

INÍCIO / ARQUIVOS / V. 9 N. 3 / Engenharias

Otimização estatística de parâmetros de qualidade de águas superficiais no monitoramento ambiental em atividades de mineração na Amazônia

Shara Alexandre da Silva

Universidade do Estado do Pará

<https://orcid.org/0000-0003-2695-3240>**Luiz Eduardo Chaves de Azevedo**

Universidade do Estado do Pará

<https://orcid.org/0000-0003-2199-2910>**Gabriel Villas Boas de Amorim Lima**

Universidade Federal do Pará

<https://orcid.org/0000-0001-7089-7421>**Marina Morhy Pereira**

Universidade Federal do Pará

<https://orcid.org/0000-0002-7529-335X>**Ivan Roberto Santos Araújo**

Universidade da Amazônia

<https://orcid.org/0000-0002-4369-3690>**DOI:** <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2596>**Palavras-chave:** Grandes Projetos de Mineração; Amazônia Oriental; Análise de Componentes Principais.

RESUMO

A mineração representa a maior parte da economia do estado do Pará, atividade cujos impactos ambientais em corpos d'água carecem de atenção especial. Nesse sentido, este estudo buscou otimizar uma rede de monitoramento de um Grande Projeto de Mineração (GPM) localizado na Amazônia Oriental, selecionando quais parâmetros efetivamente influenciavam na qualidade da

RSD

RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT

VOLUME 9 | NUMBER 3 | YEAR 2020

ISSN 2525-3409



PUBLICADO

19/02/2020

COMO CITAR

SILVA, S. A. da; AZEVEDO, L. E. C. de; LIMA, G. V. B. de A.; PEREIRA, M. M.; ARAÚJO, I. R. S. Otimização estatística de parâmetros de qualidade de águas superficiais no monitoramento ambiental em atividades de mineração na Amazônia. **Research, Society and Development**, [S. L], v. 9, n. 3, p. e99932596, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i3.2596. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2596>. Acesso em: 8 mar. 2021.

Fomatos de Citação

EDIÇÃO

v. 9 n. 3

SEÇÃO

Engenharias

LICENÇA

Autores que publicam nesta revista concordam com os seguintes termos:

- 1) Autores mantêm os direitos autorais e concedem à revista o direito de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a Licença Creative Commons Attribution que permite o compartilhamento do trabalho com reconhecimento da autoria e publicação inicial nesta revista.
- 2) Autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não-exclusiva da versão do trabalho publicada nesta revista (ex.: publicar em repositório institucional ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial nesta revista.

**Otimização estatística de parâmetros de qualidade de águas superficiais no
monitoramento ambiental em atividades de mineração na Amazônia**
**Statistical optimization of surface water quality parameters in environmental
monitoring in mining activities in the Amazon**
**Optimización estadística de los parámetros de calidad del agua superficial en el
monitoreo ambiental en actividades mineras en la Amazonía**

Recebido: 19/01/2020 | Revisado: 11/02/2020 | Aceito: 13/02/2020 | Publicado: 19/02/2020

Sara Alexandre da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2695-3240>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: sharaalexandre@gmail.com

Luiz Eduardo Chaves de Azevedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2199-2910>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: educhavesazevedio@gmail.com

Gabriel Villas Boas de Amorim Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7089-7421>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: gabrielvbal@gmail.com

Marina Morhy Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7529-335X>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: marinamp@gmail.com

Ivan Roberto Santos Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4369-3690>

Universidade da Amazônia, Brasil

E-mail: engivanrsa@yahoo.com.br

Resumo

A mineração representa a maior parte da economia do estado do Pará, atividade cujos impactos ambientais em corpos d'água carecem de atenção especial. Nesse sentido, este estudo buscou otimizar uma rede de monitoramento de um Grande Projeto de Mineração (GPM) localizado

na Amazônia Oriental, selecionando quais parâmetros efetivamente influenciavam na qualidade da água na região. Para tanto, utilizou-se laudos de qualidade d'água cedidos por órgãos ambientais para modelar um tratamento estatístico por Análise de Componentes Principais (ACP) nos parâmetros considerados pela empresa. Os resultados evidenciaram que, dos 60 parâmetros originalmente adotados, apenas 12 representam significativamente as alterações identificadas, sendo comprovado que a redução das variáveis analisadas não implica no comprometimento da rede. Assim, pôde-se verificar que este método é válido para reduzir custos de manutenção da rede de monitoramento e para tornar o processo de avaliação dos relatórios técnicos pelo Estado mais ágeis, beneficiando ambas as partes em um processo de licenciamento ambiental.

Palavras-chave: Grandes Projetos de Mineração; Amazônia Oriental; Análise de Componentes Principais.

Abstract

Mining represents most of the economy of the state of Pará, an activity whose environmental impacts on water bodies need special attention. In this sense, this study sought to optimize a monitoring network for a Large Mining Project (GPM) located in the Eastern Amazon, selecting which parameters effectively influenced the water quality in the region. For this purpose, water quality reports provided by environmental agencies were used to model a statistical treatment by Principal Component Analysis (ACP) in the parameters considered by the company. The results showed that, of the 60 parameters originally adopted, only 12 represent significant alterations identified, proving that the reduction of the analyzed variables does not imply the network compromise. Thus, it was possible to verify that this method is valid to reduce maintenance costs of the monitoring network and to make the process of evaluation of technical reports by the State more agile, benefiting both parties in an environmental licensing process.

Keywords: Large Mining Projects; Eastern Amazon; Principal Component Analysis.

Resumen

La minería representa la mayor parte de la economía del estado de Pará, una actividad cuyos impactos ambientales en los cuerpos de agua necesitan atención especial. En este sentido, este estudio buscó optimizar una red de monitoreo para un Gran Proyecto Minero (GPM) ubicado en la Amazonía Oriental, seleccionando qué parámetros influyeron efectivamente en la calidad del agua en la región. Con este fin, los informes de calidad del agua proporcionados por las agencias ambientales se utilizaron para modelar un tratamiento estadístico por Análisis de

Componentes Principales (ACP) en los parámetros considerados por la empresa. Los resultados mostraron que, de los 60 parámetros adoptados originalmente, solo 12 representan significativamente las alteraciones identificadas, lo que demuestra que la reducción de las variables analizadas no implica el compromiso de la red. Por lo tanto, fue posible verificar que este método es válido para reducir los costos de mantenimiento de la red de monitoreo y hacer que el proceso de evaluación de informes técnicos por parte del Estado sea más ágil, beneficiando a ambas partes en un proceso de licencia ambiental.

Palabras clave: Gran Proyectos Mineros; Amazonía oriental; Análisis de componentes principales.

1. Introdução

A mineração é um dos setores básicos da economia brasileira, representando 5% do PIB nacional. No estado do Pará, essa participação é mais evidente, sendo responsável por 76% dos produtos exportados (Silva, 2012; DNPM, 2017). Nesse contexto, destaca-se que tal setor demanda de expressiva quantidade de recursos naturais e energéticos, resultando em significativos impactos socioambientais negativos, por vezes irreversíveis, caso não haja monitoramento, prevenção e mitigação de seus efeitos em todas as fases do projeto minerário (Silva, Diniz & Ramos, 2015).

Desta forma, julga-se que a implantação e a operação de empreendimentos de extração e/ou beneficiamento de minérios deve ser condicionada à aprovação de estudos que atestem sua viabilidade ambiental. Assim, a relação Empresa-Estado é regulada através do licenciamento ambiental, resultando em ato administrativo denominado licença ambiental (Gomes Junior & Sila, 2019). Este documento autoriza e estabelece condições para a implantação e funcionamento de atividades potencialmente degradantes e impactantes ao meio ambiente, estabelecendo condicionantes que a empresa deverá cumprir durante a vigência da licença (CONAMA, 1997).

Deve-se salientar que os procedimentos operacionais de gestão ambiental no setor mineral são continuamente monitorados, visando evitar danos ambientais superiores aos previstos inicialmente (Cota et al, 2019). Nesse contexto, um dos instrumentos legais implantados como condicionante das licenças ambientais é o Relatório de Informações Ambientais Anual (RIAA), previsto pelo Decreto Estadual n.º 1120, de 11 de julho de 2008, alterado pelo Decreto Estadual n.º 1881, de 14 de setembro de 2009. Nesta legislação, determina-se que todo empreendimento detentor de licença ambiental deve apresentar um

relatório anual de controle e monitoramento das atividades decorrentes de seu empreendimento sobre os meios socioeconômico, biótico e físico (SEMAS, 2008).

Acerca disso, entende-se por meio socioeconômico aquele constituído pela dignidade social e questões de emprego e renda, enquanto que o meio biótico compreende intervenções sobre a fauna e flora locais (Oliveira et al, 2019). Já o meio físico engloba toda alteração nos padrões de qualidade do solo, do ar e da água – sendo esta última a delimitação deste estudo. Sobre esse aspecto, cabe à mineradora monitorar os recursos naturais que suas atividades impactam (direta e indiretamente), sendo o monitoramento de águas superficiais um dos mais relevantes – pois é dele que se verifica a qualidade do recurso hídrico face à atividade de mineração (Stival & Silva, 2018).

No entanto, a expressiva quantidade de parâmetros prevista na legislação vigente (resolução CONAMA 257/2005) pode resultar em um monitoramento mais extenso e oneroso, sendo comumente realizado (pela empresa) e analisado (pelo Estado) de forma equivocada e morosa (Silva, Bussons & Lima, 2019). Além do mais, variáveis que estatisticamente não influem significância em uma realidade local de monitoramento podem estar tendo avaliações mais criteriosas do que parâmetros que realmente são aplicáveis a tais especificidades, comprometendo todo o critério de sanidade ambiental previamente estabelecido.

Considerando isso, este estudo objetivou verificar a importância de cada parâmetro na avaliação da qualidade de águas superficiais influenciadas por um Grande Projeto de Mineração (GPM), pois, dependendo de suas especificidades, certas variáveis serão mais relevantes na análise da qualidade ambiental do que outras. Para tanto, utilizou-se a análise multivariada fatorial de componentes, um método estatístico que identifica e hierarquiza as variáveis mais relevantes para o sistema abordado. Esta técnica identifica o grau de importância de cada parâmetro de qualidade de águas superficiais dentro de um contexto específico (neste caso, o de um empreendimento de mineração) por meio do tratamento de séries históricas de avaliação dos corpos d'água. Isso permitiu otimizar o número de parâmetros avaliados, tornando o processamento dos resultados mais eficiente e garantindo maior confiabilidade técnica às análises executadas a partir disso.

2. A importância de se otimizar o monitoramento da qualidade de águas superficiais

A qualidade das águas superficiais é resultado da variação natural de processos hidrológicos (precipitação), geológicos (erosão, intemperismo) e da influência do uso e

ocupação do solo nas adjacências aos corpos hídricos (Alves et al., 2012; Girão et al., 2007; Pereira, 2004; Silva, Cunha & Lopes, 2019). Nesse cenário, a intervenção antrópica colabora com o aumento da carga de poluentes no meio aquático, caracterizado por variáveis de comportamento probabilístico, ou seja, podendo ser estimadas, selecionadas ou, ainda, descartadas em função de sua inobservância contínua (Calazans, 2015).

A partir disso, nota-se que um programa de monitoramento da qualidade das águas superficiais pode ser capaz de informar quando há mudanças e variações nas características da água. Isso é possível em decorrência de levantamentos sistemáticos de dados em pontos de amostragem pré-selecionados, permitindo acompanhar a evolução das condições físico-químicas e microbiológicas ao longo do tempo, fornecendo séries temporais (Strobl & Robillard, 2008; Viola, 2008).

Dessa forma, os resultados dessas séries permitem representar a evolução da situação da qualidade das águas superficiais e as principais alterações ocorridas em um determinado período, detectando tendências espaciais e temporais (Costa, 2013; Korf et al, 2017). Para isso, faz-se necessário definir o número e a distribuição espacial das estações de monitoramento e dos parâmetros a serem amostrados, incluindo a determinação dos limites analíticos.

Nesse contexto, a disposição da rede de monitoramento ideal deve ser idealizada com base no uso e ocupação do solo, nas condições hidrológicas e na identificação das principais fontes de poluição da bacia hidrográfica (Ávila et al, 2016). Finotti et al (2014) enfatizam que, ao se otimizar, redimensionar e adequar uma rede de monitoramento, deve-se analisar somente os parâmetros realmente importantes, extraíndo o máximo de informações relevantes. Isso deve ser feito considerando utilizar um menor número de estações de monitoramento, implicando em menores custos operacionais em transporte de coleta de mão-de-obra.

Há, ainda, casos de redes que já atenderam aos objetivos básicos de monitoramento. Neste contexto, o redimensionamento da rede de monitoramento visa reduzir o número de parâmetros amostrados sem perda substancial de informação, visando reduzir também custos operacionais sem comprometer a eficácia dos resultados (Gloria, Horn & Hilgemann, 2017). Calazans (2015) afirma que essa redução é possível quando há dependências ou correlações entre várias variáveis, que geralmente aumentam com o tempo de amostragem.

Contudo, é comum observar certa dificuldade na avaliação dos dados por parte do órgão ambiental fiscalizador, em decorrência do excesso de informações encaminhadas pelo empreendimento (Volquind, Ramos & Fernandes, 2019). Dessa forma, aspectos importantes podem ser omitidos caso as variáveis de análise não sejam otimizadas.

Legalmente, o monitoramento da qualidade das águas superficiais é amparado pelas

Resoluções CONAMA n.º 357/2005 e n.º 430/2011, que dispõem sobre diversos parâmetros a serem avaliados para cada tipo de massa d'água analisada. Entretanto, as mesmas não especificam condições de seleção dos parâmetros aplicados a determinadas atividades – como a mineração (Mafra et al, 2019).

Isso resulta na atribuição aos órgãos ambientais para escolher quais parâmetros devem ser monitorados (Machado, Knapik & Bitencourt, 2019). Quando da abstenção destes, as próprias empresas executoras acabam escolhendo quais parâmetros irão submeter para análise administrativa, por meio de planos de monitoramento com inúmeros parâmetros considerados, muitas vezes dispensáveis no contexto local. É importante frisar que um parâmetro é considerado dispensável em um monitoramento quando o mesmo não representa probabilidades de ser encontrado fora dos limites estabelecidos pelas resoluções vigentes. Ou seja, o parâmetro não apresenta potencial iminente de dano ambiental, segundo os padrões históricos do empreendimento.

Nesse contexto, existem diversas metodologias que avaliam redes de monitoramento da qualidade das águas superficiais, objetivando reduzir seu escopo amostral de parâmetros (Dong et al, 2015). Dentre as mesmas, destaca-se a Análise Fatorial (AF), utilizada para reduzir a quantidade de variáveis em um menor número de fatores. Essa redução baseia-se no padrão de correlação observado entre as variáveis originais, sendo explicada/representada pelos fatores. (Oliveira et al, 2014). Além dessa técnica, outra ferramenta estatística multivariada utilizada para esta finalidade é a Análise de Componentes Principais (ACP), a qual consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominada de componentes principais (Maia, Silva & Libânio, 2019). Nota-se que a ACP é associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação.

Leite e Becker (2019) explicam que as contribuições de cada variável nas componentes principais correspondem aos pesos (loadings). Nas novas componentes geradas, as variáveis que explicam a maior variabilidade dos dados são escolhidas para caracterizar a base de dados. Dessa forma, a primeira componente principal explica a maior proporção da variância total entre todas as combinações lineares dos dados originais, enquanto que a segunda terá menor proporção de variância total que a primeira, e assim sucessivamente.

Segundo Guedes et al. (2012), a matriz das componentes principais obtida na fase de extração é, ocasionalmente, de difícil interpretação. Este fato ocorre quando as cargas dos fatores estão próximas do valor médio. Para suplantar tal limitação, pode-se utilizar o procedimento de rotação ortogonal da matriz das cargas fatoriais, gerando uma nova matriz de

cargas fatoriais que apresenta melhor significado interpretativo dos fatores.

Esses métodos têm sido amplamente aplicados em matrizes de dados de monitoramento da qualidade da água para alcançar diferentes objetivos. Dentre eles, o de otimização da rede de monitoramento e reduzir os custos operacionais sem comprometer a segurança ambiental (Bhat et al, 2014), finalidade aplicada neste estudo.

3. Método

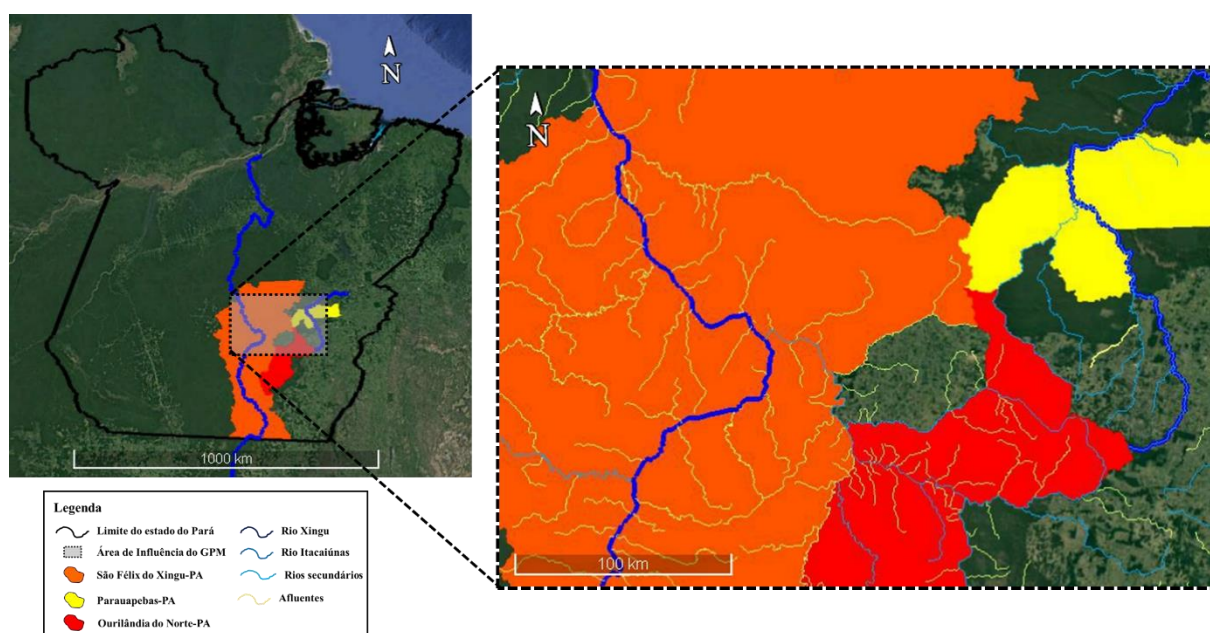
3.1. Descrição do estudo

Segundo Pereira et al (2018), este estudo possui natureza aplicada, com uma abordagem Quanti-qualitativa. Quantitativa pois utiliza uma análise fatorial na otimização dos parâmetros de avaliação da qualidade de águas superficiais, e qualitativa pois argumenta se tais otimizações realmente refletem a segurança ambiental do empreendimento. Quanto aos fins, este estudo possui um caráter descritivo, com procedimentos experimentais envolvendo análises estatísticas multivariadas.

3.2. Área de estudo

A área de estudo compreende um Grande Projeto de Mineração (GPM) com 36 pontos de monitoramento de águas superficiais, distribuídos entre os municípios paraenses de Ourilândia do Norte, Parauapebas e São Félix do Xingu. A Figura 1 evidencia a localização do empreendimento:

Figura 1. Área de Influência hidrográfica do Grande Projeto de Mineração (GPM)



Fonte: Autores (2020).

Conforme evidenciado pela Figura 1, o GPM influencia os Rios Xingu e Itacaiúnas, componentes das bacias hidrográficas Araguaia-Tocantins e Amazônica. O empreendimento realiza lavra em jazidas de níquel laterítico e processamento industrial deste, com reserva mineral de 91 milhões de toneladas e vida útil prevista de 41 anos, com implantação efetiva em 2005.

3.3. Coleta de dados

Os dados consistem em uma série de laudos de qualidade de águas superficiais realizados pelo empreendimento entre 2009 e 2014 com 60 parâmetros possivelmente monitorados (Quadro 01). Essas informações foram obtidas a partir de consulta pública ao acervo da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMAS).

Quadro 01. Parâmetros monitorados inicialmente pelo empreendimento.

Parâmetros físico-químicos (58)	Alcalinidade de bicarbonato	Cromo dissolvido	Níquel total
	Alcalinidade total	Cromo total	Nitrito
	Alumínio dissolvido	Cromo hexavalente	Nitrogênio amoniacal total
	Alumínio total	Cromo total	Óleos e Graxas
	Arsênio total	DBO	Oxigênio dissolvido
	Bário total	DQO	Prata total

	Cádmio dissolvido	Dureza total	Potássio total
	Cádmio total	Ferro dissolvido	pH
	Cálcio dissolvido	Ferro total	Selênio
	Cálcio total	Fósforo total	Sódio total
	Cianeto livre	Fluoreto total	Sólidos totais em suspensão
	Chumbo dissolvido	Ítrio dissolvido	Sólidos fixos totais
	Chumbo total	Ítrio total	Sólidos sedimentáveis
	Cloreto total	Magnésio dissolvido	Sólidos voláteis totais
	Cobalto dissolvido	Magnésio total	Sulfato total
	Cobalto total	Manganês dissolvido	Sulfito
	Cobre dissolvido	Manganês total	Turbidez
	Cobre total	Mercúrio total	Vanádio total
	Condutividade elétrica	Níquel dissolvido	Zinco dissolvido
			Zinco total
Parâmetros microbiológicos (02)	Coliformes totais		Coliformes termotolerantes

Fonte: Autores (2020)

Conforme indica o Quadro 01, a empresa vem monitorando periodicamente 58 parâmetros físico-químicos e 02 microbiológicos. Essa situação evidencia o alto nível de detalhamento dos laudos de qualidade da água, refletindo diretamente em questões como custo de operação da rede de monitoramento e na agilidade da avaliação dos relatórios por parte do órgão ambiental.

3.4. Pré-tratamento de dados

Uma vez que não existe roteiro orientativo para quais parâmetros devem ser monitorados, a análise estatística foi precedida de um pré-tratamento de dados que possibilitou a exclusão de determinados parâmetros em função de dois critérios. O primeiro critério considerou a exclusão de parâmetros cujo monitoramento não é exigido pelos dispositivos previstos nas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011. Já o segundo critério consistiu na exclusão dos parâmetros que não se apresentam dentro da série histórica 2009-2014.

3.5. Análise de dados

3.5.1. Testes KMO e Bartlett

Após o pré-tratamento de dados, restaram os parâmetros cujos comportamentos poderão representar com significância a qualidade das águas superficiais na região supracitada. Estas informações serão tratadas por meio do agrupamento a partir da Análise Fatorial. Esse método foi aplicado com o objetivo de identificar as dimensões de variabilidade comuns, ou fatores existentes em um conjunto de parâmetros, com o intuito de desvendar estruturas existentes que não são observáveis diretamente. Para isso, as variáveis inter-relacionadas podem ser agrupadas para formar os fatores, reduzindo um conjunto de dados a um tamanho mais compacto, facilitando sua análise.

Nesse contexto, a verificação da adequação dos dados à análise fatorial foi realizada por meio do teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e através do teste de esfericidade de Bartlett, os quais indicam se o método de tratamento de dados escolhido se encaixa ao estudo. O teste KMO (Equação 1) relaciona correlações originais e parciais entre as variáveis, representado por um índice homônimo que varia de 0 a 1.

$$KMO = \frac{\sum \sum_{j \neq k} r_{jk}^2}{\sum \sum_{j \neq k} r_{jk}^2 + \sum \sum_{j \neq k} q_{jk}^2} \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo r o coeficiente de correlação entre as variáveis e q , o coeficiente de correlação parcial. Dessa maneira, quanto mais próximo de 1, melhor é a aplicabilidade da amostra à metodologia da Análise Fatorial (Hair Junior et al, 2009). Segundo Kaiser e Rice (1974), os valores de KMO são classificados segundo o Quadro 02.

Quadro 02. Classificação do índice KMO segundo Keiser & Rice (1974)

Classificação	Excelente	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Inadequado
KMO	1,0-0,9	0,9-0,8	0,8-0,7	0,7-0,6	0,6-0,5	0,5-0,0

Fonte: Keiser e Rice (1974) (adaptado).

Segundo o Quadro 02, índices KMO acima de 0,9 são considerados excelentes, enquanto que os acima de 0,8 são considerados ótimos e os acima de 0,7, bons. Índices acima de 0,6 são considerados regulares e acima de 0,5 são classificados como ruins. Valente et al (2011) indicam ainda que valores abaixo de 0,5 sugerem a não aplicabilidade do método.

Posteriormente, verificou-se a adequação da amostra através do teste de Bartlett, que testa possíveis correlações com significância estatística entre as variáveis analisadas. Esse teste indica o prosseguimento a análise somente quando o p-valor (medida de significância) resultar em valores abaixo de 0,05 (Hair Junior et al, 2009).

3.5.2. Análise de Componentes Principais (ACP)

O método selecionado para extrair os fatores da base de dados foi a técnica da Análise dos Componentes Principais (ACP), a qual permite determinar os componentes lineares existentes dentre a coleção de elementos estudados, além de analisar como uma única variável pode colaborar com aquele componente. Assim, utiliza-se uma matriz de correlação para definir os autovalores, os quais permitem a extração os fatores (Field, 2009).

Sabendo que se pode gerar um número máximo de fatores igual a quantidade de variáveis analisadas, foram retidos os fatores com autovalores maiores do que 1, como sugerido por Kaiser (1960). Posteriormente à extração dos fatores, determinam-se as cargas das variáveis em cada fator para entender quanto as variáveis se adequam aos mesmos.

Para que as variáveis possuam cargas altas somente em um fator, foi realizada a rotação dos fatores, girando os eixos classificatórios com a rotação ortogonal do tipo Varimax. Esta rotação busca, dentro dos fatores, uma dispersão maximizada das cargas, convergindo para um resultado com mais fatores que agrupam um menor número de variáveis.

Uma vez determinadas as cargas das variáveis nos fatores, foram selecionadas as que irão compor cada fator, conforme recomenda Stevens (1992). O autor sugere que, para uma base de dados com 200 observações (valor aproximado da amostra após o refinamento dos dados), a carga de 0,512 é apontada como significativa.

Para se obter uma observação mais aguçada dos fatores resultantes da Análise Fatorial, era necessário saber qual a variância comum que ocorre nas variáveis dentro dos dados, sendo a proporção desta medida chamada de comunalidade. Assim, anteriormente à extração dos fatores, devido ao fato de haver tantos fatores quanto há variáveis, toda a variância pôde ser explicada pelos mesmos em razão de existir tantos fatores quanto variáveis, resultando em todas as comunalidades igual a 1.

Entretanto, após a extração, os fatores retidos passam a explicar apenas uma parte da variância, reduzindo assim os valores das comunalidades. Esses valores podem atingir o valor mínimo de 0, ilustrando um cenário onde a variável não tem sua variância compartilhada com nenhuma das demais variáveis.

Em seguida, foram estimados escores para os fatores resultantes da Análise Fatorial, possibilitando o ranqueamento dos parâmetros de acordo com sua relevância dentro da amostra. Isso foi realizado com base na análise das correlações entre as variáveis e os fatores que podem ser estimadas com auxílio dos autovalores e autovetores gerados pela ACP.

4. Resultados e Discussões

4.1. Refinamento dos dados e testes de adaptabilidade à Análise Fatorial

Utilizando os dois critérios de exclusão de dados na fase de pré-tratamento, resultou-se nos parâmetros excluídos do modelo, explicitados pelo Quadro 03.

Quadro 03. Parâmetros excluídos no pré-tratamento de dados pelos critérios de exclusão

Critério de Exclusão	Parâmetro excluído			
1º Critério: não existência de limites na legislação (CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011)	Alcalinidade de bicarbonato	Cobre total	Ítrio dissolvido	Sólidos totais em suspensão
	Alumínio total	Coliformes totais	Ítrio total	Sólidos fixos totais
	Cádmio dissolvido	Cromo dissolvido	Magnésio dissolvido	Sólidos sedimentáveis
	Cálcio dissolvido	Cromo hexavalente	Manganês dissolvido	Sólidos voláteis totais
	Cálcio total	DQO	Níquel dissolvido	Sulfato total
	Chumbo dissolvido	Dureza total	Potássio total	Sulfito
	Cobalto dissolvido	Ferro total	Sódio total	Zinco dissolvido
2º Critério: resultados não identificados na série histórica (2009-2014)	Alcalinidade total	Cobre dissolvido	Fluoreto total	Oxigênio dissolvido
	Arsênio total	Condutividade elétrica	Mercúrio total	Prata total
	Bário total	Coliformes termotolerantes	Nitrito	Sulfato total
	Cianeto livre	Cloreto total	Nitrogênio amoniacal total	Vanádio total
	Cobalto total	Fósforo total	Óleos e Graxas	Zinco total

Fonte: Autores (2020).

O Quadro 03 indica que 28 parâmetros inicialmente previstos para realizar o monitoramento não possuem limites estabelecidos nas legislações ambientais vigentes (1º critério), representando 46,7% dos parâmetros totais. Há também o indicativo que o 2º critério excluiu 20 parâmetros por não terem sido identificadas nos laudos consultados – representando 33,34% da amostra. Assim, dos 60 parâmetros inicialmente mapeados, descartou-se 48 – ou seja, 80% da amostra de parâmetros.

Assim, obteve-se 12 (doze) parâmetros escolhidos (Quadro 04), os quais serão submetidos à ACP.

Quadro 04. Parâmetros resultantes do pré-tratamento

Nº	Parâmetro	Nº	Parâmetro
01	Alumínio dissolvido	07	Ferro dissolvido
02	Cádmio total	08	Magnésio total
03	Cobre dissolvido	09	Manganês total
04	Chumbo total	10	Níquel total
05	Cromo total	11	pH
06	DBO	12	Turbidez

Fonte: Autores (2020).

Segundo o Quadro 04, restaram 12 parâmetros para analisar a qualidade de águas superficiais: alumínio dissolvido, cádmio total, cobre dissolvido, chumbo total, cromo total, DBO, ferro dissolvido, magnésio total, manganês total, níquel total, pH e turbidez. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, todos estes parâmetros são físico-químicos.

Após esse filtro, analisou-se a aplicabilidade do método de ACP na amostra via testes KMO e esfericidade de Bartlett. Os resultados dos testes constam na Tabela 01.

Tabela 01. Testes KMO e Bartlett

Teste		valor
Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)		0,476
Esfericidade de Bartlett	x² aproximado	250,66
	Graus de liberdade	66
	p-valor	0

Fonte: Autores (2020).

A Tabela 01 evidencia um KMO igual a 0,476 – classificado como insatisfatório de acordo com a Classificação de Kaiser & Rice (1974), indicando a não utilização dos dados para uma análise fatorial. Entretanto, o teste de Bartlett revela que há significância na matriz de correlação geral, visto que o p-valor encontrado foi de 0,001, indicando que há correlações significantes dentro dos dados.

4.2. Análise de Componentes Principais (ACP)

Diante dessas circunstâncias, realizou-se a Análise dos Componentes Principais com rotação Varimax para melhor adequação dos dados aos Fatores gerados. A partir disso, obteve-se 05 fatores que possuem autovalores maiores que um, bem como suas respectivas cargas (Tabela 02).

Tabela 02. Resultado da Análise de Componentes Principais com rotação ortogonal *Varimax*.

Parâmetro	Cargas Fatoriais estimadas					Comunalidade s
	F1	F2	F3	F4	F5	
Alumínio dissolvido	0,124	0,263	0,277	-0,671	0,445	0,810
Cádmio total	-0,021	0,405	-0,265	0,174	0,687	0,737
Chumbo total	0,825	0,040	-0,164	-0,375	-0,152	0,873
Cobre dissolvido	0,852	0,051	-0,405	-0,211	-0,093	0,946
Cromo total	0,660	-0,258	0,517	0,101	-0,271	0,853
DBO	-0,010	0,846	0,119	0,088	-0,287	0,819
Ferro dissolvido	-0,020	0,861	0,175	-0,051	-0,329	0,884
Magnésio total	-0,484	-0,202	-0,388	0,507	0,142	0,703
Manganês total	0,241	0,500	-0,543	0,334	-0,121	0,728
Níquel total	0,666	-0,259	0,579	0,323	0,111	0,962
Turbidez	0,259	0,520	0,597	0,329	0,308	0,898
pH	-0,727	-0,151	0,163	0,16	-0,193	0,719
% acumulada da variação total	26,585	46,687	61,794	72,571	82,117	-

Fonte: Autores (2020).

Pode-se depreender da Tabela 02 que os fatores gerados foram capazes de explicar aproximadamente 82% da variação dos dados, o que pode ser confirmado ao analisar a porcentagem acumulada da variação total com base nos os autovalores de cada componente. É possível identificar também que todos os valores das comunalidades apresentam valores superiores a 0,7, indicando que a Análise Fatorial foi capaz de explicar uma variância significativa em todas os parâmetros do modelo, acima do mínimo de 0,5 recomendado (Hair Junior et al, 2009).

Com base nas cargas fatoriais, foi possível determinar quais parâmetros compõem cada fator, selecionando as cargas com maior significância ($CF > 0,5$) e mantendo os parâmetros que melhor explicam cada Componente Principal (Fator) (Quadro 05).

Quadro 05. Agrupamento dos parâmetros em fatores de carga.

Fator 01 (F1)	Fator 02 (F2)	Fator 03 (F3)	Fator 04 (F4)	Fator 05 (F5)
Cobre dissolvido	DBO	Manganês total	Alumínio dissolvido	Cádmio total
Chumbo total	Ferro dissolvido	Turbidez	Magnésio total	
Cromo total				
Níquel total				
pH				

Fonte: Autores (2020)

O Quadro 05 revela o arranjo final dos fatores, sendo: F1, composto por cobre dissolvido, chumbo total, cromo total, níquel total e pH; F2, composto por DBO e Ferro dissolvido; F3, composto por Alumínio dissolvido e magnésio total e; F5, composto apenas por cádmio total. A Tabela 03 apresenta os valores destacados que justificam esse agrupamento.

Tabela 03. Maiores cargas de cada parâmetro analisado.

Parâmetro	Cargas Fatoriais estimadas				
	F1	F2	F3	F4	F5
Alumínio dissolvido	0,124	0,263	0,277	-0,671	0,445
Cádmio total	-0,021	0,405	-0,265	0,174	0,687
Chumbo total	0,825	0,040	-0,164	-0,375	-0,152
Cobre dissolvido	0,852	0,051	-0,405	-0,211	-0,093
Cromo total	0,660	-0,258	0,517	0,101	-0,271
DBO	-0,010	0,846	0,119	0,088	-0,287
Ferro dissolvido	-0,020	0,861	0,175	-0,051	-0,329
Magnésio total	-0,484	-0,202	-0,388	0,507	0,142
Manganês total	0,241	0,500	-0,543	0,334	-0,121
Níquel total	0,666	-0,259	0,579	0,323	0,111
Turbidez	0,259	0,520	0,597	0,329	0,308
pH	-0,727	-0,151	0,163	0,16	-0,193

Fonte: Autores (2020).

A partir da análise da Tabela 03, é possível salientar que o parâmetro Magnésio Total não possui nenhuma carga superior ao valor utilizado como parâmetro. Contudo, por possuir a maior carga no Fator 4, foi englobado nele ao final do agrupamento das informações. Ademais, ressalta-se também que os parâmetros Cromo Total, Níquel Total e Turbidez apresentaram cargas com valores significantes mesmo após a efetuação da rotação nos eixos dos fatores. Por isso, os parâmetros foram mantidos nos fatores nos quais estavam mais carregados.

Em seguida, ordenou-se de forma decrescente as variáveis (Tabela 04) para estabelecer um ranking dos parâmetros avaliados, utilizando para isso os escores fatoriais para cada uma delas com base nas cargas fatoriais. Estas cargas foram estimadas com base nos autovalores e autovetores dos parâmetros analisados.

Tabela 04. Ranking dos parâmetros avaliados em função da variância.

Ranking	Parâmetro	% explicada	% acumulada
01º	Turbidez	10,3	10,3
02º	Manganês total	9,5	19,8
03º	Cobre dissolvido	9,4	29,2
04º	DBO	9,3	38,5
05º	Níquel total	9,3	47,8
06º	Ferro dissolvido	9,0	56,8
07º	Chumbo total	8,9	65,7
08º	Cromo total	8,7	74,4
09º	Magnésio total	8,7	83,1
10º	Cádmio total	7,8	90,9
11º	Alumínio dissolvido	6,2	97,1
12º	pH	2,9	100

Fonte: Autores (2020).

Pode-se verificar a partir da Tabela 04 que o parâmetro que representa com maior eficiência o modelo foi o da Turbidez, evidenciando assim sua importância para o monitoramento da qualidade da água. Nessa conjuntura, Rocha e Pereira (2016) ressaltam a importância de se monitorar tal parâmetro, haja vista que o mesmo está relacionado a cor da água, variando de acordo com o período sazonal do corpo d'água e com a pluviosidade da região (Von Sperling, 2005).

Em relação ao segundo parâmetro (manganês total), este pode influenciar diretamente no sabor, cor, odor da água, além de favorecer o desenvolvimento de bactérias danosas à saúde humana (Moruzzi & Reali, 2012). Ademais, o Manganês, o Ferro e o Alumínio (2º, 6º e 11º no ranking) estão associados à dureza das águas, característica essa que compromete a qualidade do abastecimento se alterada (Rosalino, 2011).

Os metais pesados estão associados à interferência antrópica nas águas superficiais (Mafra et al, 2019), podendo ocorrer em maior concentração em áreas suscetíveis a atividades industriais e de exploração mineral, como é o caso dessa região. A alta concentração destes implica em riscos evidentes à biota aquática e à saúde humana. Baseado nisso, o Ministério da Saúde (2006) adverte que concentrações acima do previsto de cobre (3º parâmetro), níquel (5º), chumbo (7º), cromo (8º) e cádmio (10º) – originados a partir de resíduos industriais – podem comprometer o uso da água, considerando que os mesmos são considerados micropoluentes.

Quanto à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (4º parâmetro), sua ocorrência está associada à presença de matéria orgânica mineralizada por atividade de microorganismos na água – indicando um possível estado de poluição por redução do oxigênio dissolvido

(Ministério da Saúde, 2006). No contexto da região de estudo, é importante avaliar a carga orgânica lançada nos corpos d'água, gerada a partir de assentamentos situados próximos às áreas de beneficiamento mineral.

No que tange ao ferro dissolvido (6º parâmetro), este provoca alterações na cor, odor e sabor da água – comprometendo o uso dos recursos para fins de abastecimento e dessedentação. É importante monitorar tal parâmetro ao considerar que tal mineral é um dos elementos resultantes do processo de beneficiamento da região (Silva, 2012).

Em relação ao magnésio (9º parâmetro), o Ministério da Saúde (2006) indica um cuidado especial na sua avaliação, sendo este um dos responsáveis pelo processo de eutrofização (crescimento excessivo de algas e plantas). Já o alumínio dissolvido (11º parâmetro) é tido como componente que afeta a qualidade organoléptica da água, ou seja, características percebidas pelos seres humanos (cor, odor, sabor).

Quanto ao 12º e último parâmetro no ranking (pH), observa-se a baixa porcentagem da variância dos dados explicada pelo mesmo, indicando uma menor relevância estatística dos valores de pH observada no monitoramento da qualidade da água com base nos dados utilizados como referência para esta análise. O pH é importante na distribuição de substâncias dissolvidas em meios rios e lagos, sendo alterado por fatores naturais ou antropogênicos, como o despejo de resíduos industriais (Ministério da Saúde, 2006).

5. Considerações Finais

O setor minerário é decisivo na economia do estado do Pará, sendo indispensável a consolidação de suas atividades em áreas estratégicas. Todavia, os impactos ambientais advindos da operação de Grandes Projetos de Mineração podem comprometer sistemas ambientais complexos – como o de corpos d'água superficiais. Nesse contexto, uma correta e otimizada rede de monitoramento da qualidade de águas superficiais se manifesta como um sólido instrumento de gerenciamento de recursos hídricos, garantindo uma maior efetividade no cumprimento dos dispostos legais.

Neste estudo, obteve-se com êxito uma otimização dos parâmetros monitorados em um GPM da região sudeste paraense, reduzindo em 80% o número de variáveis a serem verificadas no atendimento das conformidades ambientais. Esse resultado não indica que as variáveis excluídas são insignificantes para avaliação da qualidade da água, mas sim que elas têm seu comportamento associado a um grupo reduzido de variáveis, variando de forma interdependente. Essa otimização implica não somente na redução de custos de manutenção da

rede de monitoramento por parte da empresa, como também agiliza o processo de avaliação dos relatórios técnicos submetidos à apreciação dos órgãos ambientais competentes.

Para trabalhos futuros, sugere-se replicar o método exposto em outras regiões da Amazônia, haja vista suas particularidades hidrográficas por sub-bacias. Dessa forma, será possível constituir arcabouço técnico para discutir mecanismo oficiais de otimização dos parâmetros a serem selecionados na avaliação dos cursos d'água, elementos essenciais em um rico cenário de biodiversidade amazônica.

Referências

Alves, I. C. C., El-Robrini, M., Santos, M. L. S., Monteiro, S. M., Barbosa, L. P. F. & Guimarães, J. T. F. (2012). Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha do Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazonica*, 42(1), 115-124. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000100014>. Acesso em 19 jan. 2020.

Ávila, M. W., Hora, M. A. G. M., Ávila, C. R., Alves, F. V., Faria, M. M. & Vieira, M. R. (2016). Gestão qualitativa dos recursos hídricos. Proposta metodológica para o planejamento de uma rede de estações de monitoramento da qualidade de águas superficiais. Estudo de caso: bacia hidrográfica do Rio Muriaé. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(2), 401-415. DOI: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p401-415>. Acesso em 19 jan. 2020.

Bhat, S. A., Meraj, G., Yaseen, S. & Pandit, A. K. (2014). Statistical Assessment of Water Quality Parameters for Pollution Source Identification in Sukhnag Stream: An Inflow Stream of Lake Wular (Ramsar Site), Kashmir Himalaya. *Journal of Ecosystems*, 2014, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/898054>. Acesso em 17 jan. 2020.

Calazans, G. M. (2015). Avaliação e proposta de adequação da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais das sub-bacias do Rio das velhas e do Rio Paraopeba utilizando técnicas estatísticas multivariadas. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte.

Costa, M. E. L. (2013). Monitoramento e modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do lago Paranoá. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília: Brasília.

Cota, G. E. M., Rosa, N. M. G., Mendes, I. A. S. & Magalhães Junior, A. P. (2019). Aspectos legais da segurança de barragens de rejeito de minério: implicações para a qualidade ambiental e usos múltiplos da água no alto Rio das velhas (MG). *GEOgraphia*, 21(45), 32-46.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. (1997). Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Senado: Brasília, DF.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). Resolução nº 357/2005, sobre 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. Senado: Brasília, DF.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2011). Resolução nº 430/2011, sobre Condições em padrões de lançamento de efluentes. Senado: Brasília, DF.

Departamento Nacional de Produção Mineral. (2017). Informe Mineral 1º Semestre/2017. Brasília.

Dong, J., Wan, G., Yan, H., Xu J. & Zhang, X. (2015). A survey of smart water quality monitoring system. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(7), 4893–4906. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-014-4026-x>. Acesso em 19 jan. 2020.

Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS*. 3ª Ed. Sage Publications Ltd.

Finotti, A. R., Susin, N., Finkler, R., Silva, M. D. & Schneider, V. E. (2014). Development of a monitoring network of water resources in urban areas as a support for municipal environmental management. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 182(1), 133-143. DOI: <http://dx.doi.org/10.2495/WP140121>. Acesso em 19 jan. 2020.

Girão, E. G., Andrade, E. M., Rosa, M. F., Araújo, L. F. P. & Meireles, A. C. M. (2007). Seleção de indicadores da qualidade de água no Rio Jaíba pelo emprego da análise de componente principal. *Ciência Agronômica*, 38(1), 17-24. Disponível em:

<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/144/139>. Acesso em 19 jan. 2020.

Gloria, L. P., Horn, B. C. & Hilgemann, M. (2017). Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da água – IQA. *Revista Caderno Pedagógico*, 14(1), 103-119. DOI: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1421>. Acesso em 19 jan. 2020.

Gomes Junior, C. S. V. & Silva, C. E. (2019). Reflexões sobre o licenciamento ambiental em empreendimentos no Estado de Sergipe. *Naturae*, 1(1), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2019.001.0001>. Acesso em 12 jan. 2020.

Guedes, H. A. S., Silva, D. D., Elesbon, A. A. A., Ribeiro, C. B. M., Matos, A. T. & Soares, J. H. P. (2012). Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(5), 558-563. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000500012>. Acesso em 13 jan. 2020.

Hair Junior, J. F., Black, W. C., Balbin, B. J., Anderson, R. E. & Tatham, R. L. (2009). *Análise Multivariada de dados*. 6ª Ed. Bookman: Porto Alegre.

Kaiser, H. F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141–151. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/001316446002000116>. Acesso em 08 jan. 2020.

Kaiser, H. F. & Rice, J. (1974). Little Jiffy, Mark Iv. *Educational and Psychological Measurement*, 34, 111-117. DOI: <https://doi.org/10.1177/001316447403400115>. Acesso em 08 jan. 2020.

Korf, E. P., Casagrande, R. L., Bedin, M. F. M. & Vargas, G. D. L. P. (2017). Monitoramento e calibração de modelo de qualidade das águas do Rio Passo Fundo. *Revista de Ciências Ambientais*, 11(1), 19-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v11i1.2767>. Acesso em 19 jan. 2020.

Leite, J. N. C. & Becker, V. (2019). Impactos do esgotamento hídrico e reinundação na qualidade da água de um reservatório da região tropical semiárida durante evento de seca prolongada. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 31(15), 1-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s2179-975x6918>. Acesso em 17 jan. 2020.

Lima, C. A. S., Bussons, M R. F. M. & Lima, J. P. (2019). Avaliação do programa de monitoramento ambiental de empreendimentos aquícolas no Estado do Amazonas, Brasil. *Revista Colombiana de Ciência Animal*, 11(2), 1-15. DOI: <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n2.2019.718>. Acesso em 17 jan. 2020.

Machado, E. S., Knapik, H. G. & Bitencourt, C. C. A. (2019). Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24(2), 261-269. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019181252>. Acesso em 18 jan. 2020.

Maia, K. P., Silva, G. A. & Libânio, M. (2019). Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24(5), 1013-1025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019175743>. Acesso em 14 jan. 2020.

Mafra, R. C., Pinto, M. A., Marques, L. G., Thomaz, L. F., Felici, E. M. & Costa, L. A. (2019). Análise da qualidade da água subterrânea em áreas industriais contaminadas na UGRHI-22. *Colloquium Exactarum*, 11(3), 17-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.5747/ce.2019.v11.n3.e281>. Acesso em 15 jan. 2020.

Brasil. Ministério da Saúde. (2006). Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília. Ministério da Saúde. ISBN 85-334-1240-1. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acesso em 10 jan. 2020.

Moruzzi R. B. & Reali, M. A. P. (2012). Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 4(1), 29-43. Disponível em:

<https://www.revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/11291/209209209303>. Acesso em 18 jan. 2020.

Oliveira, A. L. F., Cavalcante, F. S., Mioto, C. L. & Barbosa, D. S. (2019). Análise da qualidade dos Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA) das obras de duplicação de rodovias brasileiras. *Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 8(3), 115-140. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e32019115-140>. Acesso em 15 jan. 2020.

Oliveira, M. D., Rezende, O. L. T., Oliveira, S.M. A. C. & Libânio, M. (2014). Nova abordagem do Índice da Qualidade de Água bruta utilizando a Lógica Fuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 19(4), 361-372. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000803>. Acesso em 15 jan. 2020.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da Pesquisa Científica. [e-book]. UAB/NTE/UFSM: Santa Maria. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em 17 jan. 2020.

Pereira, R. S. (2004). Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. *Revista Eletrônica de Recursos Hídricos*, 1(1), 20-36.

Rocha, C. H. B. & Pereira, A. M. (2016). Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. *Ambiente & Água* -11(1), 176-187. DOI: <http://dx.doi.org/doi:10.4136/1980-993X>. Acesso em 12 jan. 2020.

Rosalino, M. R. R. (2011). Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil Sanitária. Monografia (Licenciatura em Ciências de Engenharia do Ambiente), Faculdade de Ciência e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Silva, A. M. C., Cunha, M. C. C. & Lopes, D. V. (2019). Qualidade da água como reflexo de atividades antrópicas em bacias hidrográficas do Nordeste, Brasil. *Geosul*, 34(72), 102-123. DOI: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p102>. Acesso em 19 jan. 2020.

Silva, A. R. B. (2012). A indústria mineral no Pará. Belém. UFPA: Belém. 178p.

Silva, R. F. T., Diniz, V., Ramos, A. (2015). Os contrastes da mineração e a busca do desenvolvimento sustentável a partir da implementação de medidas mitigadoras, compensatórias e de práticas voluntárias. *Revista de Direito, Economia e Desenvolvimento Sustentável*, 1(2), 139-155.

SEMAS – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. (2008). Decreto Estadual n.º 1120, de 11 de julho de 2008. Belém. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2008/07/08/9689/>. Acesso em 19 jan. 2020.

Stevens, J. (1992). Applied multivariate statistics for the social sciences. 2ª Ed. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Stival, M. M. & Silva, S. D. (2018). O desastre na barragem de mineração em Mariana e os impactos no Direito Ambiental- Internacional e brasileiro. *Direito Ambiental e Sociedade*, 8(3), 195-219.

Strobl, R.O.& Robillard, P.D. (2008). Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: a review. *Journal of Environmental Management*, 87(4), 639-648. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.001>. Acesso em 19 jan. 2020.

Valente, M. D. R. et al. Modelo de predição para o volume total de Quaruba (*Vochysia inundata ducke*) via análise de fatores e regressão. *Revista Árvore*, 35(2), 307-317. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000200015>. Acesso em 09 jan. 2020.

Viola, Z. G. G. (2008). Avaliação da qualidade das águas da bacia do Rio Doce/MG: caracterização da matéria orgânica e seus impactos ambientais. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte.

Volquind, R., Ramos, C. K. & Fernandes, E. S. (2019). Iniciativas para redução do volume de processos de licenciamento ambiental no órgão ambiental do Rio Grande do Sul – estudo de

caso. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 2(2), 863-876. Disponível em: <http://brjd.com.br/index.php/BJAER/article/view/1737/1665>. Acesso em 10 jan. 2020.

Von Sperling, M. (2005). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª Ed. UFMG: Belo Horizonte, 452 p.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Shara Alexandre da Silva – 20%

Luiz Eduardo Chaves de Azevedo – 20%

Gabriel Villas Boas de Amorim Lima – 20%

Marina Morhy Pereira – 20%

Ivan Roberto Santos Araújo – 20%