



AVALIAÇÃO DAS ESTAÇÕES DA REDE DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PIABANHA A PARTIR DA ANÁLISE DE FATORES

Mariana Dias Villas-Boas¹; Francisco Olivera², José Paulo Soares de Azevedo³, Filipe Jesus dos Santos⁴; Janaina Gomes Pires da Silva⁵; Marcelo Parente Henriques⁶, Rubens Esteves Kenu⁷ & Adriana Dantas Medeiros⁸

Resumo – A avaliação das redes de monitoramento é um dos grandes desafios da gestão de recursos hídricos. Este estudo tem como objetivo a avaliação das estações da Rede de Monitoramento da Qualidade de Água da Bacia do rio Piabanha (RMQA), operada pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil, no âmbito do projeto institucional “Estudos Integrados em Bacias Experimentais e Representativas da Região serrana – RJ - EIBEX” utilizando a análise multivariada, mais precisamente a Análise de Fatores. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que as estações foram agrupadas de acordo com a sua localização na bacia, com significantes cargas para apenas um fator, e elevadas comunalidades para a maioria das estações. Isto demonstra um bom desempenho do método e, também, que a RMQA está atendendo a um dos seus objetivos, que é o monitoramento dos impactos dos diferentes usos de solo na qualidade da água. A AF sugere a realocação ou exclusão das estações Poço Casinho e Liceu. Além disso, foi possível observar que a maior parte da variância dos dados é explicada pelo fator 1 (bacia urbana) o que evidencia uma das principais questões da bacia que é a deficiência no tratamento de esgoto doméstico.

Palavras-Chave – Monitoramento de Qualidade de Água, Análise de Fatores, Bacias Experimentais.

ASSESSMENT OF WATER QUALITY MONITORING NETWORK IN PIABANHA RIVER WATERSHED USING FACTOR ANALYSIS

Abstract – The monitoring network assessment is one of the needs of water management. This study aims to evaluate the monitoring gauges of Piabanha river Basin Water Quality Network (RMQA), operated by CPRM - Geological Survey of Brazil, within the project "Integrated Studies in Experimental and Representative Basins - EIBEX " using multivariate analysis, specifically the Factor Analysis. The results showed that the stations were grouped according to their location in the basin, with significant loads, and high communalities, demonstrating that RMQA is working aligned with their goals, i.e. the monitoring of the land use impacts on water quality. The AF suggests the relocation or exclusion of Poço Casinho and Liceu gauges. In addition, it was observed that most of the data variance is explained by the factor 1 (urban basin) which highlights one of the watershed: the deficiency in the treatment of domestic sewage.

Keywords – Experimental watersheds, Water Quality Monitoring, Factor Analysis.

¹ Pesquisadora em Geociências - CPRM/SGB, Av. Pasteur, 404,Urca/RJ – (21) 2546-0306, 2295-9183, mariana.villasboas@cprm.gov.br

² Professor Associado- Texas A&M University, College Station/TX - EUA, folivera@civil.tamu.edu

³ Professor Associado - UFRJ/COPPE, zepaulo@coc.ufrj.br.

⁴ Técnico em Geociências - CPRM/SGB, Av. Pasteur, 404,Urca/ RJ - (21) 2546-0366, (21) 2295-9183, filipe.santos@cprm.gov.br

⁵ Técnica em Geociências - CPRM/SGB, Av. Pasteur, 404,Urca/RJ – (21) 2546-0366, (21) 2295-9183, janaina.silva@cprm.gov.br

⁶ Pesquisador em Geociências - CPRM/SGB, Av. Pasteur, 404,Urca/RJ – (21) 2546-0306, (21) 2295-9183, marcelo.henriques@cprm.gov.br

⁷ Analista em Geociências - CPRM/SGB, Av. Pasteur, 404,Urca/RJ – (21) 2546-0306, (21) 2295-9183, rubens.kenu@cprm.gov.br

⁸ Pesquisador em Geociências - CPRM/SGB, Av. Pasteur, 404,Urca – RJ, (21) 2546-0306, (21) 2295-9183, adriana.medeiros@cprm.gov.br



1. INTRODUÇÃO

A avaliação das redes de monitoramento é uma das grandes necessidades da gestão de recursos hídricos. Tendo em vista o alto dispêndio de recursos necessários para a sua instalação e manutenção é importante certificar-se de que estejam funcionando de forma eficiente. Essa avaliação pode ser feita a partir dos dados gerados pela Rede que formam uma matriz com um grande número de variáveis, muitas vezes, de difícil interpretação.

Nos últimos anos, técnicas de análise multivariada têm sido amplamente utilizadas na interpretação de dados complexos para avaliação de uma variedade de questões ambientais, dentre as quais a qualidade da água, incluindo atividades como: a inspeção de padrões espaciais e temporais, parâmetros químicos associados com condições hidrológicas, fontes de poluição, etc. Dentre as técnicas de análise multivariada, destaca-se a Análise de Fatores (AF) onde são investigadas estruturas implícitas aos dados relacionadas às variáveis explícitas que contribuem para a melhor compreensão do conjunto.

Este estudo tem como objetivo a avaliação das estações da Rede de Monitoramento da Qualidade de Água da Bacia do rio Piabanha, operada pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil, no âmbito do projeto institucional “Estudos Integrados em Bacias Experimentais e Representativas da Região serrana – RJ - EIBEX” utilizando a Análise de Fatores.

O projeto intitulado EIBEX tem como um dos objetivos o monitoramento de variáveis hidrológicas em diferentes escalas (bacias experimentais) para o desenvolvimento de estudos e pesquisas que poderão ser extrapolados para o restante da bacia, isolados ou em cooperação com outras instituições. Um desses estudos diz respeito a avaliação da qualidade da água em relação aos diferentes uso e ocupação do solo existentes na bacia utilizando modelos espacialmente distribuídos, financiado pela Chamada de Projetos MEC/MCTI/CAPES/CNPq/FAPsnº 71/2013.

2. METODOLOGIA

A metodologia do estudo compreende as seguintes etapas listadas a seguir:

- a. Revisão bibliográfica de alguns dos estudos e pesquisas com o uso da análise multivariada com ênfase na técnica da Análise de Fatores;
- b. Caracterização da região de estudo, a partir do levantamento de estudos já realizados;
- c. Organização e pré-processamento dos dados hidrológicos disponíveis;
- d. Aplicação da Análise de Fatores que consiste nas seguintes etapas:
 - i. Definir matriz de cargas rotacionada;
 - ii. Identificar fatores significantes;
 - iii. Avaliar comunalidades/Variância Específica;
 - iv. Definir o significado de cada fator
- e. Avaliação das estações da Rede de Monitoramento a partir dos resultados obtidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nas últimas décadas, as técnicas de análise multivariada têm passado por uma intensa revolução. Dempster (1971) já previa um desenvolvimento notável na área da análise multivariada devido ao avanço tecnológico em computação. Além disso, a grande quantidade de informação



armazenada em bancos de dados, cada dia mais extensos, que precisa ser interpretada, contribuíram para a ampliação no uso das técnicas de análise multivariada, convertendo o dado em conhecimento. A Análise Multivariada compreende todas as técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medições. Isto é, além de determinar e medir o grau de relação entre variáveis, elas examinam também a relação existente entre combinação delas. (Hair Jr *et al.*(2009))

A Análise de Fatores (AF) destaca-se dentre as classes de técnicas de análise multivariada disponíveis que investigam a estrutura de dados no nível básico a fim de discernir uma estrutura lógica não diretamente aparente nos dados (Dempster (1971)). Essa análise tem como base a correlação entre as variáveis e a variância presente no conjunto de dados. Dentre as suas principais aplicações destacam-se: a identificação de fatores latentes, seleção, triagem e redução do número de variáveis.

Em um modelo de AF, as variáveis medidas dependem de fatores não observados, chamados fatores latentes ou comuns, já que podem afetar diversas variáveis simultaneamente. Assume-se que cada variável é dependente de uma combinação linear de fatores comuns cujos coeficientes são conhecidos como “cargas”. Denomina-se “comunalidade” a proporção da variância da variável que é compartilhada com os fatores comuns e “variância específica” a componente devido à variabilidade aleatória independente, que é específica da variável. Supondo que as variáveis encontram-se padronizadas, as cargas são como pesos das variáveis originais em relação aos fatores comuns, ou seja, representam a relação entre os fatores e as variáveis originais.

Recentemente, a AF tem sido utilizada em uma variedade de aplicações ambientais, incluindo: avaliação de poços de monitoramento de água subterrânea, análise de padrões espaciais e temporais de qualidade da água superficial, e avaliação de indicadores de qualidade ambiental (Oyang *et al.* (2006)). Panda *et al.* (2006) aplicou a análise de fatores em conjunto com clustering para estabelecer os processos naturais e antrópicos e fatores responsáveis pelo enriquecimento das características hidrológicas do Rio Mahanadi.

Nesse trabalho, a AF foi utilizada como ferramenta de avaliação das estações de monitoramento da RMQA sob o ponto de vista da sua localização em relação às bacias experimentais. Assim, as estações seriam as variáveis e cada fator comum ou latente corresponderia a uma bacia experimental. A forma como cada estação se associasse a cada um dos fatores seria interpretada para a avaliação da RMQA.

4. APLICAÇÃO

4.1. Área de Estudo

A área de estudo consiste em uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Piabanha localizada na região serrana do estado do Rio de Janeiro (bacia representativa). O rio Piabanha é afluente pela margem direita do rio Paraíba do Sul, uma bacia de relevância nacional por abrigar municípios dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. A sua bacia ocupa uma área de aproximadamente 2.050 km² e sofreu um crescimento urbano inadequado para as suas condições ambientais resultando em problemas tais como: desmatamento, deslizamentos, enchentes e poluição de alguns cursos d'água.

Atualmente, o Serviço Geológico do Brasil - CPRM opera uma Rede de Monitoramento de Qualidade de Água (RMQA) no âmbito do projeto institucional intitulado “Estudos Integrados em

Bacias Experimentais e Representativa – Região Serrana – RJ - EIBEX” (ARAÚJO *et al.* (2007)). Para o projeto, foi definida uma bacia representativa, que reunisse as características de uso de solo e vegetação da bacia do rio Piabanha, com cerca de 400 km² limitada pela estação fluviométrica Pedro do Rio que pertence a Rede Hidrometeorológica Nacional. Inserida na bacia representativa, foram definidas três bacias experimentais relacionadas aos principais usos e ocupação do solo, quais sejam: bacia de uso urbano, uso agrícola e mata preservada, respectivamente, com as seguintes áreas: 47 km², 30 km² e 13km². (Villas-Boas *et al.*(2011)). A Figura 1 apresenta a localização da bacia do Piabanha, as bacias representativa e experimentais e a RMQA.

A RMQA compreende campanhas de qualidade de água bimestrais em nove estações de monitoramento distribuídas ao longo da bacia representativa. As campanhas consistem em coletas de amostras conjugadas com a medição com sonda multiparamétrica onde são analisados/medidos os parâmetros listados na Tabela 1 pelo Laboratório de Análises Mineraiis – LAMIN da CPRM e laboratório contratado. A Tabela 2 apresenta a relação das estações da rede de qualidade de água com suas respectivas características.

Tabela 1 - Lista de Parâmetros da rede de qualidade de água da área de estudo.

Parâmetros - LAMIN			Laboratório Privado	Sonda Multiparamétrica
Alumínio (Al)	Condutividade Elétrica - 20°C(CE)	pH	DBO	pH
Antimônio (Sb)	Estanho (Sn)	Prata (Ag)	DQO	Temperatura
Arsênio (As)	Ferro (Fe)	Selênio (Se)	Organoclorados (SVOC)	Condutividade Elétrica - 20°C(CE)
Cádmio (Cd)	Fosfato Total (PO ₄ ⁻³)	Sólidos em Suspensão	Organofosforados	Oxigênio Dissolvido (OD)
Chumbo (Pb)	Manganês (Mn)	Sulfato (SO₄⁻²)	Carbamatos	
Cobalto (Co)	Níquel (Ni)	Turbidez (Tb)	Coliformes Fecais	
Cobre (Cu)	Nitrato (NO₃⁻)	Zinco (Zn)	Coliformes Totais	
Cromo Total (Cr)	Nitrogênio Amoniacal Total (NH4)			

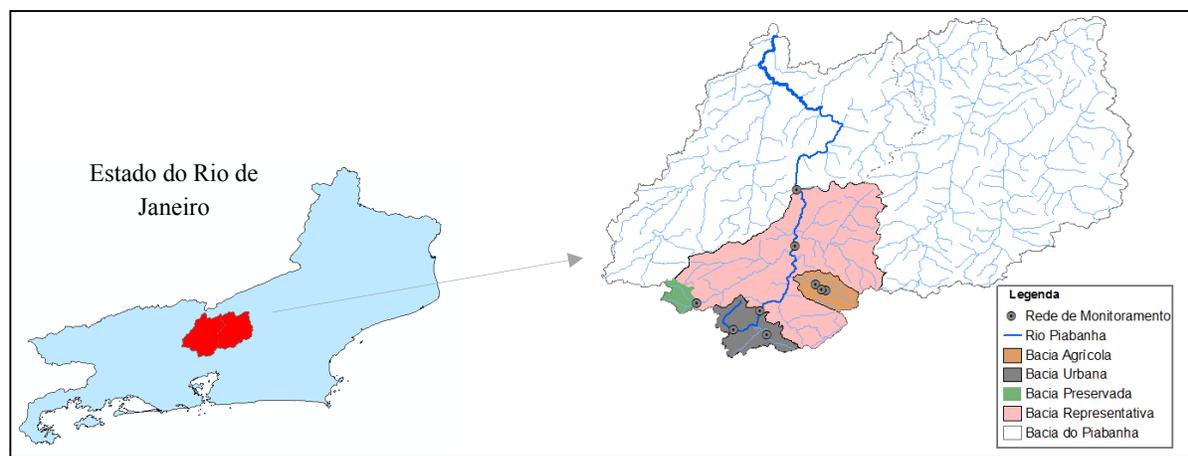


Figura 1 - Localização da bacia do Piabanha, das bacias representativas e experimentais, a RMQA bem como a hidrografia da área na escala 1:100.



Tabela 2 - Relação das estações de qualidade de água da RMQA.

ESTAÇÃO	CÓDIGO	CURSO D'AGUA	LATITUDE	LONGITUDE	Bacia Exp.
Rocio 2 (R)	58400212	Rio da Cidade	22° 28' 39"	43° 15' 25"	Preservada
Esperança (E)	58400010	Rio Piabanha	22° 30' 39"	43° 12' 37"	Urbana
Liceu (L)	58400050	Rio Piabanha	22° 29' 14"	43° 10' 38"	Urbana
Morin (M)	58400030	Rio Palatinado	22° 31' 00"	43° 10' 08"	Urbana
Poço Tarzan (PT)	58400110	Rio Bonfim	22° 27' 14"	43° 06' 28"	Agrícola
Poço Casinho (PC)	58400104	Rio Açú	22° 27' 40"	43° 05' 41"	Agrícola
Joao Christ (JC)	58400108	Rio Alcobaça	22° 27' 38"	43° 06' 00"	Agrícola
Pq.Petropolis (PP)	58400250	Rio Quitandinha	22° 24' 19"	43° 08' 00"	-
Pedro do Rio (PR)	58405000	Rio Piabanha	22° 19' 56"	43° 08' 01"	-

4.3. Pré-processamento dos dados

Primeiramente, os dados foram organizados em forma de uma matriz onde as colunas correspondem às estações de monitoramento, *variáveis*, e as linhas aos valores das medições dos parâmetros de qualidade de água para cada campanha de coleta, *observações*. A série de dados de qualidade de água disponível para o estudo compreendeu o período de Agosto de 2009 a maio de 2012, totalizando dezesseis coletas. Entretanto, não foi possível a utilização integral da série, pois alguns parâmetros começaram a ser medidos em 2009 e outros em 2010. Assim, a fim de dar uniformidade à série, a aplicação foi restrita ao período de 2010- 2012. Vale ressaltar que os dados eram brutos e não passaram por nenhum procedimento de consistência

A seguir, foi realizada a caracterização dos dados através dos histogramas, box-plots e scatter-plots, bem como o cálculo dos coeficientes de correlação das variáveis: r de Pearson e Rho de Spearman, que é frequentemente usado em estudos de qualidade da água (Mc Bride *et al.* (2005)).

Por último, foi feita a limpeza dos dados por meio do tratamento de valores ausentes, de valores não-numéricos e *outliers*. Em geral, existem duas maneiras de lidar com esses valores: o preenchimento ou a eliminação. Esta última foi a opção selecionada para os valores ausentes que foram excluídos do conjunto de dados. Em relação aos valores não-numéricos (resultados inferiores ao limite de quantificação do método de análise), foi adotado o seguinte critério: se o parâmetro tinha mais de 10% dos valores não-numéricos o parâmetro seria eliminado do conjunto de dados. Caso contrário, o valor não-numérico seria substituído pelo valor do limite de quantificação do método de análise. Como resultado, 19 parâmetros foram eliminados, deixando 13 para a aplicação final (parâmetros em negrito na Tabela 1). Por fim, a análise de *outliers* (valores extremos) foi realizada com base num método não-paramétrico chamado matriz de distâncias. Embora para a análise seja recomendável a eliminação dos valores extremos, para essa aplicação isso não foi feito. Pois, para os estudos de qualidade da água esses valores podem ser um dado importante, por exemplo, a fim de mostrar o início de uma mudança no comportamento rio, além disso, foram encontrados resultados similares após a retirada.

Por último, foi realizada a padronização dos dados de forma deixá-los com média zero e variância um. Assim, a matriz de dados ficou com 9 colunas (variáveis) e 122 linhas (observações).



4.3. Aplicação

A aplicação teve como objetivo a investigação da relação das estações de monitoramento com as três bacias experimentais (urbana, agrícola e área preservada) da bacia do rio Piabanha e assim fazer uma avaliação das estações da RMQA. Dessa forma, definiu-se *a priori* o número de fatores comuns igual a três, sendo cada fator relacionado a uma bacia experimental, estrutura subjacente investigada. Caso o resultado não fosse satisfatório seriam testados outros valores.

A AF foi realizada a partir do cálculo da estimativa de máxima verossimilhança da matriz de cargas dos fatores (Equação 1), utilizando o software MATLAB R2012a.

$$x = \mu + \Lambda f + e \quad (1)$$

onde, x é o vetor de variáveis observadas, μ é o vetor de constante de médias, Λ é a matriz de carga dos fatores, f é o vetor de fatores comuns padronizados e independentes, e e é um vetor de fatores específicos independentes.

A matriz de cargas gerada foi rotacionada ortogonalmente usando o método Varimax a fim de simplificar a estrutura dos fatores e facilitar a interpretação desses a partir da redução de algumas ambiguidades que geralmente acompanham a solução inicial (não rotacionada) (Hair *et al.* (2009)). As cargas das variáveis, após a rotação, ordenadas de forma decrescente por fator, para cada um dos fatores estão apresentadas na Tabela 3, bem como as comunalidades. Em seguida, as cargas significantes de cada variável foram identificadas (em negrito na Tabela 3). As cargas significantes são aquelas com valores maiores que 0,5 (Hair *et al.* (2009)).

Inicialmente, é importante fazer duas considerações em relação aos resultados obtidos. Primeiro, observa-se que a estação PR apresentou cargas quase similares e significantes para os fatores 1 e 2, o que é chamado de “carga cruzada”. Isto poderia ser um indício de falha na AF implicando em mudança na técnica, no tipo de rotação, número de fatores ou retirada da variável (Hair *et al.* (2009)) caso não houvesse uma justificativa teórica. Nesse caso, PR é a estação que fica no exutório da bacia representativa, ou seja, recebe a contribuição das três bacias experimentais, sendo assim, é consistente que tenha influência em todos os fatores. Segundo, a estação PC não apresentou nenhuma carga significativa e comunalidade muito baixa. A fim de solucionar esse problema, foram feitos todos os testes acima descritos sem sucesso. Por isso, optou-se pela retirada da estação da AF. Os novos valores de carga, após a retirada de PC estão apresentados na Tabela 3.

Com base na análise das cargas, é possível notar que o fator 1 é determinado majoritariamente pelas estações: *M*, *E*, *PP* e *PR*. As três primeiras apresentam cargas significantes e elevadas associadas a esse fator e reduzidas para os demais. Além disso, apresentam comunalidades próximas à unidade. As duas primeiras estações fazem parte da bacia urbana e as duas últimas são estações de controle, não inseridas em nenhuma das bacias experimentais. As estações *PT*, *JC*, *PR* e *L*, são dependentes do fator 2, sendo as duas primeiras inseridas na bacia agrícola e a última na bacia urbana. Já para o fator 3, apenas a estação *R* (área preservada), apresentou carga significativa. De acordo com o agrupamento de estações para cada fator é possível verificar que o primeiro fator pode ser associado à bacia de área urbana, o segundo fator à agrícola e o terceiro à preservada. A Figura 2 projeta as estações num sistema de coordenadas em que cada eixo corresponde a um fator. As estações foram coloridas de acordo com o fator predominante.

As comunalidades de um modo geral se aproximaram da unidade o que demonstra que praticamente toda a variância das variáveis (estações) é compartilhada com os fatores comuns,

sendo um indicativo do bom desempenho da técnica. Assim, a AF conseguiu identificar as bacias experimentais através dos fatores, agrupando as variáveis (estações) de acordo com sua localização, com algumas exceções, o que nos permite avaliar a RMQA com base nos seus resultados.

O fator 1 explica a maior parte da variância da amostra (51%), seguido pelo fator 2 (33%) e pelo fator 3 (16%). Isso demonstra que a variabilidade associada a área urbana é predominante e corrobora com a realidade da bacia, cujo um dos grandes problemas é o despejo de esgoto doméstico sem tratamento nos rios, que está relacionado à área urbana. A menor influência dos fatores 2 e 3 também é um indício do bom funcionamento da rede, já que nas áreas agrícola e preservada há uma menor variabilidade dos parâmetros selecionados.

Com base nesses resultados, as estações L e PC talvez precisem ser realocadas ou excluídas da RMQA. A estação L teve uma maior associação com o fator 2, o que pode significar que ela não é representativa da área urbana. A estação PC não apresentou carga significativa.

Tabela 3 – Cargas e comunalidades das estações para cada fator antes e depois da retirada da estação PC.

ESTAÇÃO	Solução com PC				Solução sem PC				Bacia Experimental
	CARGAS (fator)			COMUN.	CARGAS (fator)			COMUN.	
	1	2	3		1	2	3		
Pq.Petropolis (PP)	0.98	0.17	0.00	0.99	0.97	0.24	-0.02	0.99	-
Morin (M)	0.98	0.12	0.12	0.99	0.97	0.20	0.10	0.99	Urbana
Esperança (E)	0.98	0.18	0.00	1.00	0.96	0.26	-0.03	0.99	Urbana
Pedro do Rio (PR)	0.67	0.55	0.49	1.00	0.63	0.66	0.41	0.99	-
João Christ (JC)	0.15	0.96	0.23	1.00	0.08	0.97	0.13	0.97	Agrícola
Liceu (L)	0.47	0.76	0.24	0.85	0.41	0.83	0.12	0.86	Urbana
Poço Tarzan (PT)	0.37	0.60	0.44	0.69	0.32	0.69	0.35	0.70	Agrícola
Rocio (R)	-0.01	0.10	0.75	0.58	-0.02	0.19	0.74	0.59	Preservada
Poço Casinho (PC)	0.01	0.43	-0.03	0.18					Agrícola

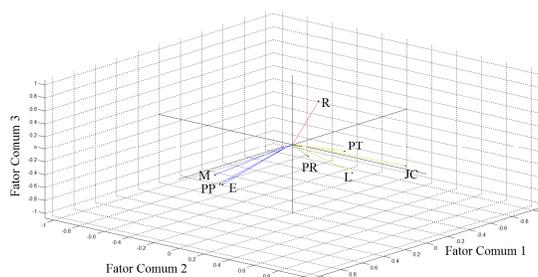


Figura 2 – Projeção das variáveis (estações) no sistema de coordenadas em que cada eixo é um fator comum.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise multivariada, mas precisamente a AF, é uma ferramenta eficaz na interpretação de dados complexos e vem sendo muito utilizada na área ambiental. Um dos seus objetivos é a análise das interações entre diversas variáveis com base em dimensões comuns subjacentes ao conjunto de dados (fatores comuns). A metodologia apresentada foi desenvolvida para a avaliação da RMQA da bacia representativa do Rio Piabanha.



Assim, foi possível a avaliação das estações de monitoramento da RMQA usando a AF na investigação das dimensões implícitas do conjunto de dados de qualidade da água da rede relacionadas às bacias experimentais estabelecidas para a área de estudo. Foram definidos três fatores comuns (1, 2 e 3) relacionados às três bacias experimentais (urbana, agrícola e área preservada respectivamente). A maioria das estações apresentou elevados valores para as comunalidades indicando um bom desempenho da AF.

De um modo geral, as estações foram agrupadas de acordo com a sua localização na bacia, com significantes cargas para apenas um fator e altas comunalidades, demonstrando que a RMQA está atendendo a um dos seus objetivos, que é o monitoramento dos impactos dos diferentes usos de solo na qualidade da água. As exceções foram as estações Poço Casinho e Pedro do Rio. A primeira não apresentou carga significativa para nenhum fator e foi excluída do estudo, sugerindo-se a realocação ou exclusão da estação da RMQA. A segunda apresentou cargas significantes para dois fatores que se justifica pelo fato dessa estação receber contribuição das três bacias experimentais. Por último, a estação Liceu foi agrupada no fator 2 embora esteja localizada na bacia urbana o que pode significar que a estação não é representativa e precise também ser reposicionada ou excluída. Vale ressaltar, que a maior parte da variância dos dados é explicada pelo fator 1 (bacia urbana).

Recomenda-se a atualização da AF, conforme forem obtidos mais dados de qualidade de água, antes da tomada de decisão em relação a alguma estação de forma a ter resultados mais robustos.

REFERÊNCIAS

- DEMPSTER, A. P., *An Overview of Multivariate Data Analysis*, 1971. *Journal of Multivariate Analysis* 1, 316-346.
- VILLAS-BOAS, M.D., CHAVES, C.F.B., SANTOS, F.J., SILVA, J.G.P., HENRIQUES, M.P., MONTEIRO, A.E.G.C., 2011. *Avaliação preliminar da qualidade da água nas bacias experimentais e representativa do rio Piabanha a partir do cálculo do Índice de Qualidade de Água – IQA*. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos; Novembro de 2011, Maceió, ABRH, 2011 Anais...
- VILLAS-BOAS, M.D., BASTOS, A.O., ARAÚJO, L.M.N., SILVA, F.J., MONTEIRO, J.G.P., , A.E.G.C., 2011. Manejo do uso do solo como mecanismo regulatório da gestão da qualidade da água - estudo de caso: a bacia do rio Piabanha. In: XIVth IWRA World Water Congress, Setembro de 2011, Porto de Galinhas, IWRA, 2011.
- MCBRIDE, G. B., 2005. *Using statistical methods for water quality management: issues, problems and solutions*, 1a edição, Wiley Interscience.
- HAIR JR, J.F., BLACK, W.C., BABIN, B.J., ANDERSON, R.E. (2009). *Multivariate Data Analysis*. Prentice Hall, 7a edição, 816 p.
- PANDA U.C., SUNDARAY S.K., RATH P., NAYAK, B.B., BHATTA, D. (2006) *Application of factor and cluster analysis for characterization of river and estuarine water systems-a case study: Mahanadi River (India)*. *Journal of Hydrology*; 331(3-4): 434-445.
- OUYANG, Y., NKEDI-KIZZA, P., WU, Q.T., SINDHE, D., HUANG, C.H., 2006. Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Res.*, 40, 3800 – 3810.
- ARAÚJO, L. M. N.; MORAIS, A.; VILLAS-BOAS, M.D. *et al Estudos Integrados de Bacias Experimentais Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piabanha*. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 11., 2007, São Paulo. Anais...