

AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS FÍSICAS E DE QUALIDADE DAS ÁGUAS EM RESERVATÓRIOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS DE MINAS GERAIS PARA GESTÃO DAS ÁGUAS NO ESTADO.

ASSESSMENT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PHYSICAL VARIABLES AND WATER QUALITY IN RESERVOIRS OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS IN MINAS GERAIS STATE SEEKING WATER MANAGEMENT.

Mariana d'Ávila Fonseca Paiva de Paula Freitas

Pós-graduanda do Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto SENAI de Tecnologia em Meio Ambiente - SENAI FIEMG. (marianadfreytas@gmail.com)

Ricardo Alexandrino Garcia

Doutor em Demografia / UFMG. Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. (alexandrinogarcia@gmail.com)

Resumo

A água é um recurso natural de usos múltiplos e essencial à manutenção da vida. A matriz energética do Brasil é predominantemente de origem hídrica, como pode ser observada no estado de Minas Gerais. O monitoramento de qualidade das águas, que é dispendioso e trabalhoso, gera um grande volume de dados. Os dados morfométricos são considerados relevantes na avaliação de eventos físico-químicos e biológicos e na compreensão da dinâmica dos reservatórios, sendo que não exigem um monitoramento constante como o da qualidade das águas. O presente trabalho se baseou nas informações disponíveis sobre qualidade de água e morfometria de reservatórios do Sistema de Informação de Qualidade da Água de dos Reservatórios (Siságua) da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), avaliando 29 ambientes. Os procedimentos estatísticos aplicados foram Análise de Agrupamento (*cluster*), para identificar os tipos de reservatórios, e Análise de Componentes Principais, a fim de selecionar as variáveis mais expressivas no conjunto das amostras. O resultado apontou que os parâmetros mais significativos, quanto à qualidade das águas, foram turbidez, condutividade, pH, transparência, DBO e sólidos dissolvidos totais, e quanto às morfométricas, área, perímetro, volume, tempo de residência, área de drenagem e vazão. Houve coincidência de parte de agrupamentos para as duas análises, e a qualidade das águas apresentou relação espacial. O trabalho contribui para a gestão dos reservatórios no Estado, uma vez que reuniu e organizou as informações disponíveis desses ambientes e estabeleceu relações entre a qualidade das águas e parâmetros morfométricos.

Palavras-chave: reservatórios, usinas hidrelétricas, gestão de recursos hídricos, qualidade de água, morfometria

Abstract

Water is a natural and essential resource for maintenance of life and multiple uses. The energy matrix in Brazil is predominantly hydroelectric, which prevails in Minas Gerais. Water quality monitoring, which is expensive and labor intensive, generates a large amount of data. Morphometric data are considered relevant in the evaluation of physical-chemical and biological events and for the understanding of reservoir dynamics, not requiring constant monitoring such as for water quality. The present work was based on water quality and reservoir morphometry data, available in the Reservoirs Water Quality Information System (Siságua) of the Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), assessing 29 water bodies. The applied statistical procedures were Cluster Analysis to identify reservoir types and Principal Component Analysis to select the most expressive variables in the sample set. The results showed that the most significant water quality parameters were turbidity, conductivity, pH, transparency, BOD and total dissolved solids, and the morphometric parameters were area, perimeter, volume, residence time, drainage area and flow rate. There was coincidence in part of the groupings for the two analyzes, and the water quality presented a spatial relationship. This work contributes to the management of reservoirs in the State since it systematized,

organized and ordered data, also establishing relationships between water quality and morphometric information.

Keywords: reservoirs, hydroelectric power station, water resources management, water quality, morphometry

Introdução e fundamentação teórica

A necessidade de conservação dos recursos hídricos é cada vez mais evidente. A escassez, a poluição, o assoreamento e os acidentes que interferem na qualidade e quantidade de água são noticiados com frequência. A população humana, bem como todo tipo de vida, é essencialmente dependente da água. No caso do homem, além do consumo próprio, este recurso garante outros usos, como navegação, irrigação, turismo, recreação e geração de energia hidrelétrica.

A rede hidrográfica do Brasil é rica, e a maior parte da energia do país é proveniente da energia hidrelétrica. A obtenção dessa energia resulta do aproveitamento do potencial hidráulico dos desníveis de cursos de água e é gerada pela passagem das águas pelas turbinas das usinas, transformando a potência hidráulica em mecânica. Na construção das usinas hidrelétricas, os cursos de água são barrados de forma que o volume de água seja retido em reservatórios e estes operem de acordo com a necessidade de geração de energia.

Estudos sobre reservatórios são relevantes no Brasil, devido à demanda nacional da hidroeletricidade. O monitoramento das águas é uma ferramenta para controle da qualidade e quantidade das águas, apoiando o gerenciamento desses ambientes. Segundo Lamparelli (2004), a existência de série histórica de monitoramento permite a avaliação da dinâmica do corpo de água e a interdependência de condições físicas, ambientais e socioeconômicas, estabelecendo diretrizes de ordenação de usos, investimentos e ações na bacia hidrográfica. Os monitoramentos, de forma ampla, geram um grande volume de dados que, por muitas vezes, se tornam subutilizados no mundo científico, ficando restritos ao cumprimento de leis. Além da falta de divulgação dessas informações, a não confiabilidade destas, seja por erros na coleta e armazenamento de dados, frequência insuficiente ou não padronização de métodos de análises, faz com que as séries de monitoramento não sejam estudadas.

A morfometria, que engloba a quantificação das dimensões físicas de um indivíduo, elemento ou sistema, nos ambientes aquáticos, permite a avaliação limnológica dos corpos de água, uma vez que influencia as dinâmicas física, química e biológica do sistema. Partindo-se dessa consideração, a morfometria, que é menos onerosa e de mais fácil obtenção, é uma alternativa para auxiliar na gestão e prever, por exemplo, quais ambientes são mais susceptíveis a situações recorrentes aos reservatórios, como eutrofização e contaminação.

No Estado de Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas, criado em 1997 e regulamentado, atualmente, em 2014 pelo Decreto de nº 46.636 (MINAS GERAIS, 2014), tem por “finalidade executar a política estadual de recursos hídricos e de meio ambiente formulada pela SEMAD, pelo CERH-MG e pelo COPAM”. O Instituto é responsável por planejar e promover ações direcionadas à preservação da quantidade e qualidade das águas no Estado. A gestão dos recursos hídricos é realizada pela outorga de direito e uso da água, pelos comitês de bacias hidrográficas, monitoramento de água, agências de bacias e planos de recursos hídricos (IGAM, 2017).

O monitoramento das águas superficiais é realizado no estado de Minas Gerais desde 1997, por meio do Projeto “Águas de Minas”, desenvolvido pelo IGAM. Atualmente a rede de coleta abrange cerca de 600 estações de amostragem (IGAM, 2017). A partir de 2005, o programa foi incrementado com o monitoramento das águas subterrâneas. O resultado desse monitoramento é armazenado em um banco de dados disponibilizado no portal do IGAM, por meio de relatórios e mapas com o índice de qualidade das águas.

A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) atua na geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Os dados de monitoramento de qualidade das águas dos reservatórios e cursos de água em que a empresa possui empreendimentos são armazenados no Sistema de Informação de Qualidade da Água dos Reservatórios da Cemig –

Siságua. Os dados são disponibilizados em uma plataforma *web* que permite a visualização e o *download* dos dados de coleta de água por reservatório.

O presente trabalho teve como propósito avaliar se as variáveis morfométricas correspondem à qualidade das águas, integrando dados ambientais com o uso de ferramentas estatísticas para analisar as características mais relevantes que interferem nos reservatórios de usinas hidrelétricas, de forma a criar um produto que subsidie a gestão e sistematização desses ambientes. A gestão integrada de reservatórios é importante não só para manter o potencial hidráulico da represa, como para minimizar os impactos gerados, seja no meio ambiente ou para os usos antrópicos, ordenar a ocupação do seu entorno e bacia de contribuição e criar programas ambientais.

Metodologia

Inicialmente, foi feita uma busca dos dados livres disponíveis, que possibilitaram definir a área de estudo de acordo com os reservatórios cadastrados no Sistema de Informação de Qualidade da Água dos Reservatórios (Siságua) da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig). Os dados de monitoramento são divididos em três regiões de coleta: subsuperfície, metade da zona fótica e fundo. A metade da zona fótica foi escolhida por abranger um maior número de parâmetros. Dos 44 reservatórios iniciais, seis não apresentaram dados de monitoramento na região de coleta selecionada e três estão fora de Minas Gerais, então, foram descartados da amostra, reduzindo para 35 corpos de água, conforme Figura 01. Em seguida, o desenvolvimento da pesquisa dividiu-se em duas linhas: uma referente aos dados de qualidade de água e outra aos da morfometria de cada reservatório.

Na etapa de dados de qualidade de água, foi feito o *download* de cada amostra disponível no *site* Siságua, em formato PDF, de todos os reservatórios que continham informações disponíveis. Cerca de 1200 arquivos em pdf foram baixados, de diferentes datas, desde o ano 1996 até 2016, e convertidos em planilhas do Excel, organizadas por reservatório. Foi avaliada a qualidade dos dados adquiridos (valores censurados, *outliers*). Alguns reservatórios e parâmetros apresentaram carência de dados e

claros erros de digitação, como, por exemplo, profundidade de 999 m, sendo descartados.

Quanto aos aspectos físicos, este estudo foi feito paralelamente à etapa de qualidade de água, que levou em consideração dados morfométricos de cada ambiente aquático. Algumas dessas informações foram disponibilizadas pela Cemig (área, volume, cota operativa, tempo de residência), outros dados (perímetro, altitude, correta localização), obtidos via sensoriamento remoto, e outros, calculados por meio de fórmulas matemáticas.

Após a organização dos arquivos disponíveis, fez-se a Análise de Componentes Principais (ACP) no *software* Statistica 8, de maneira distinta para as variáveis de qualidade da água e morfometria. A análise visa a selecionar as variáveis mais representativas e eliminar sobreposições. De acordo com Varella (2008), esta é uma:

técnica estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais. Os componentes principais apresentam propriedades importantes: cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados. A análise de componentes principais é associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação (VARELLA, 2008).

Após a seleção das variáveis pela ACP, foi utilizada a análise de agrupamento (*cluster*), também de maneira separada para as duas fontes de dados, por meio de distância Euclidiana, no programa Statistica 8. A análise de *cluster* tem por objetivo “agrupar elementos de dados baseando-se na similaridade entre eles. Os grupos são determinados de forma a obter-se homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre eles” (DONI, 2004). Por meio do agrupamento dos reservatórios, foram analisadas as características mais relevantes que conferiram homogeneidade aos grupos formados. Com o resultado de cada etapa, foi possível comparar se existe coerência nos resultados e quais são os ambientes semelhantes.

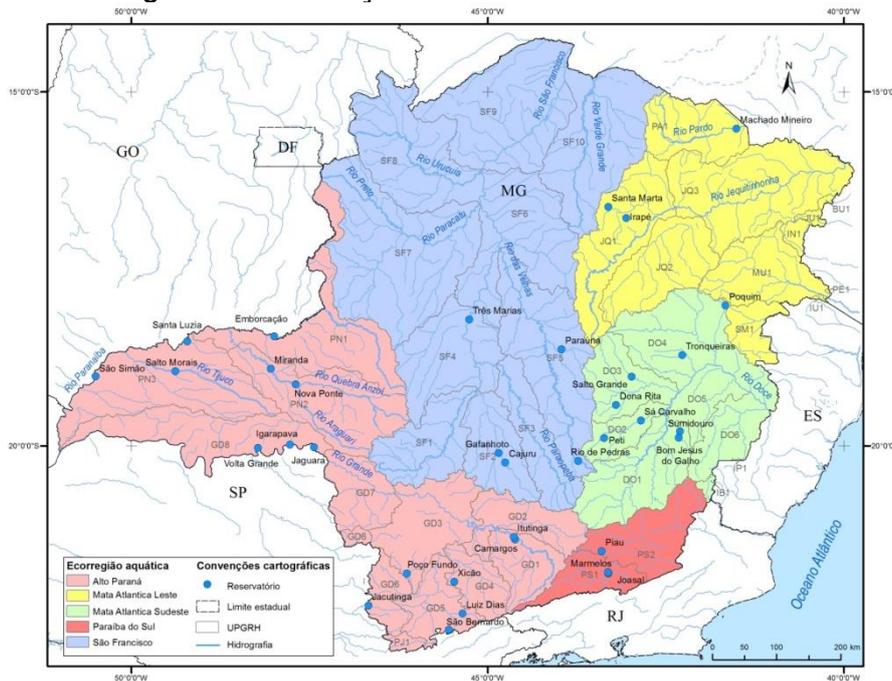
Resultados, análise e discussão

Nos trinta e cinco reservatórios analisados, houve informação de 78 parâmetros diferentes, sendo que eles não ocorreram em todos os

ambientes. Nenhum parâmetro esteve presente em todos os reservatórios. Os sólidos dissolvidos totais, nitrogênio amoniacal total, nitrato, DBO, transparência, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, turbidez, temperatura da água e profundidade foram as variáveis que ocorreram em um maior número de reservatórios (vinte e nove). Por esse motivo, tais parâmetros foram os selecionados para dar continuidade aos estudos, e seis reservatórios (Jacutinga, Jaguarua, Joasal, Luiz Dias, Machado Mineiro, Marmelos)

tiveram que ser excluídos da amostra por não apresentarem os referidos dados. Alguns parâmetros, como alacloro e berílio, foram coletados em apenas um ambiente. Com o novo número amostral definido (29 reservatórios) e as variáveis para estudo selecionadas, realizaram-se as outras etapas para a consolidação dos dados. Inicialmente, calcularam-se dados estatísticos para cada um dos reservatórios (média, mediana, moda, valor máximo e mínimo, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação).

Figura 01: Localização dos reservatórios estudados.



Fonte: elaborada pela autora.

Das dez variáveis de qualidade das águas analisadas, apenas temperatura da água, condutividade elétrica e transparência não têm limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), que estabelece os limites para o enquadramento de corpos de água quanto aos usos preponderantes. A classe especial apresenta usos mais restritivos, passando pelas classes I, II, III e IV, sendo a última a menos restritiva. Para os parâmetros limitados pela Resolução, os reservatórios de maneira geral se encontram em boas condições quanto à qualidade de água. Considerando as médias, Volta Grande e Nova Ponte tiveram pH abaixo dos valores para as três classes. Quanto ao oxigênio dissolvido, os valores não devem ser inferiores a 6, 5 e 4 mg/L para as classes I, II e III respectivamente, e os reservatórios de Bom

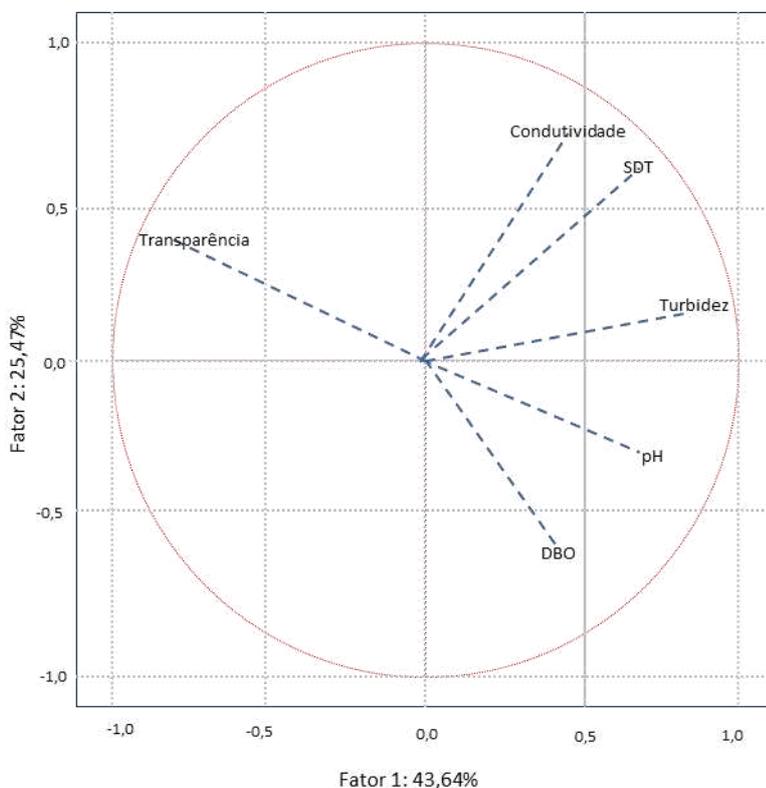
Jesus do Galho e Xicão tiveram valores abaixo de 6 mg/L. A DBO deve ser para a classe I até 3mg/L, a classe II até 5 mg/L e classe III até 10 mg/L; sendo que Piau, Sá Carvalho e Santa Marta tiveram valores acima de 3 mg/L e Piau acima de 5mg/L.

Na primeira rodada da ACP para os parâmetros de qualidade das águas, os dois primeiros eixos explicaram juntos 51,38% do modelo. As variáveis menos explicativas, com valores abaixo de 0,6, foram retiradas e uma nova ACP foi gerada, com as variáveis de maiores valores dos dois primeiros fatores: turbidez, condutividade, pH, transparência, DBO e sólidos dissolvidos totais. O percentual explicativo subiu de 51,38% para 69,11% (Figura 02), e todas as variáveis apresentaram valores superiores a 0,6 no primeiro ou segundo fatores. Quanto mais as

variáveis se aproximam da unidade do círculo, conforme Figura 02, ou seja, mais próximo de -1 ou +1, mais elas são representativas na análise. Como essas seis variáveis foram representativas

na ACP e o modelo obteve cerca de 70% de explicação, selecionaram-se as mesmas para dar continuidade nas avaliações dos grupos de reservatórios.

Figura 02: Distribuição dos dois primeiros eixos da Análise de Componentes Principais com dados de qualidade das águas na segunda rodada.



Fonte: elaborada pela autora.

Assim como na qualidade das águas, os dados morfométricos foram submetidos à Análise de Componentes Principais, tendo em vista selecionar as variáveis mais relevantes. Na primeira rodada na ACP, o modelo obteve 69,71% de explicação nos dois primeiros eixos e as variáveis abaixo do valor de 0,6 foram retiradas para uma nova ACP. Ressalta-se que desenvolvimento de perímetro e irregularidade das margens obtiveram os mesmos valores nos fatores, explicado pela fórmula similar que as representam. Para que não exista redundância no modelo, variáveis com respostas iguais devem ser retiradas, bastando apenas uma delas. No caso, o desenvolvimento de perímetro continuou incorporado às análises, devido à maior frequência que ele é apresentado na bibliografia. Retirando-se as variáveis menos explicativas, a confiabilidade do modelo aumentou significativamente, passando de 69,71% para 94,05%, conforme Figura 03. Todas as variáveis apresentaram valores superiores a 0,6 no

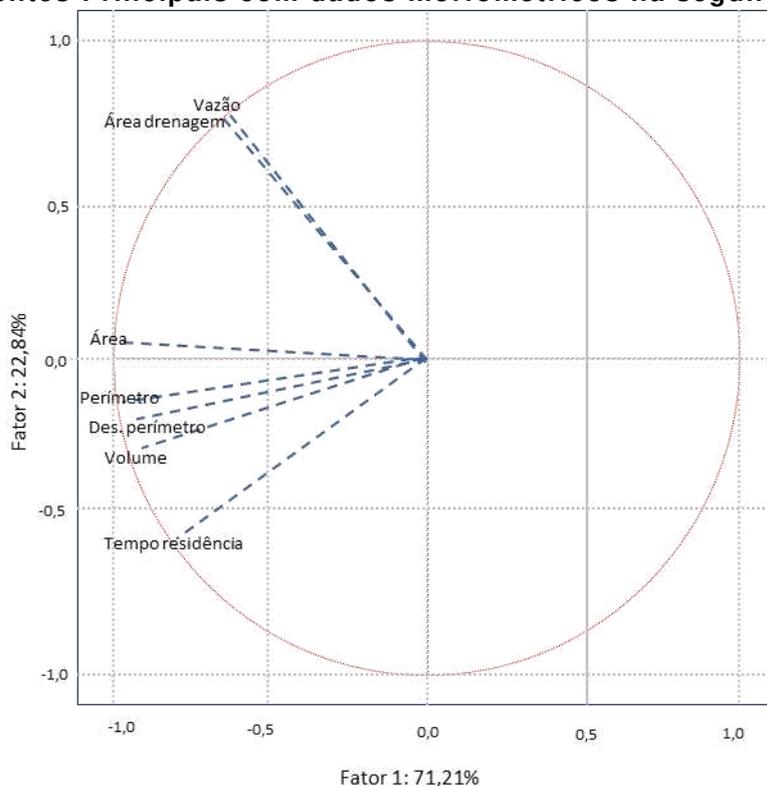
primeiro eixo, e área de drenagem e vazão média de longo período tiveram valores altos também no segundo eixo. Sendo assim, as sete variáveis selecionadas para a segunda rodada da ACP (área, perímetro, volume, tempo de residência, desenvolvimento de perímetro, área de drenagem e vazão) foram utilizadas nas etapas seguintes para o processo de agrupamento de reservatórios.

A Figura 04 apresenta o resultado da análise de agrupamento por similaridade (*cluster*), utilizando variáveis de qualidade das águas. O reservatório de Salto Morais se distanciou dos demais, não pertencendo a nenhum grupo. Em uma distância de ligação em torno de 4,2, Três Marias também se isolou. A distância próxima de 4 separou os reservatórios Igarapava, Miranda, Nova Ponte e Volta Grande em um grupo. Na sequência, o reservatório de Piau ficou isolado e, na distância aproximada de 2,5, três grupos se dividiram: um formado por Bom Jesus do Galho,

Gafanhoto, Sumidouro, Rio de Pedras, Santa Luzia, Poquim e Sá Carvalho; outro por Cajuru, Peti, São Simão e Emborcação; e o terceiro constituído por Camargos, Itutinga, Tronqueiras, Poço Fundo, Salto Grande, Paraúna, Santa

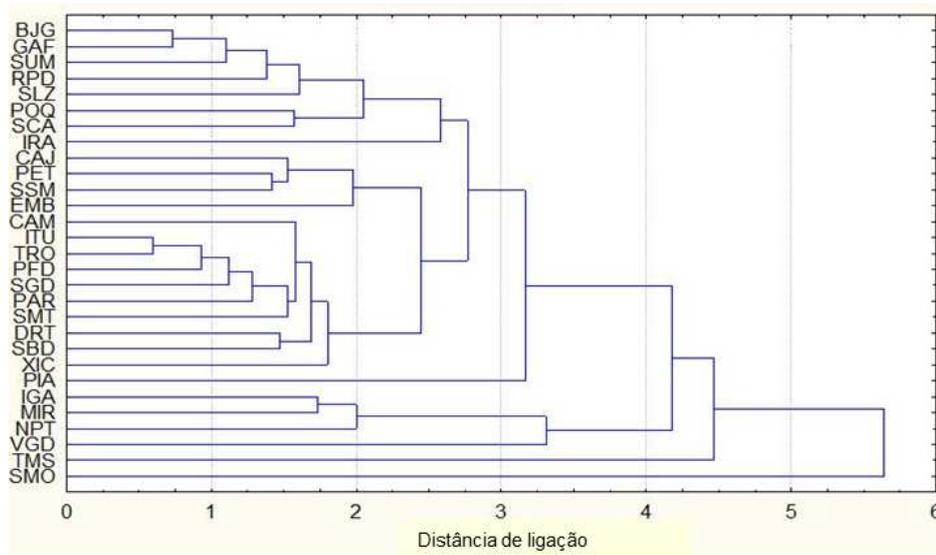
Marta, Dona Rita, São Bernardo e Xicão. O Quadro 01 apresenta a relação das siglas dos reservatórios apresentados nas análises de *cluster*.

Figura03: Distribuição dos dois primeiros eixos da Análise de Componentes Principais com dados morfométricos na segunda rodada



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 04: Análise de agrupamento (*cluster*) com distância euclidiana de 29 reservatórios utilizando variáveis de qualidade das água.



Fonte: elaborada pela autora.

Quadro 01: Relação dos nomes e siglas dos reservatórios.

Reservatório	Sigla	Reservatório	Sigla	Reservatório	Sigla
Bom Jesus do Galho	BJG	Nova Ponte	NPT	Santa Luiza	SLZ
Cajuru	CAJ	Paraúna	PAR	Santa Marta	SMT
Camargos	CAM	Peti	PET	São Bernardo	SBD
Dona Rita	DRT	Piau	PIA	São Simão	SSM
Emborcação	EMB	Poço Fundo	PFD	Sumidouro	SUM
Gafanhoto	GAF	Poquim	POQ	Três Marias	TMS
Igarapava	IGA	Rio de Pedras	RPD	Tronqueiras	TRO
Irapé	IRA	Sá Carvalho	SCA	Volta Grande	VGD
Itutinga	ITU	Salto Grande	SGD	Xicão	XIC
Miranda	MIR	Salto Morais	SMO		

Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 01 apresenta os quatro agrupamentos de reservatórios formados a partir da análise de *cluster* e os três reservatórios que se isolaram dos demais e não formaram nenhum grupo. A Figura 05 apresenta a localização desses grupos formados de reservatórios em Minas Gerais.

A Tabela 01 mostra que os reservatórios do grupo 1 apresentam, em média, maiores valores para turbidez e sólidos dissolvidos totais e menor

transparência, parâmetros estes que apresentam relação pela sua natureza. O grupo 2 apresenta, em média, maior valor de pH e valores intermediários para as demais variáveis. O grupo 3 tem o valor médio mais baixo para temperatura e condutividade (a condutividade é dependente da temperatura) e o valor mais alto para DBO. O 4º grupo tem, na média, os menores valores de turbidez, pH e SDT e maior de transparência.

Tabela 01: Grupo de reservatórios quanto à qualidade das águas.

Variável	Grupo				
	GI.1	GI.2	GI.3	GI.4	Individuais
Reservatório	BJG, GAF, IRP, SUM, RPD, SLZ, POQ, SCA (8).	CAJ, PET, SSM, EMB (4).	CAM, ITU, TRO, PFD, SGD, PAR, SMT, DRT, SBD, XIC (10).	IGA, MIR, NPT (3).	PIA, VGD, TMS, SMO (4).
Turbidez mín/máx média (UNT)	10,28-19,43 15,37	1,58-9,15 5,17	5,08-13,84 8,178	1,38-5,87 2,90	1,25-20,34
Condutividade mín/máx média (µS/cm)	32,68-51,22 41,39	32,46-39,97 41,37	10,42-27,81 19,09	19,31-35,33 24,42	32,48-66,59
pH mín/máx média	6,46-7,43 7,02	7,18-7,33 1,26	6,45-7,31 6,90	5,99-7 6,65	5,04-7,65
Transparência mín/máx média (m)	0,53-1,74 1,12	1,58-2,45 2,18	0,9-2,53 1,48	1,23-3,5 2,95	0,79-4,42
DBO mín/máx média (mg/L)	1,58-3,05 2,57	1,49-2,94 3,39	2,24-3,46 2,59	0,61-2 1,18	0,01-5,31
SDT mín/máx média (mg/L)	20,81-47,35 36,2	23,52-28,71 30,24	15,11-31,63 23,19	6,43-23,66 16,15	29,67-106,4

Fonte: elaborada pela autora.

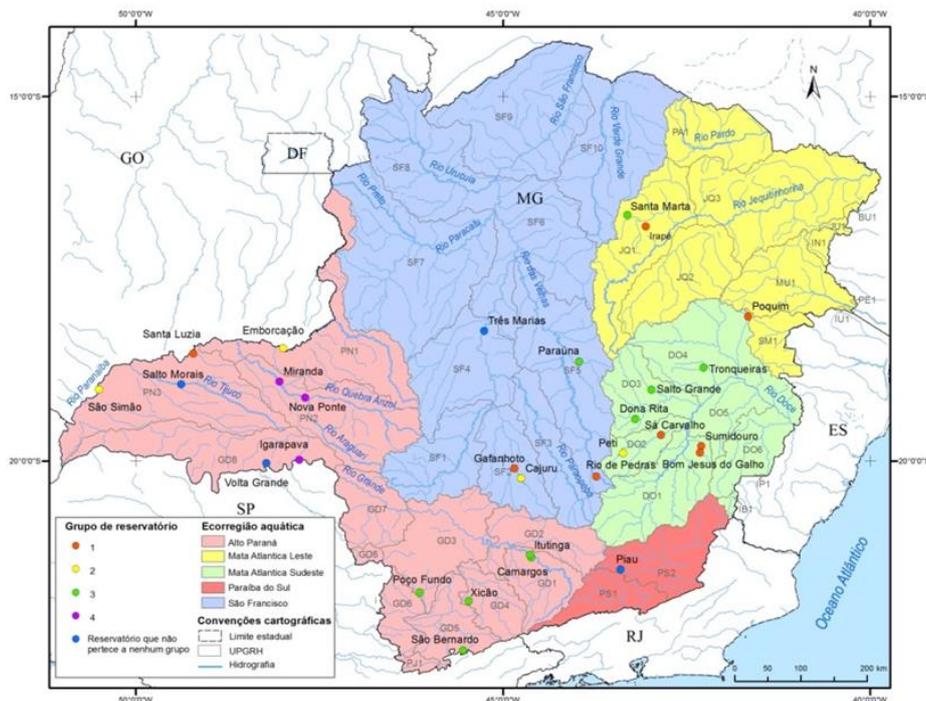
Os reservatórios que se isolaram, de forma geral, apresentam valores extremos para todos os parâmetros considerados na análise de *cluster*, o que pode explicar a falta de similaridade desses ambientes com os demais.

Observando o mapa da Figura 05, nota-se que há uma tendência de proximidade entre os reservatórios do tipo 3: quatro se concentram na ecorregião Alto Paraná (AP) e quatro na Mata Atlântica Sudeste (MS) e São Francisco (SF), embora Santa Marta esteja mais distante, na Mata Atlântica Leste (ML). Essa situação ocorre com o grupo 4, uma vez que os únicos representantes desse tipo estão próximos, na Ecorregião AP. Reservatórios próximos e pertencentes ao mesmo curso de água, como no caso de Sumidouro e Bom Jesus do Galho, Camargos e Itutinga, Nova Ponte e Miranda tendem a pertencer ao mesmo grupo, podendo

ser reflexo de uma mesma dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal. O mesmo não ocorre entre Cajuru e Gafanhoto, ambos próximos e localizados no rio Pará, que pode ser explicado pela presença de uma cidade desenvolvida entre os reservatórios, Divinópolis, o que pode influenciar na qualidade das águas.

Avaliando os resultados do agrupamento da Tabela 01 e a distribuição espacial dos grupos de reservatórios, pode-se considerar que o agrupamento deve se influenciar pelo uso e ocupação do solo da bacia de contribuição dos reservatórios, e para os grupos 3 e 4 há uma coincidência espacial dos ambientes, sendo que características regionais do local de ocorrência dos corpos de água, como tipo de solo, geologia e clima, podem colaborar para a distribuição geográfica dos agrupamentos.

Figura 05: Localização dos grupos de reservatórios quanto às variáveis de qualidade das águas em Minas Gerais.



Fonte: elaborada pela autora.

Quanto à morfometria, o reservatório São Simão se isolou dos demais ambientes na distância de ligação próxima de 7. Na sequência, um grupo foi formado reunindo Emborcação, Nova Ponte, Irapé e Três Marias, e na distância de aproximadamente 4,7, Três Marias se isolou. Na distância próxima a 3, Igarapava e Volta Grande se isolaram. Até a distância 3, formou-se

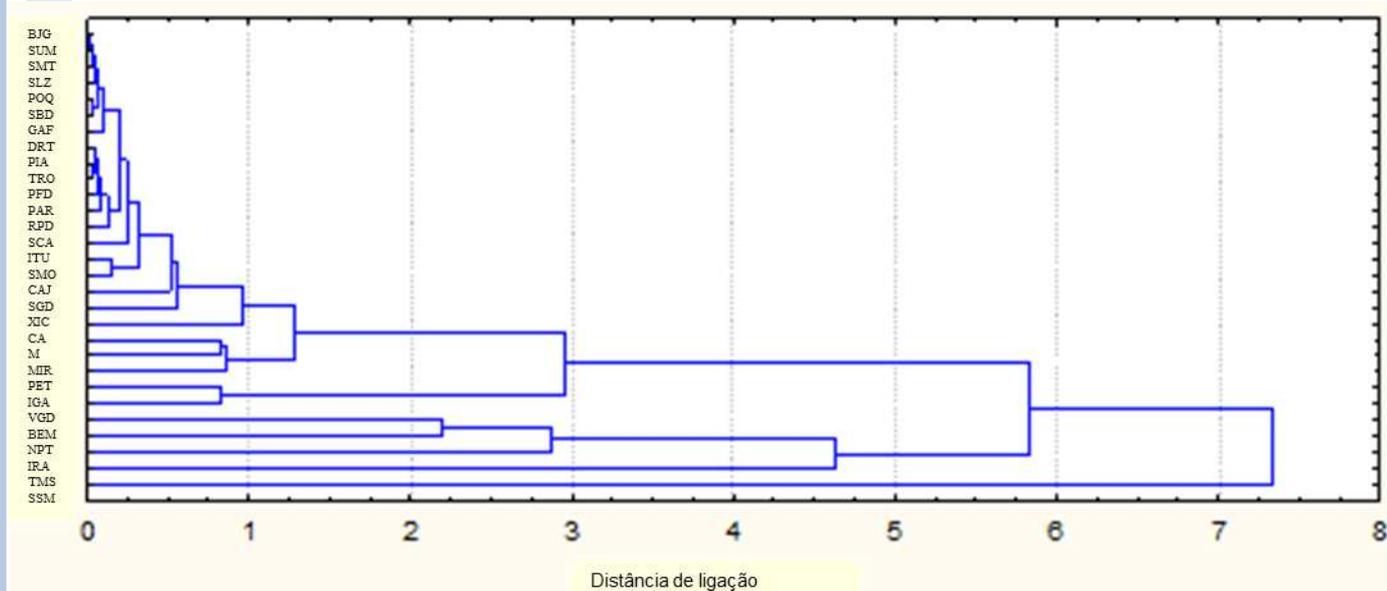
um grande grupo (1) com 22 reservatórios, um segundo grupo com três ambientes, o grupo 3 com dois e São Simão e Três Marias se isolaram e não formaram nenhum agrupamento (Figura 06).

Analisando a Tabela 02 e a Figura 06, o primeiro grupo é composto pela maior parte dos reservatórios (76%) e tem ambientes em todas as

ecorregiões, possuindo, na média, menores dimensões (volume, área, perímetro) e baixos valores de desenvolvimento de perímetro e vazão. O grupo 2 engloba grandes reservatórios (3), com valores altos de tempo de residência e desenvolvimento de perímetro. O terceiro grupo corresponde a dois reservatórios, com dimensões intermediárias e valores altos, em média, de área de drenagem e vazão. Três Marias se destaca

pelos maiores volume, perímetro, desenvolvimento de perímetro e área, e São Simão pelos maiores valores de área de drenagem e vazão média de longo período. Esses valores extremos isolaram esses ambientes dos demais. A ecorregião Alto Paraná possui ambientes de todos os grupos, inclusive São Simão que não teve semelhança com nenhum dos três conjuntos (Figura 07).

Figura 06: Análise de agrupamento (*cluster*) com distância euclidiana de 29 reservatórios utilizando variáveis morfométricas.



Fonte: elaborada pela autora.

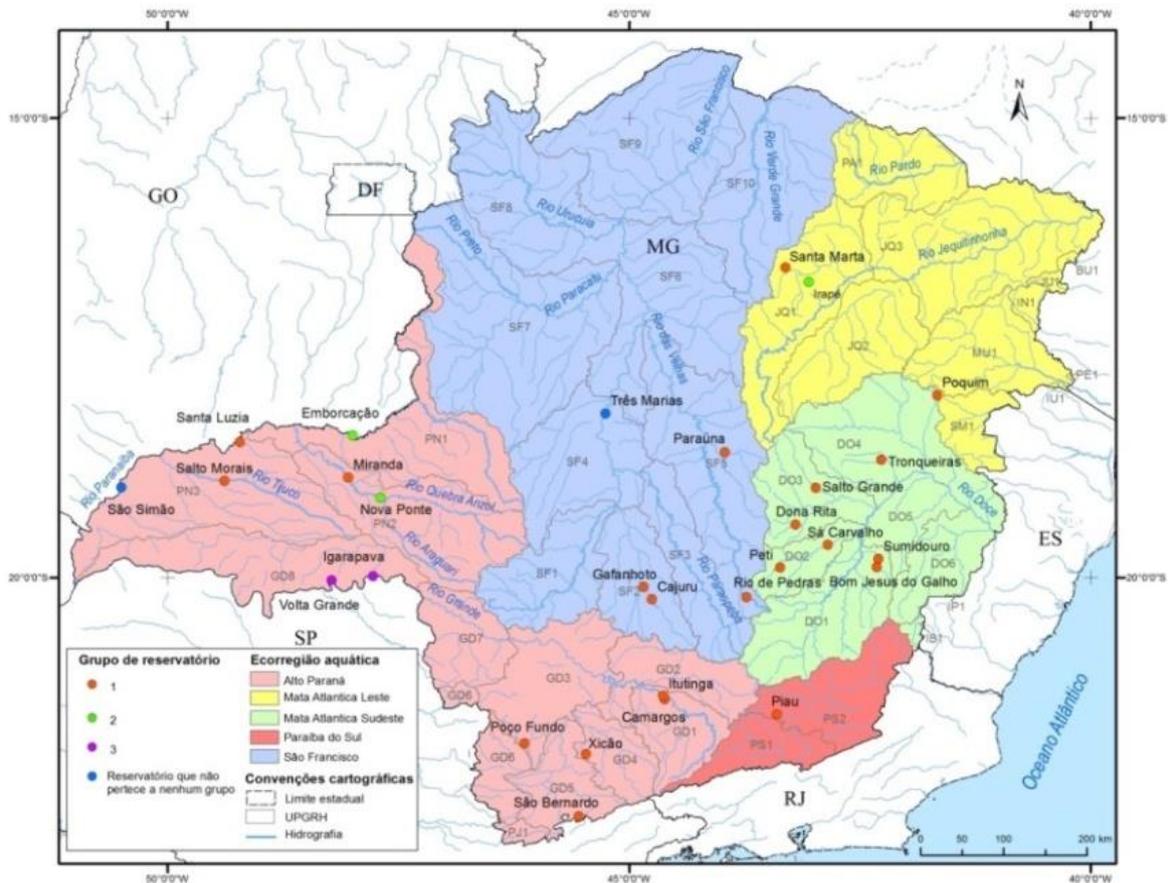
Comparando os agrupamentos gerados pelas variáveis de qualidade das águas (I) e morfométricas (II), o primeiro gerou um maior número de agrupamentos (4) e quatro ambientes que não se assimilaram com os demais grupos, e no segundo formaram-se três grupos e dois reservatórios isolados. Três Marias se distanciou do conjunto em ambas as análises, se diferenciando de todos os ambientes. Igarapava e Nova Ponte estiveram no mesmo grupo nas duas situações. Os corpos de água do GI.1 e GI.3 estão contidos no GII.1, exceto por Irapé que tem maiores dimensões do que os representantes do GII.1.

A Figura 08 representa o dendrograma utilizando as variáveis de qualidade das águas e morfometria selecionadas pela Análise de Componentes Principais. Os agrupamentos

oriundos das duas naturezas de informação tiveram um resultado similar com os grupos gerados separadamente, destacando o isolamento de São Simão e Três Marias, os maiores reservatórios em área do conjunto analisado, e a formação de grupo dos reservatórios de menor dimensão.

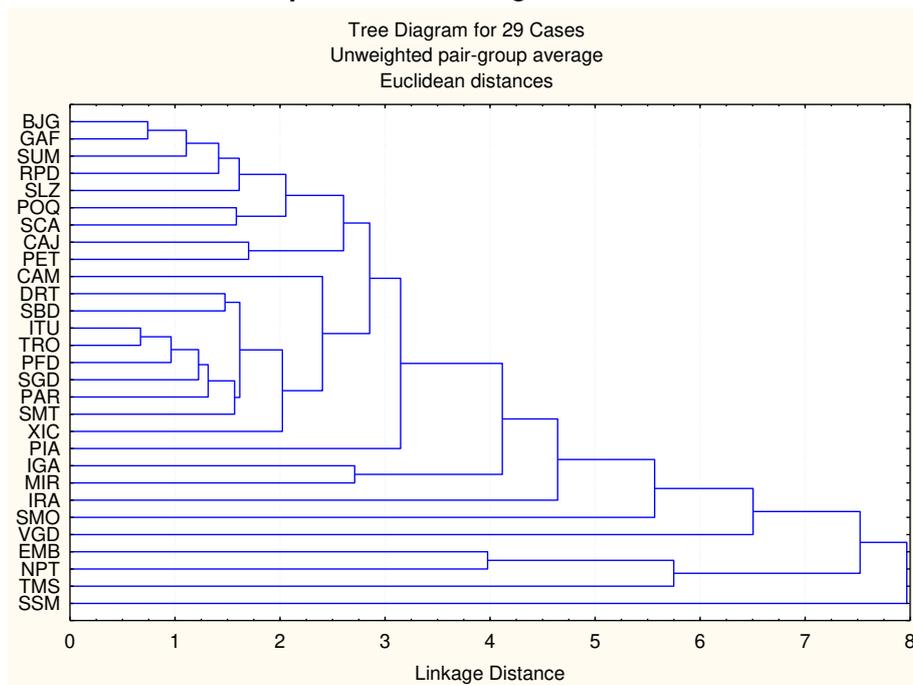
A distribuição geográfica dos grupos tem maior relação com a análise I, uma vez que a qualidade das águas reflete as condições do uso e ocupação do solo da bacia de contribuição do reservatório e características ambientais, e ambientes próximos tendem a ter atividades similares e, conseqüentemente, parâmetros físico-químicos semelhantes. Já os parâmetros morfométricos selecionados pela análise de componentes principais não têm dependência espacial.

Figura 07: Localização dos grupos de reservatórios quanto às variáveis morfométricas em Minas Gerais.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 08: Análise de agrupamento (cluster) de reservatórios utilizando variáveis de qualidade das águas e morfométricas.



Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 02: Grupo de reservatórios quanto à morfometria.

Variável	Grupo			
	GII.1	GII.2	GII.3	Individuais
Reservatório	BJG, SUM, SMT, SLZ, POQ, SBD, GAF, DRT, PIA, TRO, PFD, PAR, RPD, SCA, ITU, SMO, CAJ, SGD, XIC, CAM, MIR, i(22.)	BEM, NPT, IRA (3).	IGA, VGD (2).	SSM, TMS(2).
Área mín/máx média (km ²)	0,01-73,35 7,88	143-480 357,33	50,23-206 128,12	703-1104
Perímetro mín/máx média (km)	0,34-59,32 33,87	664-1540 1041	121-3252 236,5	1088-2522
Volume mín/máx média (hm ³)	0,01-671,85 47,03	3692-13055 9042,33	14,61-249 131,8	5540-15272
T residência mín/máx média (dia)	0,01-107,25 12,16	280,4-400,97 330,19	0,15-2,48 1,32	26,67-256,63
D. perímetro mín/máx média	0,77-7,94 2,85	11,84-20,5 16,01	4,84-6,93 5,89	11,57-21,42
Área dren. mín/máx média (km ²)	28-17300 2709,82	15338-29178 20238,67	64700-68000 66350	50600-172268
Vazão mín/máx média (m ³ /s)	0,54-329,96 50,28	149,11-471,44 303,78	1078-1130 66350	681,02-2306

Fonte: elaborada pela autora.

Conclusão

Minas Gerais, bem como o Brasil, são dependentes da energia proveniente de usinas hidrelétricas. As águas represadas dessas usinas, além do papel de gerar energia, permitem usos múltiplos, o que demonstra a importância da gestão desses ambientes. De maneira geral, especialmente em trabalhos internacionais, existem mais estudos sobre lagos naturais do que ambientes artificialmente represados. Dados de monitoramento de qualidade das águas, que são dispendiosos e geram muitas informações, são por muitas vezes subutilizados, representando um desperdício de custos, tempo e recursos. Conforme citado na literatura, a análise morfométrica de ambientes aquáticos permite a avaliação limnológica dos corpos de água, uma vez que influencia as dinâmicas física, química e biológica do sistema. Partindo-se dessa consideração, a morfometria, que é menos onerosa e de mais fácil obtenção, é uma alternativa para auxiliar na gestão e prever, por exemplo, quais ambientes são mais susceptíveis a situações recorrentes aos reservatórios, como eutrofização e contaminação.

O presente trabalho teve como propósito avaliar se o agrupamento gerado pelas variáveis morfométricas corresponde aos grupos gerados por parâmetros de qualidade das águas dos reservatórios. Os dados utilizados foram os disponíveis livremente e calculados via sensoriamento remoto. O uso de ferramentas estatísticas foi imprescindível para a interpretação dos dados, devido ao grande volume de informações e tratamentos necessários.

Esperava-se, inicialmente, um número de corpos de água superior ao utilizado nas análises, uma vez que o número de ambientes foi reduzido pela falta de informação dos dados de monitoramento. O número de ambientes analisados foi vinte e nove, os quais tiveram variáveis mais relevantes selecionadas dentro da amostra (qualidade das águas: turbidez, condutividade, pH, transparência, DBO, sólidos dissolvidos totais; e morfométricas: área, perímetro, volume, tempo de residência, desenvolvimento de perímetro, área de drenagem e vazão média de longo período). Os ambientes de menor dimensão se juntaram, em ambos os resultados.

Como recomendação para novas pesquisas, a incorporação de dados de uso do solo e cobertura vegetal da bacia de contribuição e do entorno dos reservatórios seria pertinente, uma vez que essa informação tem grande influência na qualidade e quantidade das águas. É relevante que se valide o resultado dos agrupamentos com organismos biológicos, pois as mesmas comunidades tendem a se instalar em ambientes com características semelhantes.

Quanto ao gerenciamento, sugere-se ao órgão gestor das águas agregar ao monitoramento, além dos cursos de água e águas subterrâneas, os reservatórios. Com isso, reservatórios além dos pertencentes à Cemig seriam analisados, unificando a disponibilidade de informações à população.

Referências bibliográficas

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 16 ago. 2017.

DONI, M. V. **Análise de cluster**: métodos hierárquicos e de particionamento. 2004. Disponível em: <<http://meusite.mackenzie.com.br/rogerio/tgi/2004Cluster.PDF>>, acesso em 12 set. 2015.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Institucional**. 2017. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/instituicao>>. Acesso em 12 jan. 2017.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo**: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 238 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 46.636 de 28 de outubro de 2014**. Contém o Regulamento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM e altera o Decreto nº 41.578 de 08 de março de 2001. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/DECR ETO/decreto-46636-2014.pdf>>. Acesso em 05 dez. 2016.

VARELLA, C. A. A. **Análise de componentes principais**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/multivariada%20aplicada%20as%20ciencias%20agrarias/Aulas/analise%20de%20componentes%20principais.pdf>>. Acesso em 14 out. 2015.