto, as atividades econômicas podem gerar degradação do meio ambiente quando não são desenvolvidas da maneira correta ou quando o crescimento populacional impulsiona o rápido crescimento urbano acarretando em problemas socioeconômicos e de

infraestrutura, que podem influenciar na qualidade da água tornando-a prejudicada e inadequada ao consumo humano.

Diante da importância da água e os problemas decorrentes da sua má utilização, trabalhos como este podem ser relevantes na promoção de políticas públicas. Geralmente os locais com melhores indicadores socioeconômicos são os pontos que possuem as piores condições hídricas. Desta forma, os promotores de políticas públicas podem usar o estudo como base para a identificação daqueles que necessitam de maior atenção para a melhoria da qualidade da água. Assim, podem evitar o uso desnecessário de recursos, investindo em maior quantidade os recursos de infraestrutura e educação ambiental nas áreas mais prejudicadas.

REFERÊNCIAS

- AMBIENTE Brasil. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/bacias_hidrograficas/a_bacia_do_rio_sao_francisco.html>. Acesso em: 10 de junho de 2014.
- ÁVILA, J. L. T.; MONTE-MÓR, R. L. M. Urbanização e Impactos Ambientais: Uma análise da Relação entre as características dos espaços urbanos e a poluição hídrica na Região do Médio Rio Doce (MG). **VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**. Fortaleza, novembro de 2007.
- CAMINHO das águas. [Bacias Hidrográficas]. Disponível em: <http://www.caminhoaguas.org.br/bacias/paraiba_do_sul.html>. Acesso em: 10 de junho de 2014.
- CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da Atividade Agropecuária com Parâmetros Físicos Químicos da Água. **Química Nova**, v.23, n.5, p. 618-622, 2000.
- CARVALHO, C. F.; FERREIRA, A. L.; STAPELFELDT F. Qualidade das Águas do Ribeirão Ubá – MG. **REM: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.57, n.3, p. 165-172, jul./set., 2004.
- COMPANHIA Ambiental do Estado de São Paulo-CETESB. **Índice de qualidade das águas**. 2009. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guasSuperficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das%C3%81guas-\(iqa\)](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guasSuperficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das%C3%81guas-(iqa))>. Acesso em 24 de abril de 2014.
- CONHECENDO a geografia. [Bacias Hidrográficas]. 23 de maio de 2009. Disponível em: <<http://alcanceageografia.blogspot.com.br/2009/05/bacia-hidrografica-do-rio-paraiba-do.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2014.
- EUCLYDES *et al.*. **Atlas digital das Águas de Minas**, 3ª edição, 2011s. Disponível em: <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/leste/resumo_leste.html>. Acesso em 10 de junho de 2014.
- GOMES, M. A. F. **Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã**. Março de 2011. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2014.
- GRASSI, M. T. **As águas do Planeta Terra**. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola. Edição especial – maio 2001.

- HARDIN, G. The Tragedy of the Commons. **Science**, v.162, pp.1243-1248, 1968.
- INSTITUTO Mineiro de Gestão das Águas. Portal Meio Ambiente. MG. [Enquadramento]. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/enquadramento>> Acesso em: 10 de junho de 2014.
- JOHNSON, R.; WICHERN, D. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 5th. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 2002.
- LOPES, F. B. *et al.*. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista Ciência Agronômica**, Universidade Federal do Ceará. V.39, n. 3, p. 392-402, jul./set., 2008.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1**, 05 de Maio de 2008.
- MINGOTI, S. A.. **Análise de dados de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.
- PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**. IPH – UFRGS. V.1, n.1. p. 20-36. 2004. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/informacoes/rerh.pdf>>. Acesso em: 27 de maio de 2014.
- PIASENTIN, A. M. *et al.*. Índice de Qualidade da Água (IQA) do Reservatório Tanque Grande, Guarulhos (SP): Análise Sazonal e Efeitos do Uso e Ocupação do Solo. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 28, n. 3, p. 305-317, 2009.
- PINTO, D. B. F. *et al.*. Qualidade da Água do Ribeirão Lavrinha na Região Alto Rio Grande – MG, Brasil. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1145-1152, jul./ago. 2009.
- RODRIGUES, S. C.; PRADO, I.M.M. Agentes poluidores de águas. **Arq. Apadec**, v.8, n.2, pp.40-45, 2004. Disponível em: <<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/20549/10785>> Acesso em: 27 de maio de 2014.
- SAAD, A. R. *et al.* Índice de Qualidade da Água – IQA do Reservatório do Tanque Grande, Município de Guarulhos, Estado de São Paulo, Brasil: 1990 – 2006. **Revista UNG – Geociências**, v.6, n.1, p 118-133, 2007.