

APLICAÇÃO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA PARA COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS OBTIDOS A MONTANTE E JUSANTE DAS OBRAS DE IMPLANTAÇÃO DA BR-448/RS – RODOVIA DO PARQUE

Luis Adriel Pereira (*), Leticia Coradini Frantz, Lauro Bassi, Chaiana Teixeira, Andressa Krewer Facin

* Serviços Técnicos de Engenharia - STE S.A., luis.adriel@stesa.com.br

RESUMO

A BR-448, conhecida como Rodovia do Parque, configura-se em uma importante obra realizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), que visa ampliar a malha viária da região Metropolitana de Porto Alegre como alternativa para o fluxo de veículos da BR-116. No licenciamento do empreendimento foi prevista a implantação de 22 Programas Ambientais, dentre os quais o monitoramento da qualidade das águas superficiais dos cursos hídricos impactados pelas obras, os quais pertencem à Bacia Hidrográfica do rio dos Sinos. As atividades de foram executadas pela equipe técnica da gestora ambiental da BR-448, através de campanhas trimestrais, iniciadas em maio de 2010 concomitantemente ao início das obras. O presente estudo considerou o período de monitoramento entre maio de 2010 e outubro de 2014, totalizando 20 campanhas de amostragens nas quais foram analisados 20 parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Para a análise dos dados utilizou-se métodos estatísticos multivariados, como a Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise Fatorial (AF). Verificou-se que os resultados obtidos (cargas fatoriais) para os parâmetros na situação de jusante apresentaram resultado semelhante para os mesmos parâmetros considerados a montante, indicando que as obras realizadas na implantação da BR-448 não interferiram negativamente na qualidade dos recursos hídricos superficiais locais, sendo que a origem mais provável de poluição verificada está associada a atividades agrícolas (adubação) e domésticas (águas residuárias e esgotos).

PALAVRAS-CHAVE: Águas Superficiais, BR-448, Estatística Multivariada, Monitoramento.

INTRODUÇÃO

Os empreendimentos rodoviários em geral constituem uma categoria de obras de grande porte que alteram o desenvolvimento e ordenamento territorial de uma região e que, devido ao seu caráter linear, interceptam diferentes composições fisiográficas com ocupações distintas, gerando impactos ambientais que interferem diretamente no equilíbrio biofísico da região em que se inserem (COSTA, 2010). Em relação a isto, a degradação da qualidade das águas superficiais decorrentes das atividades construtivas de uma rodovia configura-se como um dos principais impactos ambientais negativos previstos para este tipo de obra.

Quando não adotadas medidas eficazes para a minimização e controle dos impactos negativos previstos para o empreendimento rodoviário, as alterações na qualidade das águas frequentemente podem estar associadas às atividades de movimentação de solo realizadas durante os serviços de desmatamento, destocamento, conformação de taludes de corte/aterro e terraplenagem. Estas atividades exercem influência direta nos processos de dinâmica superficial como instabilidade de encostas e taludes, formação de erosões e o consequente carreamento da fração fina do solo para drenagens e sistemas hídricos locais (impacto propriamente dito), ocasionando alterações nos padrões de turbidez e concentração de sólidos e, assim, acabam por comprometer a dinâmica natural dos ecossistemas aquáticos.

Pode-se destacar também as possíveis contaminações decorrentes do despejo de esgoto sanitário, derramamento ou vazamento de produtos químicos contendo hidrocarbonetos, como por exemplo, material betuminoso, combustíveis e óleos e graxas que também poder atingir drenagens naturais interceptadas ou próximas às obras.

É neste contexto que o monitoramento dos cursos hídricos potencialmente impactados durante o período de obras de implantação de uma rodovia tem por finalidade identificar eventuais alterações nos padrões de qualidade das águas superficiais locais, de modo que se possa verificar se há alterações negativas que sejam decorrentes das obras realizadas, em comparação com a caracterização inicial (antes das atividades das obras serem iniciadas), bem como a situação observada entre pontos de amostragem localizados a montante e jusante dos cursos d'água monitorados no empreendimento (PIMENTA *et. al.*, 2014).

Deste modo, no estudo ora apresentado foi avaliado o comportamento dos parâmetros de qualidade da água monitorados nos pontos de cursos hídricos localizados a montante das obras de implantação da BR-448 em comparação com os resultados obtidos a jusante através da análise estatística multivariada. Com isso buscou-se identificar similaridades e diferenças entre resultados verificados nas duas situações, além de evidenciar os principais fatores que caracterizam a qualidade dos cursos hídricos monitorados, e identificar possíveis alterações na qualidade da água que pudessem ter relação com as atividades realizadas para a construção da rodovia.

A IMPLANTAÇÃO DA BR-448 E O MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

A BR-448, conhecida como Rodovia do Parque, configura-se em uma importante obra realizada pelo DNIT, que visa ampliar a malha viária da região Metropolitana de Porto Alegre como alternativa para o fluxo de veículos da BR-116.

A área de inserção da rodovia integra o trecho inferior da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, onde predominam zonas rurais, núcleos urbanos e indústrias, abrangendo os municípios de Sapucaia do Sul, Esteio, Canoas e Porto Alegre, RS, conforme pode ser visualizado no mapa de localização apresentado na Figura 1.

No Estudo de Impacto ambiental (EIA) da Rodovia (STE, 2007) realizado previamente ao processo de licenciamento ambiental, destaca que a Área de Influência Direta (AID) mostra-se bastante antropizada e o rio dos Sinos e arroios próximos à área do empreendimento mostram-se bastante impactados, tanto por efluentes domésticos e industriais como pela lavoura de arroz irrigado, praticada na região, sendo estes fatores determinantes para a qualidade de suas águas.

A análise do meio físico do EIA apontou como principal impacto negativo possível decorrentes das obras a “contaminação dos recursos hídricos superficiais por resíduos sólidos, efluentes líquidos e materiais perigosos” cuja ação geradora ocorreria pela destinação inadequada de efluentes líquidos, de resíduos sólidos e vazamentos de materiais perigosos.

No Plano Básico Ambiental (PBA) da Rodovia foi previsto o monitoramento da qualidade da água superficial nos mesmos pontos onde foi realizada a avaliação por ocasião do EIA, sendo que nos arroios interceptados pela rodovia foram indicados pontos a montante e a jusante da mesma, perfazendo um total de 10 pontos monitorados através de campanhas trimestrais (primeira delas realizada anteriormente ao início das obras para a caracterização inicial da qualidade da água).

A partir disso, o licenciamento ambiental de instalação do empreendimento considerou a necessidade de monitorar a qualidade das águas superficiais dos cursos hídricos impactados pelas obras do empreendimento, por meio do Programa de Monitoramento e Controle da Qualidade dos Recursos Hídricos Superficiais.

ANÁLISE ESTATÍSTICA EM QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade das águas superficiais pode ser entendida como um reflexo do comportamento apresentado pelos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos verificados ao longo de campanhas sistemáticas de monitoramento. A análise em conjunto de diversos parâmetros possibilita melhor compreender o estado de qualidade de um sistema hídrico, porém, um conjunto de dados complexo composto por variáveis com diferentes escalas e unidades pode resultar em uma tarefa difícil, sujeita a interpretações subjetivas.

Considerando-se que nem sempre a estatística clássica é suficiente para auxiliar a análise dos dados, verifica-se na literatura uma disseminação pelo interesse de aplicação de métodos estatísticos multivariados, os quais permitem conhecer os parâmetros mais representativos da qualidade de um curso hídrico, minimizar a subjetividade existente na análise de dados de qualidade de água e, assim, obter resultados mais conclusivos.

Dentre os métodos e técnicas multivariadas disponíveis, a Análise dos Componentes Principais/Análise Fatorial (ACP/AF) ganha destaque, visto que fornecem resultados que independem da normalidade de distribuição dos dados monitorados, e também porque se verifica uma preferência de diversos autores por estes tipos de análises em estudos semelhantes relacionados à qualidade de recursos hídricos.

Segundo França (2009), a ACP/AF é utilizada para a investigação das relações existentes em um conjunto de “p” variáveis, em geral, correlacionadas, transformando-o em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas entre si denominadas Componentes Principais (CPs).

A ACP consiste numa técnica matemática que possibilita classificar e estabelecer correlações entre elementos de uma população, partindo-se do princípio de que haja influência de um conjunto de variáveis interagindo concomitantemente em um determinado fenômeno.

Inicialmente, o que se obtém da transformação das “p” variáveis originais correlacionadas são “p” CPs. No entanto, mesmo que sejam necessárias as “p” CPs para reproduzir a variabilidade total do sistema, a maior parte desta variabilidade pode ser explicada por um número menor “k” de componentes principais ($k < p$). Assim, como as “k” componentes principais explicam praticamente a mesma quantidade de informação que as “p” variáveis originais, podem-se substituir as “p” variáveis originais pelas “k” CPs, reduzindo-se o número de variáveis do problema em questão, perdendo no processo a menor quantidade de informação possível (FRANÇA, 2009).

O método tem por finalidade obter um reduzido número de variáveis não correlacionadas que explique a estrutura de dados amostrados e a maior variância identificada nos mesmos, excluindo-se variáveis que sejam sobrepostas a outras. Deste modo, a redundância existente no conjunto de dados é também substancialmente reduzida.

A AF tem objetivos semelhantes aos da ACP, visto que visa a redução da dimensão de dados multivariados e a melhor compreensão do relacionamento existente entre as variáveis (TRINDADE, 2013).

De acordo com diversos autores (FRANÇA, 2009; GUEDES *et al.*, 2012; TRINDADE, 2013), a AF é uma técnica na qual se supõe que as variáveis possam ser agrupadas de acordo com suas correlações e que as variáveis dentro de um grupo particular estão altamente correlacionadas entre si, mas muito pouco correlacionadas com variáveis pertencentes a outro grupo.

Enquanto a ACP acomoda toda a estrutura contida nos dados e descreve a máxima variância de todas as variáveis, a AF descreve as intercorrelações máximas existentes entre as variáveis, o que resulta em fatores baseados apenas na variância comum, sendo que as variáveis não comuns não entram no modelo.

A ACP pode ser compreendida como um método de extração utilizado na AF que independe da normalidade dos dados, no qual os escores gerados são utilizados na análise fatorial para reduzir a dimensionalidade do problema investigado, e ainda para identificar fatores que reflitam o que as variáveis têm em comum.

Os fatores são extraídos por ordem de importância, sendo o Fator 1 (componente 1) aquele no qual a maioria das variáveis tem carga significativa capaz de explicar o maior percentual da variância. O segundo Fator e os seguintes são baseados na quantia residual de variância. Consideram-se cargas fatoriais significantes valores obtidos $> 0,50$.

Uma denominação importante na AF refere-se à Comunalidade, que representa a quantia total de variância que uma variável original compartilha com todas as outras variáveis incluídas na análise. A Comunalidade é importante porque possibilita estabelecer um critério de representatividade entre o conjunto de variáveis, sendo aquelas com valores inferiores a 0,70 passíveis de exclusão da análise (HAIR *et al.*, 2005). Comunalidades grandes indicam que uma grande quantidade de variância em uma variável foi extraída pela solução fatorial.

Assim, a aplicação da AF apresenta-se mais favorável na verificação da variabilidade existente em amostras de qualidade de água superficial por considerar que o ambiente aquático é caracterizado pela associação de diferentes variáveis.

METODOLOGIA

As atividades de monitoramento realizadas foram executadas por equipe técnica da gestora ambiental da BR-448, através de campanhas trimestrais, iniciadas em maio de 2010 concomitantemente ao início das obras. Para este estudo considerou-se os dados obtidos no período de monitoramento entre maio de 2010 e outubro de 2014, totalizando 20 campanhas de amostragem nas quais foram analisados 20 parâmetros físico-químicos e microbiológicos, monitorados em 10 pontos situados a montante e a jusante de cursos hídricos interceptados ou próximos ao empreendimento, conforme Figura 1.

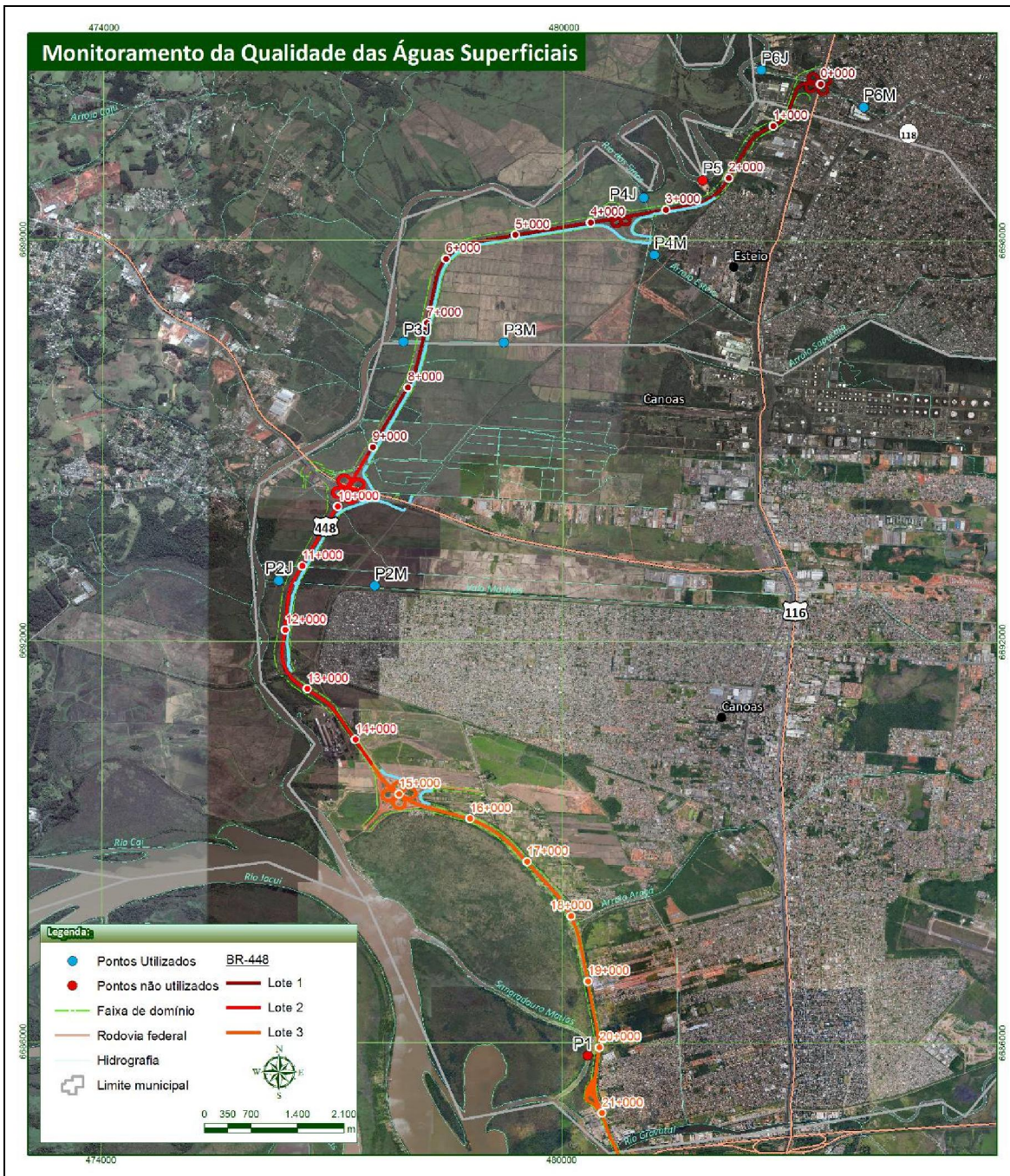


Figura 1: Localização dos pontos de monitoramento da qualidade da água. Fonte: Luis Adriel Pereira

Foram selecionados 8 dos 10 pontos, considerando-se aqueles com localização a montante e a jusante, podendo-se verificar as diferenças existentes em situação sem influência do empreendimento (montante) e com possível interferência em decorrência das obras realizadas (jusante). Os pontos utilizados no estudo foram: P2M e P2J; P3M e P3J; P4M e P4J; P6M e P6J.

Os parâmetros analisados foram: Temperatura (Temp), Oxigênio Dissolvido (OD), Alcalinidade total (At), DBO, DQO, pH, Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Suspensos (SS), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Cloretos (Cl), Coliformes Termotolerantes (Coli.Termo), Coliformes Totais (Coli.Totais), Nitratos (Ni), Fósforo (F), Ferro (Fe), Surfactantes (Surfact), Óleos e Graxas (O&G), Turbidez (Turb) e Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP).

Para a análise dos dados foram utilizados dois métodos de estatística multivariados, a saber: a Análise dos Componentes Principais (ACP) e a Análise Fatorial (AF). Neste trabalho a análise multivariada foi realizada com auxílio do software SPSS – *Statistical Package for Social Science (versão 21.0)*.

RESULTADOS

Inicialmente, foi verificado se a AF era adequada à matriz de dados realizando-se o Teste de Esfericidade de Bartlett, conforme descrito por França (2009). Para tanto é utilizado o resultado da Medida de Adequacidade de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Valores de KMO entre 0,5 e 1,0 indicam que o uso da AF é apropriado. O valor KMO obtido na análise para a situação de montante e jusante foi igual a 0,65 e 0,62, respectivamente.

Para evitar possíveis incoerências devido à diferença de unidades e escalas dos valores medidos, são obtidos da matriz de correlação os autovalores¹ e autovetores². Os autovetores, em ordem decrescente, definem a importância de cada componente principal (CP). Os autovalores correspondem à variância explicada por cada uma das componentes principais, conforme apresentado no Tabela 1.

Tabela 1. Variância total explicada

Componentes	Autovalor		% de variância explicada		% cumulativa	
	M	J	M	J	M	J
1	4,68	4,37	23,42	21,83	23,42	21,83
2	2,55	2,65	12,74	13,25	36,16	35,08
3	2,39	1,87	11,95	9,34	48,11	44,42
4	1,45	1,57	7,25	7,86	55,36	52,28
5	1,27	1,46	6,33	7,30	61,69	59,58
6	1,24	1,19	6,22	5,96	67,91	65,54
7	1,04	1,09	5,18	5,43	73,09	70,97
8	0,93	0,95	4,63	4,73	77,73	75,69
9	0,80	0,86	3,98	4,31	81,71	80,00
10	0,69	0,70	3,45	3,51	85,16	83,51
11	0,61	0,59	3,04	2,93	88,19	86,44
12	0,50	0,48	2,51	2,39	90,71	88,83
13	0,42	0,45	2,12	2,26	92,83	91,09
14	0,36	0,42	1,79	2,12	94,62	93,21
15	0,30	0,35	1,50	1,77	96,12	94,98
16	0,24	0,33	1,22	1,65	97,34	96,63
17	0,21	0,24	1,04	1,18	98,38	97,81
18	0,13	0,17	0,67	0,85	99,05	98,66
19	0,13	0,17	0,64	0,83	99,70	99,49
20	0,06	0,10	0,30	0,51	100,00	100,00

A escolha do número de CP é realizada considerando autovalores maiores que 1, conforme critério proposto por Kaiser³ (1958, *apud* FRANÇA, 2009). No caso apresentado considerou-se como suficiente a variância explicada nos sete primeiros componentes em ambas as situações (montante e jusante), os quais representam juntos mais de 70% da variância total.

O resultado das comunalidades dos parâmetros, que representam a porção de variância dos parâmetros distribuída pelos fatores, é apresentado na Tabela 2. É a partir das comunalidades que se definem quais parâmetros podem ser considerados mais relevantes na análise. Assim, considerou-se que parâmetros com comunalidade inferior a 0,70 poderiam ser dispensados das análises. No entanto, optou-se pela não exclusão destes, levando-se em conta que apresentam correlação com outros parâmetros, embora menor.

¹ Representam as variâncias de cada CP.

² Determinam as direções de variabilidade máxima.

³ No critério adotado por Kaiser (1958), tem-se que o número de componentes principais retidos deve ser igual ao de autovalores maiores que 1,0.

Dentre os resultados obtidos podem-se destacar os parâmetros OD, temperatura e Óleos e graxos, visto que em ambos os casos apresentaram comunalidades $<0,7$. Na situação à jusante destacam-se ainda os parâmetros HTP, surfactante e SST os quais podem ter relação direta com aspectos construtivos das obras da rodovia, entretanto, não se mostraram relevantes de acordo com esta análise.

Tabela 2. Comunalidades obtidas para os parâmetros

Parâmetro	Montante	Parâmetro	Jusante
SDT	0,83	Coli.Termo	0,85
SST	0,82	SDT	0,84
DBO	0,81	Ni	0,81
DQO	0,81	pH	0,81
Fe	0,79	CE	0,80
Cl	0,79	Cl	0,79
CE	0,79	Turb	0,77
pH	0,78	DBO	0,76
Coli.Termo	0,78	Coli.Totais	0,73
Al	0,77	Fe	0,73
SS	0,74	F	0,73
Surfact	0,73	Al	0,71
Ni	0,72	DQO	0,70
Coli.Totais	0,72	OD	0,69
HTP	0,72	HTP	0,68
Turb	0,66	Temp	0,67
Temp	0,65	Surfact	0,64
OD	0,59	SS	0,62
F	0,57	SST	0,51
O&G	0,54	O&G	0,35

Obtidos os valores das comunalidades e pesos (ou cargas) dos fatores, utilizou-se uma solução proposta por Kaiser (1958), denominada rotação varimax⁴. O Tabela 3 exhibe os pesos (ou cargas) dos 7 fatores após ser realizada a rotação. As cargas dos fatores com valor absoluto superior a 0,7 foram destacados, representando os parâmetros com maior contribuição para a variância dos dados dentro de cada fator.

Tabela 3. Matriz com as cargas dos fatores para cada parâmetro

Parâmetro	Fator 1		Fator 2		Fator 3		Fator 4		Fator 5		Fator 6		Fator 7	
	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J
Temp	0,17	0,17	0,07	0,22	0,15	0,38	-0,70	-0,61	-0,26	-0,19	-0,11	0,10	0,18	0,15
OD	-0,42	-0,56	-0,28	-0,22	0,08	0,34	0,55	0,18	-0,08	0,01	0,08	0,38	0,11	0,18
DBO	0,78	0,82	0,05	-0,01	0,28	0,03	-0,26	-0,14	0,18	0,26	-0,13	-0,09	-0,08	0,05
DQO	0,81	0,80	0,08	0,05	0,33	0,10	-0,14	-0,05	0,15	0,19	-0,02	-0,08	-0,04	0,04
Al	0,80	0,56	0,31	0,39	-0,04	-0,39	0,15	-0,03	0,06	0,08	-0,09	-0,23	0,07	0,20
pH	0,23	0,19	0,13	0,20	-0,12	0,07	0,05	0,05	0,02	0,05	-0,07	-0,07	0,83	0,84
CE	0,27	0,12	0,84	0,78	0,03	-0,23	0,06	0,03	0,05	0,12	-0,02	-0,30	0,03	0,10
Turb	-0,25	-0,06	-0,15	-0,06	0,50	0,87	-0,04	0,01	0,09	0,02	-0,03	0,02	0,56	0,07
SS	0,24	0,11	0,27	0,20	0,54	0,16	0,54	0,69	-0,11	-0,18	-0,03	-0,14	0,14	-0,12
SST	0,24	-0,11	0,05	0,39	0,87	0,20	0,06	0,20	0,01	0,11	0,01	-0,01	-0,04	-0,50
SDT	0,16	0,11	0,87	0,87	-0,08	0,06	-0,17	-0,19	-0,08	-0,15	-0,03	0,08	0,03	-0,04
Ni	-0,33	-0,11	0,05	-0,10	0,07	-0,06	-0,20	0,05	0,12	0,01	0,74	0,88	-0,10	-0,08
F	0,70	0,68	0,18	0,00	0,13	-0,12	0,05	0,03	0,08	-0,11	-0,10	0,49	0,10	0,01
Fe	0,04	-0,07	-0,11	-0,14	0,88	0,82	-0,05	0,02	0,02	0,07	0,01	-0,13	-0,03	-0,13
Cl	0,01	0,03	0,87	0,85	0,01	-0,16	0,15	0,20	-0,06	-0,06	-0,05	-0,02	0,02	0,07

4 A rotação varimax consiste na transformação ortogonal utilizada em álgebra matricial para rotacionar os eixos com os fatores. O objetivo principal desta rotação dos fatores é obter pesos altos para cada parâmetro em um único fator e pesos baixos ou moderados nos demais fatores (FRANÇA, 2009; TRINDADE, 2013).

Parâmetro	Fator 1		Fator 2		Fator 3		Fator 4		Fator 5		Fator 6		Fator 7	
	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J
Surfact	0,75	0,73	-0,03	0,06	-0,19	-0,11	-0,24	-0,16	0,12	-0,02	0,18	-0,03	0,15	0,23
Coli.Termo	0,22	0,19	0,02	0,06	0,06	0,04	-0,05	-0,14	0,84	0,89	0,02	0,04	0,11	0,01
Coli.Totais	0,14	0,09	-0,07	-0,11	-0,02	0,03	-0,02	-0,06	0,83	0,84	-0,08	-0,06	-0,04	-0,02
O&G	-0,02	-0,14	0,21	0,04	0,07	-0,08	0,63	0,45	-0,27	-0,06	-0,12	0,25	0,11	0,23
HTP	0,11	-0,26	-0,14	-0,03	-0,05	0,12	0,17	0,24	-0,16	-0,14	0,79	0,16	0,00	0,00

*Valores em negrito representam cargas fatoriais > 0,70.

Os fatores 1 e 2 foram considerados com alta relevância, pois juntos explicaram mais de 35% da variância total da amostra. No Fator 1, em ambas as situações os parâmetros que mais se destacaram em relação à variabilidade dos dados foram aqueles relacionados à presença de matéria orgânica (DBO e DQO), fósforo e detergentes (surfactantes), parâmetros sabidamente relacionados a despejos domésticos, originados em descargas indiscriminadas, comumente observadas nos sistemas hídricos da região metropolitana.

Torna-se clara a elevada inter-correlação negativa entre DBO e DQO em oposição ao OD (sinal negativo), indicando que o aumento da carga orgânica induz à redução dos níveis de OD devido à oxidação da matéria orgânica. Ao se observar ainda o Fator 1, destacam-se a variabilidade do Fósforo observada na em ambas as situações, que pode estar relacionada com a contribuição de esgotos sanitários ou com o uso de fertilizantes fosfatados usualmente utilizados nas lavouras irrigadas para produção de arroz, as quais ocorrem em vasta área na região de inserção da rodovia.

No Fator 2 destacam-se os parâmetros CE, SDT e CI com valores altos e positivos, indicando elevada inter-relação entre eles, e que o aumento de um influencia na elevação do valor do outro, o que é de se esperar, visto que são parâmetros físico-quimicamente relacionados.

No Fator 3 os parâmetros relacionados à fração de sólidos em suspensão presentes se destacam, com os SST, SS e turbidez variando no mesmo sentido, o que já era esperado, sendo que em relação a situação de jusante apenas a turbidez apresentou carga fatorial significativa. Isto indica que, mesmo que a maior parte da rodovia tenha sido construída em aterro, não houve contribuição representativa de sedimentos carreados para drenagens e, conseqüentemente, para os cursos hídricos locais situados a jusante, haja vista que a montante verificou-se a maior variabilidade dos resultados.

O Fator 4 apresentou os parâmetros Temperatura, OD, SS e O&G com carga fatorial $\geq 0,5$ em relação aos pontos situados a montante. Pode-se destacar a carga obtida para o parâmetro SS, o qual apresentou variância significativa em ambas as situações monitoradas, e em relação ao parâmetro O&G, que a montante apresentou carga relevante para explicar a variabilidade dos dados dentro do fator.

Há de se fazer uma ressalva em relação ao Fator 5, no qual os parâmetros referentes a presença de microorganismos potencialmente patogênicos apresentaram os maiores valores. Cabe mencionar que, embora a variância explicada pelo fator não tenha sido tão relevante tanto a montante quanto a jusante (6,3% a montante e 7,3% a jusante), em um primeiro momento pode-se interpretar que tais resultados são de certa forma positivos em relação à qualidade das águas monitoradas. No entanto, estes são resultados do comportamento uniforme verificado ao longo das campanhas, o que não significa que os resultados foram os desejados. Analisando-se os valores obtidos, verifica-se que estes foram muito elevados na maioria nas amostragens, denotando a forte característica de lançamentos de despejos contaminados diretamente nos cursos hídricos, ainda que isto não se apresente estatisticamente relevante em termos de variância, quando comparada aos demais fatores.

O Fator 6 apresentou carga fatorial significativamente semelhante para o parâmetro Ni tanto a jusante quanto a montante, e no Fator 7 o pH destacou-se como parâmetro importante para explicar a variância do fator, embora represente um percentual explicado menos expressivo.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, em ambas as situações o maior percentual da variância dos dados é explicada pelos sete primeiros parâmetros, onde se verificou uma significativa similaridade nos resultados obtidos para cada fator, evidenciando que tanto nos pontos de montante quanto de jusante os parâmetros apresentaram variações estatisticamente semelhantes ao longo do período monitorado considerado neste estudo.

Analisando-se os sete fatores mais relevantes, verifica-se que todas as cargas fatoriais representativas ($>0,5$) obtidas para os parâmetros na situação de jusante apresentaram resultado semelhante para os mesmos parâmetros considerados a montante.

Os resultados fornecem indicativos de que as obras realizadas na implantação da BR-448 não influenciaram negativamente a qualidade dos recursos hídricos superficiais locais, sendo que a origem mais provável de poluição verificada está associada a fatores antrópicos alheios às obras, tais como os derivados de atividades agrícolas (adubação) e domésticas (águas residuárias e esgotos).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA, R. M. O Papel da Supervisão Ambiental e Proposta de Avaliação de Desempenho Ambiental em Obras Rodoviárias. 2010. 351 f.. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.
2. FRANÇA, M. S. Análise Estatística Multivariada dos Dados de Monitoramento de Qualidade de Água da Bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos. Curitiba-PR. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. 2009.
3. GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da Análise Estatística Multivariada no Estudo da Qualidade da Água do Rio Pomba, MG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, p.558-563, 2012.
4. HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise Multivariada de Dados. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
5. KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika, 23, p. 187- 200, 1958.
6. PIMENTA, A. F. F. *et. al.* Gestão para o Licenciamento Ambiental de Obras Rodoviárias: Conceitos e Procedimentos. Curitiba:UFPR/ITTI, 2014.
7. Serviços Técnicos de Engenharia S.A. (STE), 2007. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto ao Meio Ambiente da BR-448 – Rodovia do Parque (EIA/RIMA). DNIT-CGMAB/STE, 2007.
8. TRINDADE, A. L. C. Aplicação de Técnicas Estatísticas para Avaliação de Dados de Monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais da Porção Mineira da Bacia do Rio São Francisco. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG. 2013.