

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,  
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS  
PARA AVALIAÇÃO DE DADOS DE  
MONITORAMENTO DE QUALIDADE DAS  
ÁGUAS SUPERFICIAIS DA PORÇÃO MINEIRA  
DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO**

**Ana Laura Cerqueira Trindade**

**Belo Horizonte**

**2013**

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS PARA  
AVALIAÇÃO DE DADOS DE MONITORAMENTO DE  
QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA  
PORÇÃO MINEIRA DA BACIA DO RIO SÃO  
FRANCISCO**

**Ana Laura Cerqueira Trindade**

Ana Laura Cerqueira Trindade

**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 apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente.

Linha de pesquisa: Caracterização, prevenção e controle da poluição.

Orientadora: Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira.

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
2013

T832a

Trindade, Ana Laura Cerqueira.

Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia do Rio São Francisco [manuscrito] / Ana Laura Cerqueira Trindade . – 2013.

xi, 165 f., enc.: il.

Orientadora: Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f.111-164.

Bibliografia: f.105-110.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente – Teses. 3. Análise multivariada – Teses. I. Trindade, Ana Laura Cerqueira. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. IV.Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

*Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos*

*Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte – BRASIL*

*Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br*

*http://www.smarh.eng.ufmg.br*

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Aplicação de Técnicas Estatísticas para Avaliação de Dados de Monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais da Porção Mineira da Bacia do Rio São Francisco

**ANA LAURA CERQUEIRA TRINDADE**

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Profª SÍLVIA MARIA ALVES CORRÊA OLIVEIRA

Profª MÔNICA MARIA DINIZ LEÃO

Profª WANDERLENE FERREIRA NACIF

Profª LENORA NUNES LUDOLF GOMES

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

\_\_\_\_\_  
Profª. Juliana Calábria de Araújo  
Coordenadora

\_\_\_\_\_  
Profª. Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira  
Orientadora

Belo Horizonte, 06 de março de 2013.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pois acredito que todos os demais agradecimentos devo a Ele, sempre muito presente em minha vida.

Agradeço de uma forma especialmente carinhosa à Professora Sílvia, minha orientadora em vários sentidos, tanto acadêmicos quanto pessoais. Foi um prazer imenso ser sua aluna durante esses dois anos. Obrigada por toda disponibilidade, atenção, carinho, ajuda, conversas, discussões, conhecimento, experiência e por ser essencial para essa minha conquista.

Agradeço à equipe do projeto pela presença em vários momentos e por possibilitarem o desenvolvimento dessa pesquisa. À Katiane, por todas as ajudas, comentários, informações, sugestões e pelo companheirismo. À Carminha, pelas discussões construtivas durante as reuniões. À Flávia, pelas ajudas, conversas e sempre bom humor. Ao nosso querido Pedro, pela prontidão em ajudar e pelos momentos de descontração.

Agradeço aos colegas de mestrado do SMARH pelo apoio e companheirismo, no dia a dia e na sala de aula. Em especial, à amiga Izabela, por todos os vários momentos em que esteve presente, pelas conversas, emails e conselhos, me ajudando mais do que imagina, e por ser um exemplo para mim; à Déborah, pelas inúmeras discussões sobre as análises multivariadas e por compartilhar de alguns momentos de desespero em relação a essas técnicas, e à Gabriela, pelo companheirismo nas matérias e trocas de experiências.

Agradeço aos professores do Programa, que fizeram parte da minha formação, e aos funcionários do Departamento pelo apoio.

Agradeço imensamente à banca, pela prontidão com que aceitaram o convite e por terem se disponibilizado a avaliar essa dissertação.

Agradeço à minha mãe pela presença, pelo apoio, por acompanhar todos os meus passos e por sempre incentivar a aquisição de conhecimento, algo que ninguém pode nos tirar. Ao meu pai, por possibilitar a minha continuação nos estudos. Ao meu irmão, pelas ajudas e opiniões. Ao Vinicius, pelo companheirismo, apoio e compreensão nos momentos de ausência.

A todos os meus demais familiares e amigos, agradeço por terem feito de alguma forma parte dessa conquista, mesmo com uma simples palavra de incentivo.

## RESUMO

Programas regulares de monitoramento da qualidade das águas são essenciais para a adequada gestão dos recursos hídricos. Porém, eles geram um complexo conjunto de dados, muitas vezes difíceis de interpretar e analisar para se concluir quais ações devem ser tomadas. Técnicas estatísticas multivariadas e testes de análise de tendências surgem como alternativas eficientes para extrair informações desses dados. O objetivo geral dessa pesquisa foi analisar os dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do rio São Francisco, obtidos pelo monitoramento do Programa Águas de Minas (IGAM), para identificação e avaliação espaço-temporal da sub-bacia mais impactada.

Os resultados das ferramentas estatísticas exploratórias utilizadas permitiram comparações visando determinar a sub-bacia mais impactada entre as dez Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs) da bacia do rio São Francisco. As técnicas utilizadas (AC, ACP, AF, Kruskal-Wallis) indicaram quatro grupos de UPGRHs, permitiram caracterizar a qualidade das águas na bacia do rio São Francisco, inferir sobre algumas características e possíveis fontes de poluição em cada um dos agrupamentos encontrados e identificar alguns parâmetros que são mais significativos para a distinção dos grupos. Além disso, permitiram identificar que as Unidades SF5 e SF10 correspondem às sub-bacias com características que mais se destacam entre as dez UPGRHs. Outras abordagens foram usadas para comparar detalhadamente todas as sub-bacias, como cálculo da violação aos limites legais e análise do IQA. Foi possível confirmar, a partir das inúmeras análises efetuadas, a maior degradação da UPGRH SF5 (sub-bacia do rio das Velhas), tendo como critério de decisão os impactos antrópicos.

Vinte e nove estações dessa Unidade mais impactada (SF5) foram estudadas quanto às tendências espaciais e temporais. A partir da análise dos valores medianos de IQA, foi possível observar que os agrupamentos dessas 29 estações foram condizentes com os níveis de poluição (alto, moderado e baixo) apresentados pelos cursos d'água dessa sub-bacia. Os resultados dos testes de tendência Mann-Kendall e Sazonal de Mann-Kendall mostraram que, apesar de terem ocorrido alterações da qualidade da água ao longo de dez anos na sub-bacia do rio das Velhas, houve uma concentração de estações apresentando variações em relação aos 11 parâmetros estudados nas proximidades dos grandes centros urbanos, região com o maior contingente populacional da sub-bacia e com uma expressiva atividade econômica.

## ABSTRACT

Regular monitoring programs of water quality are essential for the proper management of water resources. However, they generate a complex set of data, often difficult to interpret and analyze. Multivariate statistical techniques and trend tests tends to emerge as efficient alternatives to extract information from these data. The overall objective of this research was to analyze monitoring water quality data of São Francisco river basin, in Minas Gerais, obtained by the monitoring program *Projeto Águas de Minas* (IGAM), to identify and evaluate spatio-temporal changes in the more impacted sub-basin.

The results of exploratory statistical tools used in this search allowed for comparisons to determine the more impacted sub-basin between ten Units of the São Francisco basin. The techniques used (CA, PCA, FA, Kruskal-Wallis) indicated four groups of Units, allowed to characterize water quality in the São Francisco basin, to infer some characteristics and possible sources of pollution in each of the groupings found and to identified some parameters that are most significant to separate the groups. Furthermore, they indicated that the Units SF5 and SF10 are the sub-basins with characteristics that stand out among the ten Units. Other approaches were used to compare in detail all sub-basins such as the violation of legal limits and analysis of the IQA (Water Quality Index). It was confirmed, from the numerous analyzes performed, the greater degradation of Unit SF5 (sub-basin of Rio das Velhas), using as decision criterion the anthropogenic impacts.

Twenty-nine monitoring points from this more impacted sub-basin (SF5) were studied for spatial and temporal trends. Using the median values of IQA, it was observed that the groupings of these 29 stations were consistent with pollution levels (high, moderate and low) presented by watercourses from that sub-basin. Mann-Kendall and Seasonal Mann-Kendall trend test results showed that although there have been changes in water quality over ten years in the sub-basin of Rio das Velhas, there was a concentration of stations exhibiting variations in relation to the 11 parameters studied near large urban centers, the most populous region of sub-basin with a significant economic activity.



# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>X</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
3.1 O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA .....	4
3.2 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS PARA A ANÁLISE DE DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA .....	7
3.2.1 <i>Análise de Cluster</i> .....	8
3.2.2 <i>Análise Discriminante</i> .....	9
3.2.3 <i>Análise de Componentes Principais</i> .....	9
3.2.4 <i>Análise de Fatores ou Fatorial</i> .....	13
3.2.5 <i>Estudos que empregaram técnicas multivariadas na avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas</i> .....	16
3.3 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DE SÉRIES TEMPORAIS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	21
3.4 OUTRAS TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	25
<b>4 COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA IDENTIFICAÇÃO DA SUB-BACIA MAIS IMPACTADA NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO .....</b>	<b>27</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	27
4.2 ÁREA DE ESTUDO .....	27
4.3 1ª ETAPA: ORGANIZAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO.....	29
4.3.1 <i>Metodologia</i> .....	29
4.3.2 <i>Resultados e Discussão</i> .....	34
4.4 2ª ETAPA: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DAS SUB-BACIAS DO RIO SÃO FRANCISCO.....	35
4.4.1 <i>Metodologia</i> .....	35
4.4.2 <i>Resultados e Discussão</i> .....	38
4.5 3ª ETAPA: ANÁLISE INFERENCIAL DOS DADOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DAS SUB-BACIAS DO RIO SÃO FRANCISCO.....	57
4.5.1 <i>Metodologia</i> .....	57
4.5.2 <i>Resultados e Discussão</i> .....	60
4.6 CONCLUSÃO.....	73
<b>5 ESTUDO DAS TENDÊNCIAS TEMPORAIS E ESPACIAIS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DA SUB-BACIA DO RIO DAS VELHAS .....</b>	<b>74</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	74
5.2 METODOLOGIA .....	74
5.2.1 <i>Área de estudo</i> .....	74
5.2.2 <i>Banco de dados analisado</i> .....	76
5.2.3 <i>Estatística descritiva</i> .....	79
5.2.4 <i>Análise de tendência temporal</i> .....	79
5.2.5 <i>Análise de tendência espacial</i> .....	81
5.3 RESULTADOS .....	82
5.3.1 <i>Estatística descritiva</i> .....	82
5.3.2 <i>Análise de tendência temporal</i> .....	83
5.3.3 <i>Análise de tendência espacial</i> .....	91

5.4	CONCLUSÃO.....	101
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>103</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>104</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>105</b>
	<b>APÊNDICE I .....</b>	<b>112</b>
	<b>APÊNDICE II.....</b>	<b>143</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1. Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs) da bacia do rio São Francisco em Minas Gerais.....	28
Figura 4.2. Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia do rio São Francisco em Minas Gerais (UPGRHs) e suas respectivas estações de monitoramento.....	32
Figura 4.3. Fluxograma da metodologia correspondente à 1ª etapa desse capítulo. ....	33
Figura 4.4. Fluxograma da metodologia correspondente à 2ª etapa desse capítulo. ....	37
Figura 4.5. Gráfico das Distâncias Euclidianas nas quais os grupos foram formados ao longo dos passos de agrupamentos. ....	38
Figura 4.6. Dendograma da Análise de Cluster para o banco de dados de medianas do período de 2008 a 2011: 150 estações, 4 anos de série histórica e 36 parâmetros. ....	39
Figura 4.7. Gráfico <i>Scree</i> com os autovalores dos Componentes Principais obtidos na ACP com os dados da bacia do rio São Francisco. Os percentuais representam a proporção de variância explicada por cada CP (ex.: CP1 – 30,35%). ....	40
Figura 4.8. Gráfico das cargas dos dois primeiros Componentes Principais (CP1 x CP2). ....	43
Figura 4.9. Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP1 - Material inorgânico dissolvido x CP2 - Metais e esgoto sanitário). .	44
Figura 4.10. Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP1 - Material inorgânico dissolvido x CP3 - Efluente industrial). ....	45
Figura 4.11. Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP1 - Material inorgânico dissolvido x CP4 - Uso do solo). ....	45
Figura 4.12. Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP2 - Metais e esgoto sanitário x CP3 - Efluente industrial). ....	46
Figura 4.13. Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP2 - Metais e esgoto sanitário x CP4 - Uso do solo). ....	46
Figura 4.14. Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP3 - Efluente industrial x CP4 - Uso do solo). ....	47
Figura 4.15. Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP5 - Nitrato x CP7 – DBO e temperatura). ....	50
Figura 4.16. Gráfico das cargas dos dois primeiros Fatores (Fator 1 x Fator 2). ....	52
Figura 4.17. Fluxograma da metodologia correspondente à 3ª etapa desse capítulo. ....	59
Figura 4.18. Box-plot de alguns parâmetros indicados como significativamente diferentes entre as dez UPGRHs. ....	64

Figura 4.19. Frequência da ocorrência de parâmetros fora dos limites estabelecidos na legislação ao longo da série histórica nas sub-bacias SF1 a SF4 do rio São Francisco. ....	67
Figura 4.20. Frequência da ocorrência de parâmetros fora dos limites estabelecidos na legislação ao longo da série histórica nas sub-bacias SF5 a SF10 do rio São Francisco. ....	68
Figura 4.21. Dendograma do agrupamento das UPGRHs em função dos percentuais de ocorrência de violação dos limites da legislação. ....	69
Figura 4.22. Box-plots para comparação das frequências de violação de cada parâmetro, em cada agrupamento da AC. No eixo y, dados em percentual (ex.: 0,12 = 12% de coletas violando o limite legal). ....	70
Figura 4.23. Box-plots para comparação dos valores de IQA de cada umas das UPGRHs. ....	72
Figura 5.1. Localização das estações da sub-bacia do rio das Velhas analisadas para o estudo das tendências temporais e espaciais. ....	78
Figura 5.2. Fluxograma da metodologia para estudo das tendências temporais e espaciais. ...	81
Figura 5.3. Tendência temporal do parâmetro Arsênio, em duas estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011. ....	86
Figura 5.4. Tendência temporal do parâmetro Coliformes Termotolerantes, nas estações da sub-bacia do Velhas localizadas próximas as ETEs Arrudas e Onça, entre 2002 e 2011. ....	87
Figura 5.5. Tendência temporal do parâmetro DBO, em sete estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011. ....	88
Figura 5.6. Tendência temporal do parâmetro Nitrato, em três estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011. ....	88
Figura 5.7. Tendência temporal do parâmetro Manganês, em duas estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011. ....	89
Figura 5.8. Tendência temporal do parâmetro IQA, comparada com a tendência da DBO, em duas estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011. ....	90
Figura 5.9. Tendência temporal do parâmetro IQA, comparada com a tendência de Coliformes, em duas estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011. ....	90
Figura 5.10. Dendograma resultante da AC para agrupamento das estações da sub-bacia do rio das Velhas (SF5): 29 estações, 10 anos de série histórica e 11 parâmetros. ....	91
Figura 5.11. Mapas representando as tendências espaciais dos parâmetros Arsênio e Coliformes ao longo da sub-bacia do rio das Velhas. ....	94
Figura 5.12. Mapas representando as tendências espaciais dos parâmetros DBO e Fósforo ao longo da sub-bacia do rio das Velhas. ....	95
Figura 5.13. Mapas representando as tendências espaciais dos parâmetros Manganês e Nitrato ao longo da sub-bacia do rio das Velhas. ....	96

Figura 5.14. Mapas representando as tendências espaciais dos parâmetros Nitrogênio Amoniacal e OD ao longo da sub-bacia do rio das Velhas. ....	97
Figura 5.15. Mapas representando as tendências espaciais dos parâmetros SST e Turbidez ao longo da sub-bacia do rio das Velhas. ....	98
Figura 5.16. Mapa representando as tendências espaciais do parâmetro IQA ao longo da sub-bacia do rio das Velhas. ....	99

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Estações de monitoramento de qualidade da água na bacia do rio São Francisco.	30
Tabela 4.2. Nome, notação de referência e unidade dos parâmetros estudados, presentes no banco de dados disponibilizados pelo IGAM.	34
Tabela 4.3. Descrição geral dos dados de monitoramento de qualidade da água realizado pelo IGAM, por UPGRH. Coletas trimestrais da Rede Básica, entre os anos de 2008 e 2011.	35
Tabela 4.4. Valores das distâncias de ligação nas quais os agrupamentos foram formados ao longo dos passos de agrupamento.	39
Tabela 4.5. Resultado da ACP, com as cargas obtidas para cada Componente Principal, para a bacia do rio São Francisco.	41
Tabela 4.6. Possíveis fontes de poluição e o número de estações em cada uma das UPGRHs que pode estar sofrendo influência desses fatores de pressão.	48
Tabela 4.7. Resultado da AF, com as cargas obtidas para cada Fator, para a bacia do rio São Francisco.	51
Tabela 4.8. Fatores de poluição e degradação identificados nas sub-bacias de cada um dos agrupamentos, de acordo com os resultados dos gráfico de escores no plano dos CPs.	53
Tabela 5.1. Estações utilizadas na análise de tendência e suas respectivas frequências de amostragem e número de coletas ao longo dos dez anos.	77
Tabela 5.2. Estatística descritiva do banco de dados, considerando dados das coletas de 2002 a 2011 de 29 estações da sub-bacia do rio das Velhas (SF5).	83
Tabela 5.3. Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro IQA, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.	84
Tabela 5.4. Tendência temporal dos parâmetros na sub-bacia do rio das Velhas, nas 29 estações estudadas, com suas respectivas descrições: classe de enquadramento, município e curso d'água. Estações ordenadas de montante para jusante.	86

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AC	Análise de Cluster
ACP	Análise de Componentes Principais
AD	Análise Discriminante
AF	Análise Fatorial
Alc <sub>T</sub>	Alcalinidade total
Al <sub>diss</sub>	Alumínio dissolvido
ANA	Agência Nacional de Águas
As <sub>T</sub>	Arsênio total
Ba <sub>T</sub>	Bário total
Ca <sub>T</sub>	Cálcio total
CE	Condutividade elétrica <i>in loco</i>
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
Cl- <i>a</i>	Clorofila <i>a</i>
Cl <sub>T</sub> <sup>-</sup>	Cloreto total
CN <sup>-</sup>	Cianeto livre
Coli. term.	Coliformes termotolerantes
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
Cor	Cor verdadeira
CP	Componente Principal
CT	Contaminação por tóxicos
Cu <sub>diss</sub>	Cobre dissolvido
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DN	Deliberação Normativa
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Dur. <sub>T</sub>	Dureza total
EPA	Environmental Protection Agency – United States of America
FD	Função Discriminante
Fe <sub>diss</sub>	Ferro dissolvido
Fen <sub>T</sub>	Fenóis totais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET	Índice de Estado Trófico
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IQA	Índice de Qualidade da Água
$K_{\text{diss}}$	Potássio dissolvido
MBAS	Substâncias tensoativas
$Mg_T$	Magnésio total
$Mn_T$	Manganês total
$Na_{\text{diss}}$	Sódio dissolvido
$Ni_T$	Níquel total
$N-NH_4^+_T$	Nitrogênio amoniacal total
$N-NO_3^-$	Nitrato
OD	Oxigênio dissolvido
$Pb_T$	Chumbo total
pH	Potencial hidrogeniônico (pH) <i>in loco</i>
$P_T$	Fósforo total
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SDT	Sólidos dissolvidos totais
$SO_4^{-2}_T$	Sulfato total
SST	Sólidos em suspensão totais
ST	Sólidos totais
T	Tempo
$T_{H_2O}$	Temperatura da água
Turb.	Turbidez
UPGRH	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
$Zn_T$	Zinco total



# 1 INTRODUÇÃO

O monitoramento e a avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas são fatores primordiais para a adequada gestão dos recursos hídricos. Esses procedimentos permitem a caracterização e a análise de tendências em bacias hidrográficas, sendo essenciais para várias atividades, tais como planejamento, outorga, cobrança e enquadramento dos cursos de água (ANA, 2011), estratégias importantes para o manejo sustentável do uso dos recursos hídricos. A avaliação da qualidade da água inclui monitoramento, análise dos dados, elaboração de relatórios e disseminação de informações sobre as condições do ambiente aquático (BOYACIOGLU; BOYACIOGLU, 2008).

Em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), por meio da coordenação do Projeto Águas de Minas, é responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do estado. Em execução desde 1997, o programa disponibiliza uma série histórica de dados da qualidade das águas no Estado e gera informações indispensáveis ao gerenciamento correto dos recursos hídricos (IGAM, 2011).

O monitoramento de corpos d'água por longos períodos e em várias estações de amostragem produz um banco de dados grande e complexo, contendo diversos tipos de parâmetros de qualidade da água. Isso dificulta a análise e interpretação dos dados para se extrair informações compreensíveis e precisas de grande utilidade para a gestão adequada da qualidade da água, sendo muitas vezes subutilizados.

Métodos estatísticos multivariados são uma excelente ferramenta exploratória para a interpretação desses complexos conjuntos de informações. Diversos trabalhos empregaram algumas dessas técnicas (Análise de Cluster, Análise Discriminante e Análise de Componentes Principais/Análise Fatorial) para alcançar diferentes objetivos: extrair informações sobre as similaridades e as diferenças entre períodos e pontos de amostragem da qualidade da água; reconhecer os parâmetros responsáveis pelas variações e tendências espaciais e temporais desta qualidade; identificar as fontes de poluição de diferentes pontos de um corpo d'água; identificar e analisar as relações entre química da água, uso e ocupação do solo e geologia.

As análises de tendência em diversos estudos também demonstram o potencial de utilização da caracterização temporal dos dados de monitoramento como ferramenta de auxílio à gestão da qualidade das águas em bacias hidrográficas.

O trabalho em questão justifica-se por visar uma análise dos dados de qualidade da água gerados pelo programa de monitoramento executado pelo IGAM na bacia do rio São Francisco, Minas Gerais. Ao longo da análise proposta, busca-se comparar a qualidade da água das sub-bacias do rio São Francisco, identificar a mais impactada, estudar as tendências espaciais e temporais da qualidade da água nessa sub-bacia identificada, compreender a evolução e o comportamento dos poluentes, e, assim, fornecer um direcionamento aos órgãos gestores para ações de manejo visando a melhoria da qualidade da água.

Dessa forma, a relevância científica desse trabalho está no fato de promover o uso de técnicas multivariadas e outras análises estatísticas para a avaliação da qualidade das águas, destacando seus benefícios e limitações e fornecendo subsídios técnicos consistentes que podem servir de orientação para outros estudos.

O desenvolvimento do trabalho foi estruturado em dois grandes capítulos: “Comparação da qualidade das águas superficiais para identificação da sub-bacia mais impactada na bacia do rio São Francisco” e “Estudo das tendências temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade de água da sub-bacia do rio das Velhas”.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 *Objetivo geral***

O objetivo geral dessa pesquisa é analisar, por meio de técnicas estatísticas, os dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do rio São Francisco para identificação e avaliação espaço-temporal da sub-bacia mais impactada.

### **2.2 *Objetivos específicos***

- Comparar, em termos de qualidade da água, as dez Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRHs) da bacia do rio São Francisco;
- Identificar os principais fatores responsáveis pela poluição de cada uma das UPGRHs;
- Identificar a UPGRH (sub-bacia) mais impactada e os fatores responsáveis por esse impacto;
- Estudar as tendências temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade de água associados à degradação ambiental na sub-bacia mais impactada.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 O monitoramento da qualidade da água

Os rios são sistemas complexos caracterizados como escoadouros naturais das áreas de drenagens adjacentes, que formam as bacias hidrográficas. A complexidade desses sistemas lóticos deve-se ao uso da terra, geologia, tamanho e formas das bacias de drenagem, além das condições climáticas locais (TOLEDO; NICOLLELA, 2002).

A qualidade da água de um rio em qualquer ponto reflete várias interferências, incluindo litologia da bacia, condições climáticas e interferências antropogênicas. Por qualidade da água entende-se o conjunto de todas as características físicas, químicas e biológicas que ela apresenta (LEMOS, 2011).

Tanto os processos naturais, como clima, precipitação, erosão, intemperismo, geologia, tipo de solo, quanto as influências antropogênicas, tais como atividades urbanas, industriais e agrícolas (uso e ocupação do solo) e o aumento da exploração dos recursos hídricos, podem determinar a qualidade da água em uma região (MENDIGUCHÍA *et al.*, 2004; SINGH *et al.*, 2004, VEGA *et al.*, 1998).

Águas superficiais são muito vulneráveis à poluição devido seu fácil acesso (SINGH *et al.*, 2004). Rios desempenham um papel importante na assimilação ou transporte de águas residuárias municipais e industriais e no escoamento de terras agrícolas (VIDAL *et al.*, 2000). A descarga de efluentes municipais e industriais constitui uma constante fonte de poluição, enquanto o escoamento superficial é um fenômeno sazonal, em grande parte afetada pelo clima na bacia (SUNDARY *et al.*, 2005; VEGA *et al.*, 1998). Os impactos ambientais das águas residuárias municipais e da descarga de efluentes industriais em águas receptoras são numerosos e a entrada de contaminantes pode ser perigosa, tornando a água inadequada para o consumo humano, recreação, indústria e agricultura (MENDIGUCHÍA *et al.*, 2004).

A grande maioria dos problemas ligados à qualidade de água está diretamente relacionada às cargas poluentes que chegam aos recursos hídricos por meio da drenagem. Ligações clandestinas de esgotos domésticos e/ou industriais e a lixiviação do solo introduzem matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos ao meio aquático. A matéria orgânica é responsável por consumir indiretamente uma parte do oxigênio dissolvido disponível, através

de processos de estabilização realizados por bactérias decompositoras. Os nutrientes, especialmente o fósforo e o nitrogênio, potenciais causadores da eutrofização, influenciam na qualidade das águas adiantando o processo de envelhecimento natural dos lagos. Por fim, os organismos patogênicos, cuja origem em esgotos é predominantemente humana, refletem diretamente o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico da região (VON SPERLING, 1996).

Apesar de, em termos gerais, os indicadores típicos que influenciam a química aquática, tais quais citados anteriormente, serem bem conhecidos, a forma com a qual eles interagem e o resultado dessa interação em nível regional são difíceis de prever e generalizar, uma vez que os resultados diferem de local para local (CHAPMAN, 1992; XIE *et al.*, 2005 e ZHANG *et al.*, 2011). O conhecimento dessas interações é essencial para o planejamento regional, para o manejo sustentável dos recursos hídricos naturais e para a proteção ambiental (XIE *et al.*, 2005).

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos que caracterizam a qualidade das águas sofrem grandes variações no tempo e no espaço (ANDRADE *et al.*, 2007). Tendo em vista essas variações espaciais e temporais na hidroquímica de um rio, surge a necessidade de estudos e investimentos para o acompanhamento da qualidade das águas nas diferentes regiões de interesse. Programas regulares de monitoramento são, então, necessários para estimativas confiáveis da qualidade da água. Esses programas para gerenciamento dos recursos hídricos requerem entendimento das características hidromorfológicas, químicas e biológicas do corpo d'água (SIMEONOV *et al.*, 2003; SHRESTHA; KAZAMA, 2007) e devem ser sistemáticos para obter a real estimativa da variação da qualidade das águas superficiais. Em geral, um programa de monitoramento inclui coletas frequentes nos mesmos pontos de amostragem e análise em laboratório de grande número de parâmetros (ANDRADE *et al.*, 2007).

O monitoramento cuidadoso da qualidade da água de um rio é uma das maiores prioridades em termos de política de proteção ambiental (SIMEONOV *et al.*, 2002). A importância de um programa de monitoramento é identificar as mudanças nas variáveis bióticas e abióticas, as quais afetam a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, de forma a possibilitar o manejo, a conservação e a utilização dos recursos existentes, considerando as diferenças regionais quanto aos aspectos geográficos, sociais e econômicos (BARBOSA, 1994).

A existência de uma rede permanente de monitoramento é essencial para uma avaliação da qualidade ambiental, no entanto, sua idealização e manutenção conta com restrições, inclusive de ordem material. Portanto, é essencial uma discussão criteriosa de sua organização, considerando as variáveis analisadas, os pontos de amostragem, a periodicidade e a apresentação dos dados, incluindo neste tópico os índices de qualidade adotados (LAMPARELLI, 2004). O uso de indicadores de qualidade de água consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as alterações ocorridas na microbacia, sejam estas de origens antrópicas ou naturais (TOLEDO; NICOLLELA, 2002).

O monitoramento deve ser realizado por um propósito e os programas podem ser projetados para atender a uma variedade de metas de informação, por exemplo, a avaliação das condições do ambiente, identificação de tendências, ou a detecção de violação aos limites legais (DIXON; CHISWELL, 1996). Dessa forma, é necessário que o objetivo do monitoramento esteja claro antes de iniciá-lo. Os objetivos podem ser baseados em requisitos operacionais ou de gestão e podem responder a variadas demandas, já que o monitoramento é uma ferramenta para estabelecer padrões de qualidade, determinar tendências de qualidade, identificar trechos semelhantes ou não e identificar fontes e causas de degradação da qualidade (CHAPMAN, 1992; VIANA, 2012).

No entanto, as redes de monitoramento da qualidade da água têm sido tradicionalmente concebidas com base na experiência e intuição relacionadas à prevenção da degradação da qualidade da água, em vez de serem baseadas em um projeto sistemático e objetivos específicos de monitoramento. A fim de atender aos objetivos de monitoramento, gestores de rede selecionam locais de monitoramento visando avaliar as condições de qualidade da água para a melhoria, manutenção de boa qualidade, controle de alterações nessa qualidade e controle da poluição (PARK *et al.*, 2006).

A existência de séries históricas de dados e sua interpretação permitem uma melhor compreensão da evolução temporal da qualidade ambiental e sua correlação com outros fenômenos, climáticos ou econômicos, indicando prioridades para a elaboração de ações de controle, fiscalização, investimentos ou de legislações específicas que levem à proteção e/ou à melhoria da qualidade ambiental (LAMPARELLI, 2004).

Além de servirem para o estabelecimento de políticas ambientais, os resultados do monitoramento devem ser utilizados para informar o público em geral. Este tipo de

informação tem sido cada vez mais cobrado das agências ambientais governamentais, uma vez que há uma crescente consciência de que estes aspectos estão vinculados à qualidade de vida da população (LAMPARELLI, 2004).

Apesar da grande importância do monitoramento para a gestão da qualidade da água, programas de monitoramento por um longo período e em vários pontos de amostragem produzem uma grande e complexa matriz de dados contendo diversos parâmetros físico-químicos, que são difíceis de interpretar para chegar a conclusões compreensíveis e significativas (ANDRADE *et al.*, 2007; CHAPMAN, 1992; DIXON; CHISWELL, 1996; SIMEONOV *et al.*, 2003; ZHANG *et al.*, 2011). Além disso, os dados ambientais são caracterizados pela sua alta variabilidade, devido às diferentes influências naturais e antropogênicas (SIMEONOV *et al.*, 2002). Sendo assim, um grande problema no âmbito do monitoramento é a armazenagem e análise eficiente dos dados obtidos (CARLETON *et al.*, 2005).

Além disso, programas de monitoramento são dispendiosos e por isso há a necessidade de otimização da rede de amostragem proposta, com a análise da frequência de amostragem e do número de parâmetros monitorados, reduzindo esses para os mais representativos, sem perda de informação útil (NONATO *et al.*, 2007).

As técnicas estatísticas multivariadas e a análise exploratória de dados são ferramentas apropriadas para uma redução significativa das medidas físico-químicas, permitindo a análise e interpretação desses complexos conjuntos de dados de qualidade de água e a compreensão das variações temporais e espaciais (SINGH *et al.*, 2004; ZHOU *et al.*, 2007).

### **3.2 Técnicas estatísticas multivariadas para a análise de dados de qualidade da água**

Existem vários estudos que confirmam a utilidade das técnicas estatística multivariadas na análise de grandes e complexos conjuntos de dados, visando o controle das fontes de poluição e o planejamento de redes de monitoramento eficientes para a gestão dos recursos hídricos. Alguns aspectos teóricos dessas técnicas serão detalhados nos próximos tópicos e, em seguida, serão apresentados alguns estudos aplicados à análise de qualidade da água que utilizaram as ferramentas multivariadas.

### 3.2.1 Análise de Cluster

A Análise de Cluster (AC), também conhecida como Análise de Agrupamento, agrupa objetos (casos) em classes (clusters) com base nas similaridades dentro da classe e dissimilaridades entre as diferentes classes (SINGH *et al.*, 2004; WUNDERLIN *et al.*, 2001). A AC detecta similaridades ou dissimilaridades entre um grande grupo de objetos caracterizados por um certo número de variáveis (SIMEONOV *et al.*, 2002). Os clusters resultantes devem exibir alta homogeneidade interna (dentro do cluster) e alta heterogeneidade externa (entre os clusters) (SHRESTHA; KAZAMA, 2007; ZHANG *et al.*, 2011). O agrupamento hierárquico é a abordagem mais comum, na qual os clusters são formados sequencialmente, começando com o par mais similar de objetos e formando clusters maiores, passo por passo, até que se tenha apenas um cluster (SINGH *et al.*, 2004). É tipicamente ilustrado pelo dendograma (ou dendrograma), que fornece um resumo visual do processo de agrupamento, apresentados os grupos e sua proximidade, com uma grande redução da dimensão dos dados originais (SHRESTHA; KAZAMA, 2007).

A Distância Euclidiana fornece a similaridade entre duas amostras e é calculada pela diferença entre os valores analíticos das variáveis das duas amostras (LATTIN *et al.*, 2011). A distância de ligação reportada como  $D_{link}/D_{max}$ , representa o quociente entre a distância de ligação para um caso particular dividido pela distância máxima, multiplicado por 100, e é útil para padronizar a distância de ligação representada no eixo-y (WUNDERLIN *et al.*, 2001). É comum que os agrupamento sejam analisados a uma distância  $D_{link}/D_{max} \times 100 < 60$  (SHRESTHA, KAZAMA, 2007; SOJKA *et al.*, 2008).

Para definir os grupos formados na AC, Vicini (2005) demonstra que pode-se traçar uma linha paralelamente ao eixo horizontal do dendograma, denominada “Linha Fenon” ou linha de corte. Para determinar em qual valor do eixo-y essa linha será traçada, utilizam-se os valores das Distâncias Euclidianas de ligação entre as variáveis. O corte, no gráfico, que determina o número de grupos, pode ser estabelecido em relação às maiores distâncias em que os grupos foram formados, levando-se sempre em consideração os critérios adotados por cada pesquisador. Gráficos das distâncias nas quais os grupos foram formados servem de auxílio para o pesquisador, caso no dendograma não esteja claro entre quais distâncias ocorre o maior salto (VICINI, 2005).



A padronização dos dados, transformando-os em escala-Z, é importante para evitar classificações erradas devido às diferenças naturais na dimensão dos dados. Além de eliminar a influência de diferentes unidades de medida, ela torna os dados adimensionais (SIMEONOV *et al.*, 2002; SINGH *et al.*, 2004; ZHANG *et al.*, 2011). A padronização tende a aumentar a influência de variáveis cuja variância é pequena e reduzir a influência de variáveis cuja variância é grande (LIU *et al.*, 2003).

A AC é útil para fornecer classificação confiável da qualidade da água de uma região e torna possível elaborar uma futura estratégia de amostragem espacial e temporal, de uma maneira otimizada, reduzindo o número de estações, de períodos monitorados e dos custos associados (SHRESTHA; KAZAMA, 2007; ZHANG *et al.*, 2011).

### **3.2.2 Análise Discriminante**

A Análise Discriminante (AD) fornece classificação estatística das amostras e é realizada com o conhecimento prévio dos membros de um cluster particular. Ela ajuda a agrupar amostras que compartilham de propriedades comuns (SINGH *et al.*, 2004). O seu objetivo é usar as informações das variáveis independentes para se alcançar a separação ou a discriminação mais clara possível entre dois grupos ou mais (LATTIN *et al.*, 2011), determinando, assim, a significância de diferentes variáveis (ZHANG *et al.*, 2011). Opera nos dados brutos (sem padronização) (MANLY, 2008) e a técnica constrói uma função discriminante para cada grupo, que pode ser usada para explicar as diferenças entre os grupos (LATTIN *et al.*, 2011; WUNDERLIN *et al.*, 2001). Permite a redução da dimensão de um conjunto de dados, delineando poucos parâmetros indicadores responsáveis por grandes variações na qualidade da água (SHRESTHA; KAZAMA, 2007).

### **3.2.3 Análise de Componentes Principais**

Quando muitas variáveis são mensuradas em um conjunto de dados, é inevitável que muitas delas sejam supérfluas e sobrepostas. Isso é geralmente quantificado por meio do uso de matrizes de correlação; quanto menor a correlação entre as variáveis, maior a quantidade de informação contida na medida e mais rica é a estrutura de dados investigada. Entretanto, pelo fato da correlação ser uma medida limitada a relações lineares entre variáveis, quando um estudo é feito com um conjunto multivariado de dados, relações não-lineares também devem ser investigadas (SIMEONOV *et al.*, 2002). A Análise de Componentes Principais (ACP) é

um método para reexpressar os dados multivariados, já que ela permite que o pesquisador reoriente os dados de modo que as primeiras poucas dimensões expliquem o maior número possível de informações disponíveis (LATTIN *et al.*, 2011), ou seja, a ACP busca pelas direções no espaço multivariado que contêm o máximo de variabilidade (REIMANN *et al.*, 2008). Se houver a presença de redundância substancial no conjunto de dados, pode ser possível explicar a maior parte das informações no conjunto original de dados com um número relativamente pequeno de dimensões (LATTIN *et al.*, 2011). A ACP, então, objetiva eliminar a informação redundante ao obter um pequeno número de variáveis não correlacionadas que representam toda a estrutura dos dados originais (SIMEONOV *et al.*, 2002) e a maioria da variância encontrada nos mesmos (GAMBLE; BABBAR-SEBENS, 2011).

Essa redução é alcançada ao transformar o conjunto de dados padronizados (SIMEONOV *et al.*, 2002) em um novo conjunto de variáveis, os Componentes Principais (CPs), que são a combinação linear ponderada das variáveis originais (WUNDERLIN *et al.*, 2001), são ortogonais (não correlacionadas) e são organizadas em ordem decrescente de importância (SINGH *et al.*, 2004; SHRESTHA; KAZAMA, 2007). Eles fornecem informações sobre os parâmetros mais significativos, os quais descrevem todo o conjunto de dados, proporcionando a redução dos dados com o mínimo de perda da informação original (VICINI, 2005; WUNDERLIN *et al.*, 2001), já que possibilitam a identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados (VICINI, 2005).

A ACP fornece tantos Componentes quanto for o número de variáveis (REIMANN *et al.*, 2008); se existem  $p$  variáveis, então existirão no máximo  $p$  Componentes Principais (MANLY, 2008). O primeiro Componente Principal (CP1) é a combinação linear das variáveis  $X_1, X_2, X_3$ , etc que exibe a variância máxima, ou seja, explica o máximo possível de informações contidas em  $X_1, X_2, X_3$ , etc via uma combinação linear (LATTIN *et al.*, 2011). O segundo CP (CP2) tem que ser ortogonal (perpendicular) ao CP1 e explica o máximo da quantidade de variância restante, após a extração de CP1. Os CPs subsequentes seguem o mesmo princípio: devem ser ortogonais ao CP anterior e devem conter o máximo da variabilidade remanescente (REIMANN *et al.*, 2008). Resumindo, as novas variáveis (os CPs) são mutuamente não correlacionadas e cada nova variável é escolhida para explicar a máxima quantidade possível de variação ainda não explicada pelas variáveis anteriormente escolhidas (LATTIN *et al.*, 2011).

Um dos subprodutos da solução de Componentes Principais é a matriz de correlação entre os CPs e as variáveis originais. Essas correlações, conhecidas como cargas dos Componentes Principais, ajudam na interpretação dos CPs, ao fornecer *insights* sobre os padrões de associação em grandes conjuntos de dados (LATTIN *et al.*, 2011), agrupando as variáveis estudadas de acordo com suas características comuns (SINGH *et al.*, 2004), e ao indicar as variáveis mais significativas em cada CP, pelos valores mais elevados, em módulo (GIRÃO *et al.*, 2007). Além disso, as correlações são úteis para dizer quanto da variância em cada uma das variáveis originais é explicada pelos CPs: olhando para a correlação da variável ( $X_1$ ) com o CP1, pode-se dizer que o valor dado pelo quadrado da correlação ( $R^2$ ) é a proporção da variância de  $X_1$  explicada pelo primeiro Componente. Pode-se também somar os valores de  $R^2$  (cargas dos Componentes ao quadrado) para determinar o valor da variância de  $X_1$  explicada pelos primeiros três CPs, por exemplo (LATTIN *et al.*, 2011). Sendo assim, as cargas dos Componentes podem ser consideradas como uma medida da importância relativa do CP extraído (ZHAO *et al.*, 2011).

Pelo agrupamento das variáveis que estão relacionadas entre si, os Componentes Principais obtidos podem ser definidos, ou seja, podem receber uma identificação (rotulação), de acordo com o que as variáveis de seus respectivos grupos representam (ex: sedimentos, agricultura, esgoto). Cada um desses Componentes explica uma porcentagem da variância encontrada no conjunto de dados total (GAMBLE; BABBAR-SEBENS, 2011). As variáveis com cargas mais altas são consideradas mais importantes e têm maior influência sobre o nome ou rótulo selecionado para representar o CP. Os sinais são interpretados como quaisquer outros coeficientes de correlação: em cada fator, sinais iguais significam que as variáveis estão positivamente relacionadas e sinais opostos significam que as variáveis estão negativamente relacionadas (HAIR *et al.*, 2005).

As variâncias dos Componentes Principais são chamadas de *autovalores* (ou raízes latentes), que indicam quanto de variância elas contêm (MANLY, 2008) e são obtidos pela soma em coluna das cargas dos Componentes ao quadrado (HAIR *et al.*, 2005). O autovalor de CP1 pode ser entendido como a variância explicada pelo primeiro Componente Principal e, quanto maior esse valor, tanto mais informação dos dados originais estará contida nesse único Componente (LATTIN *et al.*, 2011). A soma das variâncias dos Componentes Principais é igual à soma das variâncias das variáveis originais (MANLY, 2008). Considerando que as variáveis foram padronizadas para terem médias zero e variância um no início da análise, a

soma dos autovalores é igual ao número de variáveis envolvidas no estudo (LATTIN *et al.*, 2011; MANLY, 2008).

A partir dos autovalores, é possível expressar a quantidade de variação explicada por um determinado Componente Principal (ou subconjunto de Componentes) ao dividir o autovalor correspondente à CP pela soma de todos os autovalores, ou seja, pela soma das variâncias (LATTIN *et al.*, 2011).

Tendo em vista que o principal objetivo de uma ACP é a redução da dimensionalidade do espaço amostral, isto é, a sumarização da informação das p-variáveis originais em um número menor de Componentes, para explicar a maior parte da variância com o menor número de CPs possível, é importante determinar o número de Componentes que serão considerados (FRANÇA *et al.*, 2009; LATTIN *et al.*, 2011; REIMANN *et al.*, 2008). Vários critérios têm sido adotados para auxiliar no processo de seleção do número de CPs a ser retido.

A abordagem do Gráfico *Scree* envolve desenhar o gráfico das raízes latentes em relação ao número de Componentes em sua ordem de extração (HAIR *et al.*, 2005), ou seja, do maior autovalor para o menor. Então, busca-se um “ângulo” na curva, isto é, um ponto após o qual os autovalores remanescentes declinam de modo aproximadamente linear, e retêm-se somente aqueles Componentes que estão acima do ângulo (LATTIN *et al.*, 2011). Para Reimann *et al.* (2008), o ponto de corte é escolhido pelo ponto no qual a função do gráfico apresenta sua última “quebra” clara e para Hair *et al.* (2005) é o ponto no qual o gráfico começa a ficar horizontal.

O critério de Kaiser (ou critério da raiz latente) diz que o número de componentes retidas deve ser igual ao número de autovalores que excedam a unidade (maiores que um), supondo que as variáveis da análise estão padronizadas. A ideia básica do critério é manter no sistema novas dimensões que representem pelo menos a informação da variância de uma variável original (FRANÇA *et al.*, 2009; HAIR *et al.*, 2005; LATTIN *et al.*, 2011).

O critério de percentagem de variância é uma abordagem baseada na conquista de um percentual cumulativo especificado da variância total extraída por Componentes sucessivos. O objetivo é garantir que os Componentes escolhidos expliquem pelo menos um montante especificado de variância. Outro critério utilizado é reter um número suficiente de Componentes que explique determinado valor da variância em cada uma das variáveis

originais. Vale lembrar aqui que os autovalores apontam um percentual de variância explicado pelo CP, considerando todas as variáveis, mas não informam a variância de cada variável separadamente (LATTIN *et al.*, 2011).

Após determinar o número de CPs a ser retido, desenhar as cargas de um Componente Principal pode ser bastante útil. Um gráfico das cargas dos dois primeiros CPs (CP1 x CP2) apresenta vários pontos, que são pares de correlações: a correlação da variável original com cada um dos dois Componentes. Esse gráfico revela quais das medidas originais estão mais proximamente associadas a cada um dos Componentes, bem como quais medidas são mais semelhantes, refletidas por pontos que são próximos no gráfico (LATTIN *et al.*, 2011). Um diagrama de dispersão dos escores do CP (medida composta pelas cargas dos componentes em conjunção com os valores da variável original, criada para cada observação sobre cada Componente extraído na ACP) pode fornecer uma ideia da localização das várias amostras no espaço dos Componentes Principais (HAIR *et al.*, 2005; LATTIN *et al.*, 2011).

### **3.2.4 Análise de Fatores ou Fatorial**

A Análise de Fatores ou Fatorial (AF) tem objetivos que são similares àqueles da ACP, como a redução da dimensão dos dados multivariados buscando obter uma melhor compreensão do relacionamento das variáveis (LATTIN *et al.*, 2011; MANLY, 2008), de forma que nas publicações há muita confusão quanto ao que se refere a AF e o que é ACP (REIMANN *et al.*, 2008). Pela literatura, é possível observar como os conceitos das duas técnicas se misturam.

Segundo Singh *et al.* (2004), a Análise Fatorial é uma técnica poderosa aplicada para reduzir a dimensão do conjunto de dados constituído por um grande número de variáveis inter-relacionadas, enquanto retém o máximo possível de variabilidade presente no conjunto. Johnson; Wichern (1998), citados por França *et al.* (2009), explicam que no modelo fatorial, supõe-se 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. De acordo com Shrestha; Kazama (2007), o principal objetivo da AF é reduzir a contribuição das variáveis menos significativas obtidas pela ACP, para simplificar ainda mais a estrutura dos dados.

A distinção entre os dois métodos se torna mais clara através da explicação de alguns autores. Reimann e colaboradores (2008) resumem que a ACP descreve a máxima variância de todas as variáveis, enquanto a AF descreve as intercorrelações máximas. No modelo da AF, os fatores comuns não explicam a variabilidade total dos dados, a variação em cada variável observada é atribuível aos fatores comuns e a um fator específico (LATTIN *et al.*, 2011; REIMANN *et al.*, 2008). A variância comum é definida como variância em uma variável que é compartilhada com todas as outras variáveis e a variância específica é associada com apenas uma variável específica (HAIR *et al.*, 2005). Sendo assim, na AF os Fatores resultantes são baseados apenas na variância comum (HAIR *et al.*, 2005), as variáveis não comuns não entram no modelo, enquanto a ACP acomoda toda a estrutura contida nos dados (REIMANN *et al.*, 2008). Dessa forma, a AF seria mais adequada para detectar a estrutura comum dos dados (REIMANN *et al.*, 2008).

Hair e colaboradores (2005) dizem ainda que a Análise Fatorial é um nome genérico dado a uma classe de métodos estatísticos multivariados cujo propósito é definir uma estrutura subjacente em uma matriz de dados, sendo a Análise de Componentes e a Análise de Fatores Comuns modelos fatoriais.

A seleção do método de extração da Análise Fatorial depende do objetivo do pesquisador. A Análise de Componentes é utilizada quando o objetivo é resumir a maior parte da informação original (variância) a um número mínimo de fatores. Em contraste, a Análise de Fatores Comuns é usada principalmente para identificar Fatores ou dimensões latentes que reflitam o que as variáveis têm em comum. Para qualquer método, o pesquisador também deve determinar o número de fatores para representarem o conjunto de variáveis originais. Na maioria das aplicações, tanto a Análise de Componentes Principais quanto a Análise de Fatores Comuns chegam a resultados essencialmente idênticos se o número de variáveis exceder 30 (HAIR *et al.*, 2005).

Após definido qual modelo fatorial será utilizado, serão extraídos os fatores, obtendo-se a matriz fatorial. Da mesma forma que para a ACP, as cargas fatoriais são a correlação de cada variável com o Fator e indicam o grau de correspondência entre os dois, sendo que cargas maiores fazem a variável representativa do Fator. Os Fatores são extraídos na ordem de sua importância: o Fator 1 tende a ser um fator geral com quase todas variáveis com carga significativa e explica a quantia maior da variância. O segundo Fator e os seguintes são então

baseados na quantia residual de variância. Os autovalores indicam a importância relativa de cada fator na explicação da variância associada ao conjunto de variáveis analisado (HAIR *et al.*, 2005). O número de Fatores a serem retidos é definido pelos mesmos critérios para definir os Componentes Principais.

Em geral, os Fatores que compõem a matriz apresentam valores de difícil interpretação. Esta limitação foi superada pelo procedimento de transformação ortogonal (rotação da matriz das cargas fatoriais), gerando uma nova matriz, de mais fácil interpretação (GIRÃO *et al.*, 2007). Cada Fator explica porções sucessivamente menores de variância. O efeito final de rotacionar a matriz fatorial é redistribuir a variância dos primeiros Fatores para os últimos, com o objetivo de atingir um padrão fatorial mais simples e teoricamente mais significativo (HAIR *et al.*, 2005). Existem diversos tipos de rotação fatorial: os métodos rotacionais ortogonais (*Quartimax*, *Varimax*, *Equimax*) e os métodos de rotação oblíqua. A rotação *Varimax*, comumente usada, distribui as cargas dos Fatores de forma que sua dispersão é maximizada através da minimização do número de coeficientes grandes e pequenos (RICHMAN, 1986 citado por SINGH *et al.*, 2004), ou seja, a rotação *Varimax* é a rotação dos Fatores, que tem por objetivo obter pesos altos para cada variável em um único Fator e pesos baixos ou moderados nos demais Fatores (FRANÇA *et al.*, 2009). Os pesos dos Fatores das matrizes transformadas (rotação ortogonal *Varimax*) também expressam a relação entre Fatores e variáveis e os valores elevados, em módulo, indicam as variáveis mais significativas em cada Fator (GIRÃO *et al.*, 2007). Como resultado, um pequeno número de Fatores será responsável por aproximadamente a mesma quantidade de informação que um conjunto muito maior de informações originais (SHRESTHA, KAZAMA, 2007).

Considera-se que cargas fatoriais maiores que  $\pm 0,30$  atingem o mínimo de significância; cargas de  $\pm 0,40$  são consideradas mais importantes; e se as cargas são de  $\pm 0,50$  ou maiores, elas são consideradas com significância prática. Logo, quanto maior o valor absoluto da carga fatorial, mais importante é a carga na interpretação (rotulação) do Fator (HAIR *et al.*, 2005).

Um conceito introduzido pela Análise Fatorial é comunalidade: quantia total de variância que uma variável original compartilha com todas as outras variáveis incluídas na análise, que pode ser entendida também como a quantia de variância explicada pela solução fatorial para cada variável. Deve-se analisar a comunalidade de cada variável para avaliar se ela atende a níveis de explicação aceitáveis. Se há variáveis que não carregam qualquer Fator ou cujas

comunalidades são consideradas muito baixas, pode-se eliminá-las da análise ou ignorá-las na interpretação do resultado (HAIR *et al.*, 2005).

Tendo em vista o exposto sobre as análises ACP e AF, com as finalidades de reduzir consideravelmente os dados, além de descrever a variabilidade de todo o conjunto com apenas poucos CPs/Fatores, sem perder muita informação, percebe-se a grande utilidade dessas técnicas nas análises de qualidade da água. Elas possibilitam a identificação dos parâmetros com maior contribuição para as variações temporais e espaciais da qualidade da água e o agrupamento das variáveis estudadas de acordo com suas características comuns ajuda na interpretação dos dados (SINGH *et al.*, 2004). Dessa forma, segundo Zhang *et al.* (2011), a ACP/AF é uma ferramenta útil para identificar as fontes de poluição de pontos de monitoramento e ajudar na tomada de decisão para controle dessa poluição.

### **3.2.5 Estudos que empregaram técnicas multivariadas na avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas**

Diversos trabalhos empregaram algumas das técnicas multivariadas (AC, AD, ACP/AF) para alcançar diferentes objetivos, como exemplificado no Quadro 3.1

Para a análise de dados de monitoramento da qualidade da água, a Análise de Cluster é comumente utilizada para verificar a existência de variações espaciais e temporais entre os dados, ou seja, para extrair informações sobre as diferenças entre períodos e locais monitorados. A variação espacial é determinada de acordo com os grupos formados: estações agrupadas apresentam características semelhantes, enquanto os diferentes grupos formados representam a variação espacial. Para a variação temporal, há um agrupamento dos diferentes períodos de monitoramento. Dessa forma, são estabelecidos, através da AC, os agrupamentos temporais (similaridade entre períodos) e os agrupamentos espaciais (similaridade entre estações). Zhang *et al.* (2011) e Zhou *et al.* (2007) desenvolveram trabalhos muito semelhantes nessa linha, chegando a sugerir redução da frequência de amostragem, de acordo com o agrupamento da AC temporal, e do número de estações monitoradas, de acordo com a AC espacial.

A Análise Discriminante pode ser utilizada para confirmar os agrupamentos determinados pela AC e para avaliar variações temporais e espaciais encontradas nos dados de qualidade da água. O objetivo dessa técnica, nesses casos, é testar a significância da função discriminante



(FD) e determinar as variáveis mais significativas associadas às diferenças entre os clusters formados. Como resultado, tem-se que tantas e determinadas variáveis são responsáveis por x% da variância encontrada. Por exemplo, no trabalho de Zhang *et al.* (2011), foram determinados quatro parâmetros (entre o total de 48) fornecendo 84,2% das designações corretas na análise temporal e oito parâmetros fornecendo 96,1% das designações corretas na análise espacial, ou seja, oito parâmetros são capazes de classificar corretamente a qual grupo da AC cada uma das estações analisadas pertence, com 96,1% de acerto. Zhou e colaboradores (2007) apresentam gráficos box-whiskers dos parâmetros discriminantes encontrados pela AD, permitindo a visualização das diferenças entre os grupos determinados pela AC. Nesse trabalho, a AD indicou uma redução no número de parâmetros necessários para o monitoramento: em termos de representatividade espacial, apenas seis parâmetros seriam necessários e para a análise temporal, sete parâmetros.

Uma conclusão importante de trabalhos que analisam os dados de qualidade da água é que as semelhanças e diferenças temporais e espaciais podem permitir a otimização da frequência de monitoramento, do número de pontos de amostragem, do número de parâmetros monitorados e, conseqüentemente, dos custos associados.

Em relação ao uso de Análise Fatorial para reduzir a quantidade de variáveis disponível, França *et al.* (2009), por exemplo, mostraram que o primeiro Fator encontrado em seu trabalho explicou sozinho cerca de 80% da variância da amostra, indicando que as variáveis agrupadas nesse fator podem ser consideradas as mais relevantes para a qualidade da água na bacia do Alto Iguaçu, Paraná. Ainda nesse trabalho, sugere-se realizar a análise fatorial para cada ponto de monitoramento individualmente, visando encontrar quais são os parâmetros de qualidade de água mais importantes para cada um dos pontos monitorados. Shrestha; Kazama (2007) também aplicaram a ACP/AF separadamente nos três agrupamentos de estações de monitoramento encontrados pela AC, com o objetivo de comparar a composição das amostras analisadas e identificar os fatores que influenciam cada grupo.

Işçen e colaboradores (2009) utilizaram a Análise Fatorial para entender a correlação entre variáveis de qualidade da água e combiná-las em grupos para reduzir a dimensão das variáveis e facilitar a interpretação e as tomadas de decisão. Foram encontrados dois fatores que explicam 86% da variância total na qualidade da água. Os resultados da AF mostraram que águas residuárias urbanas e drenagem agrícola são as principais fontes de contaminação

no rio Eufrates (Turquia). Esse resultado serviu como base para realização de ações preventivas para reduzir essas fontes de poluição.

Xie *et al.* (2005) utilizaram um método de estatística multivariada apoiado por SIG (Sistema de Informações Geográficas) para identificar as relações entre química aquática, geologia e uso do solo, em um estado da Alemanha. As informações espaciais sobre os tipos de uso do solo e unidades geológicas pertencentes à bacia foram coletadas a partir de mapas digitais e foram inseridos em um único banco de dados, juntamente com dados sobre a química da água, para Análise Fatorial. Uma interessante observação do trabalho é que, embora a AF seja um método multivariado bem estabelecido e amplamente utilizado, é necessário salientar que até mesmo uma correlação forte não significa necessariamente uma interdependência causal entre as variáveis e, portanto, é preciso ter cuidado na interpretação dos resultados. Mesmo assim, segundo os autores, a Análise Fatorial em combinação com o SIG é um instrumento poderoso para encontrar a origem da química da água em nível regional, para avaliar o impacto ambiental de diferentes fontes de poluição dentro de uma área de investigação considerada e para compreender detalhadamente as complexas relações entre a química da água de um curso d'água, geologia e uso do solo. Esse tipo de conhecimento é de grande importância para o planejamento regional e para uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

**Quadro 3.1. Trabalhos de avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas, empregando técnicas multivariadas.**

REFERÊNCIA	LOCAL DE ESTUDO	DADOS ANALISADOS	OBJETIVOS DO ESTUDO	FERRAMENTAS UTILIZADAS	RESULTADOS GERAIS
BU <i>et al.</i> , 2010	Rio Jinshui, China	12 pontos de monitoramento 25 parâmetros de qualidade de água 8 amostragens mensais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revelar as variabilidades espaciais e temporais da qualidade da água; Identificar os principais fatores e fontes de poluição.</li> </ul>	AC; AF	<ul style="list-style-type: none"> <li>12 estações de amostragem agrupadas em três clusters correspondentes aos níveis não poluído, moderadamente poluído e altamente poluído.</li> <li>Cinco fatores explicam 80,4% da variância total e apontam as fontes de poluição.</li> </ul>
FRANÇA <i>et al.</i> , 2009	Bacia do Alto Iguaçu, Curitiba, Paraná	8 pontos de monitoramento 18 parâmetros de qualidade de água 19 campanhas quinzenais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indicar um conjunto representativo de parâmetros de qualidade de água (otimização do monitoramento); Identificar as estações de monitoramento mais relevantes para avaliação da qualidade da água.</li> </ul>	AF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sete variáveis de qualidade da água explicaram 57% da variância total, sendo consideradas as mais relevantes.</li> <li>Três pontos de monitoramento se mostraram mais relevantes.</li> </ul>
NONATO <i>et al.</i> , 2007	Alto curso do rio das Velhas	37 estações de monitoramento 39 parâmetros físico-químicos monitorados 2 anos de monitoramento (coletas mensais e trimestrais)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tratamento da base de dados de qualidade da água tendo em vista a necessidade de otimização da rede de monitoramento (frequência de amostragem e do número de parâmetros analisados).</li> </ul>	AC; ACP	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apenas 22 parâmetros, descritos em quatro componentes principais, explicam 80% da variabilidade dos dados.</li> <li>Correlação entre estações agrupadas pela AC sugere redução do número de estações monitoradas.</li> </ul>
OUYANG, 2005	Rio Saint Johns, Flórida (EUA)	22 estações de monitoramento 42 parâmetros de qualidade da água 3 anos de monitoramento, com diferentes frequências de amostragem	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avaliar a efetividade e a eficiência de redes de monitoramento da qualidade de águas superficiais a partir das técnicas ACP e AF; Identificar as estações menos importantes; Extrair os parâmetros mais importantes para avaliação das variações na qualidade do rio.</li> </ul>	ACP/AF	<ul style="list-style-type: none"> <li>ACP com as estações: três estações são menos importantes para explicar as variações anuais na qualidade da água.</li> <li>AF com os parâmetros: três fatores que explicam 92,5% da variância do conjunto de dados original.</li> <li>Parâmetros mais importantes para a qualidade da água: os relacionados com minerais, os orgânicos, os nutrientes e os físicos.</li> </ul>
SALES <i>et al.</i> , 2009	Lagoa Messejana, Fortaleza	3 pontos de monitoramento 16 parâmetros de qualidade da água 1 ano de coleta mensal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inferir sobre a qualidade das águas da lagoa utilizando ferramentas de análise multivariada.</li> </ul>	ACP	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizaram uma ACP para cada um dos três pontos estudados, cada uma resultando em quatro Componentes, explicando 73,51%, 73,21% e 67,21% da variância total dos dados.</li> <li>Maior problema que afeta a qualidade da água na lagoa é o aporte de matéria orgânica de todo o ecossistema.</li> <li>AF forneceu seis fatores significativos que explicam 77,2% do total da variância dos constituintes químicos.</li> </ul>
SANTOS-ROMÁN <i>et al.</i> , 2003	12 bacias hidrográficas de Porto Rico	18 parâmetros de qualidade da água 22 anos de coletas trimestrais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisar diferenças entre as bacias hidrográficas selecionadas usando técnicas multivariadas.</li> <li>Desenvolver métodos estatísticos multivariados que podem ser usados para prever a qualidade da água em bacias não monitoradas em Porto Rico, com base em suas características físicas.</li> </ul>	AF; AC; AD	<ul style="list-style-type: none"> <li>AC foi realizado a partir dos parâmetros selecionados na AF, um de cada Fator. Foram obtidos cinco grupos de bacias hidrográficas, divididos em duas categorias: bacias urbanas e arborizadas.</li> <li>AD mostrou que as duas categorias se diferenciam principalmente pelo índice de mudança do uso e ocupação do solo.</li> </ul>
SINGH <i>et al.</i> , 2004	Rio Gomti, Índia	8 estações de monitoramento 24 parâmetros de qualidade de água 5 anos de monitoramento mensal 17.790 observações	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avaliar as variações espaciais e temporais da qualidade da água</li> </ul>	AC; AF/ACP; AD	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oito estações de amostragem agrupadas em três clusters correspondentes a regiões de baixa, moderada e alta poluição.</li> <li>AD permitiu uma grande redução dos dados, com cinco parâmetros explicando 88% da variabilidade sazonal e nove parâmetros explicando 91% da variação espacial.</li> </ul>

Obs.: AC - Análise de Cluster; AF - Análise Fatorial; ACP - Análise de Componentes Principais; AD - Análise Discriminante

**Quadro 3.1.** Trabalhos de avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas, empregando técnicas multivariadas (continuação).

REFERÊNCIA	LOCAL DE ESTUDO	DADOS ANALISADOS	OBJETIVOS DO ESTUDO	METODOLOGIA UTILIZADA	RESULTADOS GERAIS
SHRESTHA; KAZAMA, 2007	Rio Fuji, Japão	13 estações de monitoramento 12 parâmetros de qualidade da água 8 anos de monitoramento mensal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extrair informações sobre as similaridades e dissimilaridades entre pontos de amostragem; Identificar as variáveis de qualidade da água responsáveis pela variação espacial e temporal; Identificar os fatores que explicam a estrutura do banco de dados; Identificar a influência de possíveis fontes, naturais e antropogênicas, nos parâmetros de qualidade da água.</li> </ul>	AC; AF/ACP; AD	<ul style="list-style-type: none"> <li>13 estações de amostragem agrupadas em três clusters correspondentes a regiões de baixa, moderada e alta poluição.</li> <li>Seis parâmetros responsáveis por 85% da variabilidade temporal e sete parâmetros correspondendo a mais de 81% da discriminação espacial.</li> </ul>
SOJKA <i>et al.</i> , 2008	Rio Mala Welna, Polônia	8 estações de monitoramento 19 parâmetros de qualidade de água Maio a novembro de 2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>Encontrar similaridades e diferenças na composição química da água; Identificar indicadores de qualidade da água responsáveis pela sua variabilidade temporal e espacial; Expor fatores intrínsecos responsáveis pela estrutura dos dados; Identificar fontes antropológicas de poluição da água.</li> </ul>	AC; AF/ACP; AD	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oito estações de amostragem agrupadas em três clusters correspondentes a regiões de baixa, moderada e alta poluição.</li> <li>Redução dos parâmetros a quatro fatores, que descrevem a qualidade da água, contabilizando 73% da estrutura dos parâmetros analisados.</li> <li>ACP reteve quatro Componentes que explicam 81,5% da variâncias dos parâmetros.</li> <li>A rotação <i>Varimax</i> originou quatro Fatores que explicam 67,8% da variância, sendo o Fator 1 interpretado como componente mineral.</li> <li>ACP junto com ANOVA permitiram a identificação e avaliação de fontes espaciais e temporais de variação que afetam a qualidade do rio.</li> <li>ACP junto com AC alcançaram classificação significativa das variáveis hidroquímicas e das coletas, baseadas em critérios espaciais e temporais.</li> </ul>
VEGA <i>et al.</i> , 1998	Rio Pisuerga, Espanha	3 pontos de monitoramento 22 parâmetros de qualidade da água 10 coletas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investigar a qualidade da água do Rio Pisuerga; Avaliar a influência que poluição e sazonalidade possuem na qualidade da água; Discriminar os efeitos individuais do clima e das atividades humanas na hidroquímica do rio.</li> </ul>	ACP; AC; ANOVA; Teste-F	<ul style="list-style-type: none"> <li>ACP extraiu três Componentes significativos, explicando 69% da variância total dos parâmetros: dimensão dos nutrientes, dimensão da resposta ecológica e de contaminação química orgânica.</li> <li>Foi realizada uma AC para cada fator, obtendo três ou quatro agrupamentos de rios.</li> </ul>
WANG <i>et al.</i> , 2006	Bacia hidrográfica do Taihu, China	19 pontos de monitoramento 11 parâmetros de qualidade da água 5 anos de coletas mensais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Delinear as características da qualidade da água dos principais rios da bacia; Identificar influências antropogênicas na variação de indicadores específicos da qualidade da água nesses rios.</li> </ul>	ACP; AC	<ul style="list-style-type: none"> <li>12 meses agrupados em dois períodos e 16 estações de monitoramento agrupadas em três clusters.</li> <li>Quatro parâmetros contabilizam 84,2% da variação temporal e oito parâmetros correspondem a 96,1% da variabilidade espacial.</li> <li>Quatro fatores latentes explicando 73,24% da variância total.</li> </ul>
ZHANG <i>et al.</i> , 2011	Cinco cursos d'água em Hong Kong	16 estações de monitoramento 48 parâmetros de qualidade da água 8 anos de monitoramento mensal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extrair informação latente sobre as similaridades e dissimilaridades entre períodos e pontos de amostragem; Reconhecer os parâmetros responsáveis pelas variações temporais e espaciais; Identificar fatores que explicam as fontes de poluição.</li> </ul>	AC; AF/ACP; AD	<ul style="list-style-type: none"> <li>12 meses agrupados em dois períodos e 16 estações de monitoramento agrupadas em três clusters.</li> <li>Quatro parâmetros contabilizam 84,2% da variação temporal e oito parâmetros correspondem a 96,1% da variabilidade espacial.</li> <li>Quatro fatores latentes explicando 73,24% da variância total.</li> </ul>

Obs.: AC - Análise de Cluster; AF - Análise Fatorial; ACP - Análise de Componentes Principais; AD - Análise Discriminante

### **3.3 Análise de tendências de séries temporais de qualidade da água**

As análises temporais e espaciais são ferramentas que possibilitam a avaliação de longas séries de dados de forma resumida e completa. Essas ferramentas são boas alternativas para verificar possíveis mudanças que o crescimento e desenvolvimento acelerado estão causando nos ecossistemas aquáticos (GROPPO, 2005; VIANA, 2012). Segundo a EPA (2006), a detecção e estimação de tendências temporais e espaciais são importantes para vários estudos ambientais e programas de monitoramento. Sendo assim, esses estudos podem ser necessários para acompanhamento e previsão da evolução da qualidade da água, objetivando que as devidas medidas preventivas, corretivas e emergenciais sejam tomadas e a manutenção do equilíbrio do ecossistema seja garantida (CHRISTOFARO; LEÃO, 2009; VIANA, 2012).

Em termos estatísticos, determinar se o valor de uma variável geralmente diminuiu ou aumentou (melhorou ou piorou) ao longo do tempo significa determinar se a distribuição de probabilidade dessa variável mudou ao longo do tempo. Também é interessante descrever a quantidade ou razão dessa mudança, com base em variações em algum valor central de distribuição, como a média ou a mediana (HELSEL; HIRSCH, 1992).

Em análises de tendência, a hipótese nula ( $H_0$ ) é que não existe tendência. O resultado do teste é uma decisão entre rejeitar a  $H_0$  ou não. Falhar em rejeitar a  $H_0$  não significa que foi provado que não há tendência. Ao contrário, isso é uma constatação de que a evidência disponível não é suficiente para concluir que há tendência (HELSEL; HIRSCH, 1992).

Dados de qualidade da água comumente apresentam as seguintes características: presença de *outliers*, de ciclos (sazonal, mensal, diário), valores faltantes, dados censurados e correlação serial. A escolha do teste utilizado para análise de tendência deve levar essas características em consideração.

O teste Mann-Kendall é um teste não paramétrico, inicialmente sugerido por Mann, em 1945, ao usar o teste de significância de Tau de Kendall com a variável X sendo o tempo (T), como em uma análise de tendência. O teste de Mann-Kendall pode ser definido, generalizadamente, como um teste para definir se os valores de Y tendem a diminuir ou aumentar com T, uma mudança monotônica. Apenas como esclarecimento, ressalta-se que uma função  $f$  é dita *monotônica* se puder ser classificada como crescente ( $x < y \Rightarrow f(x) \leq f(y)$ ), estritamente crescente ( $x < y \Rightarrow f(x) < f(y)$ ), decrescente ( $x > y \Rightarrow f(x) \geq f(y)$ ) ou estritamente decrescente ( $x > y \Rightarrow f(x) > f(y)$ ). Nenhuma suposição quanto a normalidade é requerida

para esse teste, mas não deve existir uma correlação serial para que o resultado do valor-p esteja correto. Tipicamente, o teste é usado para um propósito específico: determinar se o valor central muda ao longo do tempo. Dessa forma, é um teste aplicável em várias situações (HELSEL; HIRSCH, 1992).

Para realizar o teste Mann-Kendall, a estatística  $S$  de Kendall é computada a partir da comparação de todos os pares  $Y,T$  (parâmetro, tempo). O teste estatístico  $S$ , o teste para tendência, mede a dependência monotônica de  $Y$  em  $T$ . Tau ( $\tau$ ) mede a força de uma relação monotônica de  $Y$  em  $T$ . É um procedimento baseado em ranque. Os valores são avaliados como uma série temporal ordenada, sendo que cada valor é comparado com todos os dados subsequentes. Se o dado de um período posterior é maior que o valor de um período anterior, a estatística  $S$  é incrementada em 1. Ao contrário, se o dado de um período posterior for menor que o valor amostrado anteriormente,  $S$  é reduzido em 1. A soma de todos os incrementos e reduções leva ao valor final de  $S$  (DRÁPELA; DRÁPELOVÁ, 2011). Se o número de somas e subtrações forem iguais, então não há uma tendência. Se os resultados mostrarem mais somas do que reduções, está sendo indicada uma possibilidade de tendência positiva; ao contrário, havendo mais subtrações do que somas, existe uma evidência de tendência negativa nos dados (EPA, 2006; JOHNSON *et al.*, 2009). As equações (3.1 e 3.2) relacionadas a essa estatística são:

$$S = P - M \quad (3.1)$$

Onde:

P: número de pares ( $Y,T$ ) nos quais  $Y$  aumenta quando  $T$  aumenta

M: número de pares ( $Y,T$ ) nos quais  $Y$  diminui quando  $T$  aumenta, e

$$\tau = \frac{S}{\frac{n(n-1)}{2}} \quad (3.2)$$

Onde:

$\frac{n(n-1)}{2}$ : número de comparações possíveis de serem feitas entre os pares.

A hipótese nula de não tendência é rejeitada quando  $S$  (e, conseqüentemente, Tau -  $\tau$  - de Kendall de  $Y$  versus  $T$ ) é significativamente diferente de zero. Conclui-se, então, que existe uma tendência monotônica de  $Y$  sobre o tempo.

Outras variáveis além do tempo tendem a ter influência considerável sobre a resposta da variável Y. Essas variáveis exógenas são usualmente naturais, fenômenos casuais como chuva, temperatura, vazão. Ao retirar a variação em Y causada por essas variáveis, as interferências são reduzidas de forma que qualquer sinal de tendência pode ser visualizado. O poder do teste em discernir mudanças em Y por T é aumentada. Assim como para outros efeitos externos, a variação sazonal deve ser compensada ou removida para se obter um melhor discernimento da tendência de Y em função do tempo. Ao contrário, haverá pouco poder no teste para detectar tendências que estão realmente presentes (HELSEL; HIRSCH, 1992; BOEDER; CHANG, 2007).

O teste Sazonal de Mann-Kendall leva em consideração a sazonalidade ao realizar o teste Mann-Kendall em cada uma das  $n$  estações do ano separadamente, combinando posteriormente o resultado. Dessa forma, é um método robusto para acomodar a sazonalidade para estimativas de tendência em registros de qualidade da água (BOEDER; CHANG, 2007), sendo uma modificação ou extensão do teste Mann-Kendall (EPA, 2006; JOHNSON *et al.*, 2009). Para coletas mensais, dados de janeiro são comparados apenas com dados de janeiro, fevereiro apenas com fevereiro, e assim por diante. Nenhuma comparação é feita entre as estações do ano. Para dados coletados trimestralmente, devem existir valores representativos das quatro estações. Se existe variação na frequência de amostragem durante os anos de interesse, o conjunto de dados usado no teste de tendência pode necessitar de modificações. As estações devem ser definidas com base na menor frequência de amostragem. As estatísticas S de Kendall de cada estação são somadas para formar a estatística global S (EPA, 2006; HELSEL; HIRSCH, 1992).

Existem várias maneiras de caracterizar a sazonalidade de um conjunto de dados e, em geral, as técnicas gráficas são de mais fácil interpretação e visualização, como os gráficos box-plots por estação (HELSEL; HIRSCH, 1992), ainda que necessitem de testes de hipótese para confirmação. Christofaro; Leão (2009) e Groppo (2005), para definição da existência de sazonalidade, utilizaram em seus trabalhos duas técnicas: gráficos box-whisker (ou box-plot) e teste Kruskal-Wallis, para verificação de diferenças significativas entre os valores medidos nas diferentes estações do ano. Dando sequência às análises de tendência, para séries verificadas como sem sazonalidade (sem diferença entre as estações), o teste estatístico empregado para verificação da significância da tendência foi o Mann-Kendall; para séries com sazonalidade, foi utilizado o teste Sazonal de Mann-Kendall.

Uma desvantagem do teste Sazonal de Mann-Kendall é o fato de o resultado final consistir em uma soma dos valores verificados em cada estação do ano. Assim, fortes tendências contrárias nas diversas estações do ano podem se anular, gerando uma falsa ausência de tendência no resultado final do teste (CHRISTOFARO; LEÃO, 2009; HELSEL; HIRSCH, 1992).

Uma tendência temporal, eventualmente presente em uma série Y, ao longo do tempo T, pode também ser detectada pela correlação entre a série e o índice de tempo. Essa é a ideia essencial do teste não-paramétrico de Spearman (NAGUETTINI; PINTO, 2007). O coeficiente de correlação de Spearman pode ser usado como uma ferramenta estatística para detectar tendências monotônicas de concentrações químicas com o tempo ou espaço, podendo ser útil para determinar se as concentrações estão aumentando ou diminuindo ao longo do tempo. Por ser uma técnica que opera com o ranqueamento dos dados, é relativamente insensível aos *outliers* e não requer que os dados tenham sido coletados em intervalos regulares. Pode ser usado com amostras pequenas e é facilmente aplicável (EPA, 2006; GAUTHIER, 2001). É importante ressaltar que o coeficiente de correlação de Spearman deve ser usado como uma ferramenta exploratória, em conjunto com outras informações, e as conclusões devem ser baseadas em todos os resultados (GAUTHIER, 2001).

Boyacioglu; Boyacioglu (2008) utilizaram o teste de Mann-Kendall e uma segunda estatística, *Sen's Slope estimator* (ou estimador do coeficiente Sen), para investigar a tendência temporal da qualidade hidroquímica da água da bacia Tahtali, Turquia. Foi possível identificar quais parâmetros tinham tendências significativas e se suas concentrações estavam aumentando ou diminuindo ao longo do tempo, em cada uma das estações de amostragem estudadas. Revelou-se, então, no geral, se a qualidade da água havia melhorado ou não havia sofrido alteração ao longo do tempo na bacia.

Chang *et al.* (2008) utilizaram o teste Sazonal de Mann-Kendall para explicar a variabilidade dos parâmetros de qualidade da água do rio Hain, Coréia do Sul, resultante da sazonalidade. Porém, para entender os processos que influenciaram as tendências na qualidade da água na bacia ao longo do tempo, foram avaliadas as mudanças no uso e ocupação do solo entre os anos 1990 e 2000, por meio de mapas temáticos. Para identificar como as características da bacia estão associadas com as variações espaciais e temporais da qualidade da água, vários estudos usaram modelos estatísticos combinados com o Sistema de Informações Geográficas (CHANG *et al.*, 2008).



O trabalho de Johnson *et al.* (2009) avaliou a tendência na qualidade da água no rio Minnessota com o objetivo de verificar a eficiência dos procedimentos estatísticos em quantificar essas tendências e de identificar possíveis razões que justifiquem essas tendências. Esse tipo de avaliação é necessária para quantificar os efeitos das práticas de manejo e as mudanças nas fontes de poluição da bacia. Por exemplo, esses autores verificaram que houve redução nos parâmetros Sólidos Suspensos e Fósforo, que poderia ser justificada pelas medidas de conservação adotadas na bacia. Ainda segundo Johnson *et al.* (2009), as análises de tendência dos dados de qualidade da água estão se tornando rotineiras à medida que o registro desses dados aumenta. Porém, os desafios para trabalhar com esses dados ainda são muitos, tendo em vista que os pesquisadores buscam tendências que sejam acuradas e repetitivas. É interessante destacar que nesse trabalho foram utilizadas as cargas dos parâmetros, uma vez que mudanças na concentração dos mesmos podem ocorrer devido a mudanças na vazão.

Essa interferência é verificada no trabalho de Yenilmez *et al.* (2011). Esses autores buscaram detectar as tendência de Oxigênio Dissolvido, Fósforo, Sólidos Suspensos e profundidade Secchi, precipitação, temperatura do ambiente e volume do lago Eymir (Turquia) ao longo da década 1998-2008. Foi verificada uma redução no volume, na precipitação e na temperatura, de forma que essas mudanças têm um significativo impacto nas tendências verificadas para os parâmetros de qualidade, sendo que OD e SST apresentaram tendência de aumento. Com a continuidade da redução do volume e da precipitação, é provável que a qualidade da água piore no lago estudado.

### **3.4 Outras técnicas para avaliação da qualidade da água**

O Sistema de Informações Geográficas foi projetado para capturar, guardar, atualizar, manipular, analisar e exibir todas as formas de informação georreferenciada, ou seja, é especializado em manipulação de dados espaciais. Como a qualidade da água varia espacialmente, mapear os parâmetros de qualidade da água usando o SIG pode ser útil para a tomada de decisões rápidas e adequadas de manejo (SHABAN *et al.*, 2010). O SIG é cada vez mais utilizados em estudos de avaliação ambiental devido à sua capacidade de sobrepor informações espaciais diferentes e combiná-las com os resultados de análises estatísticas, permitindo assim a detecção de relações espaciais complexas entre os diferentes parâmetros, como química aquática, geologia e uso do solo (XIE *et al.*, 2005), e a identificação de como as características da bacia estão associadas com as variações espaciais e temporais da qualidade da água (CHANG *et al.*, 2008).

Por meio de representações gráficas, é possível visualizar as tendências temporais dos parâmetros em cada uma das estações de amostragem e as tendências espaciais de cada parâmetro, nas diferentes estações, em um determinado período (CHANG *et al.*, 2008). Mapas temáticos permitem que pesquisadores avaliem rapidamente as características e mudanças da bacia e entendam as complexas relações entre desenvolvimento da região, fatores naturais da bacia (solo, topografia) e qualidade da água.

Um exemplo de como métodos estatísticos multivariados podem ser usados em consonância com SIG é o trabalho de Xie *et al.* (2005), conforme já mencionado anteriormente. O resultado integrado das informações sobre tipos de uso do solo, unidades geológicas e dos dados de química aquática é visualizado por meio de mapas temáticos. Essa combinação se mostrou um instrumento poderoso para encontrar a origem da química da água em nível regional, para avaliar o impacto ambiental de diferentes fontes de poluição dentro de uma área de investigação considerada e para compreender as complexas relações entre a química da água, geologia e uso do solo.

Diferentes processos hidrológicos e biogeoquímicos acontecem em diferentes escalas espaciais, sendo, portanto, importante considerar a abordagem de múltiplas escalas para revelar a dinâmica da mudança da qualidade da água ao longo do espaço e tempo, como ressalta Chang *et al.* (2008). Em seu trabalho, eles mostraram que o controle da qualidade da água diverge entre as diferentes escalas espaciais. O uso e ocupação do solo tem a maior influência sobre a bacia em uma escala global. Porém, ao analisar os fatores que afetam a qualidade da água em uma escala mais regional, observou-se que a topografia e o tipo de solo tinham grande influência sobre a qualidade da água das estações do rio Han, Coreia do Sul. No mesmo sentido, Boeder; Chang (2008) reforçam a importância da escala ao identificar correlações entre mudanças no uso e ocupação do solo e tendências da qualidade da água. Entender como a paisagem e fatores naturais restringem a qualidade da água em múltiplas escalas e como as relações mudam ao longo do tempo ajuda os gestores de recursos hídricos a buscarem apropriadas escalas e fatores para as ações de manejo de melhoria da qualidade da água.

## **4 COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA IDENTIFICAÇÃO DA SUB-BACIA MAIS IMPACTADA NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO**

### **4.1 Introdução**

A comparação da qualidade das águas superficiais, visando a identificação da sub-bacia mais impactada na bacia do rio São Francisco, foi efetuada em três etapas: (i) organização e sistematização dos dados de monitoramento da qualidade das águas da Bacia; (ii) análises exploratórias dos dados monitorados nas unidades de planejamento (Análise de Cluster, Análise de Componentes Principais / Análise Fatorial); (iii) estudo inferencial da qualidade das águas das sub-bacias (estatística descritiva, análise do percentual de violação dos limites preconizados pela legislação ambiental, avaliação comparativa dos valores de IQA observados nas sub-bacias, testes de Kruskal-Wallis seguidos pelos testes de comparações múltiplas, gráficos box-whisker).

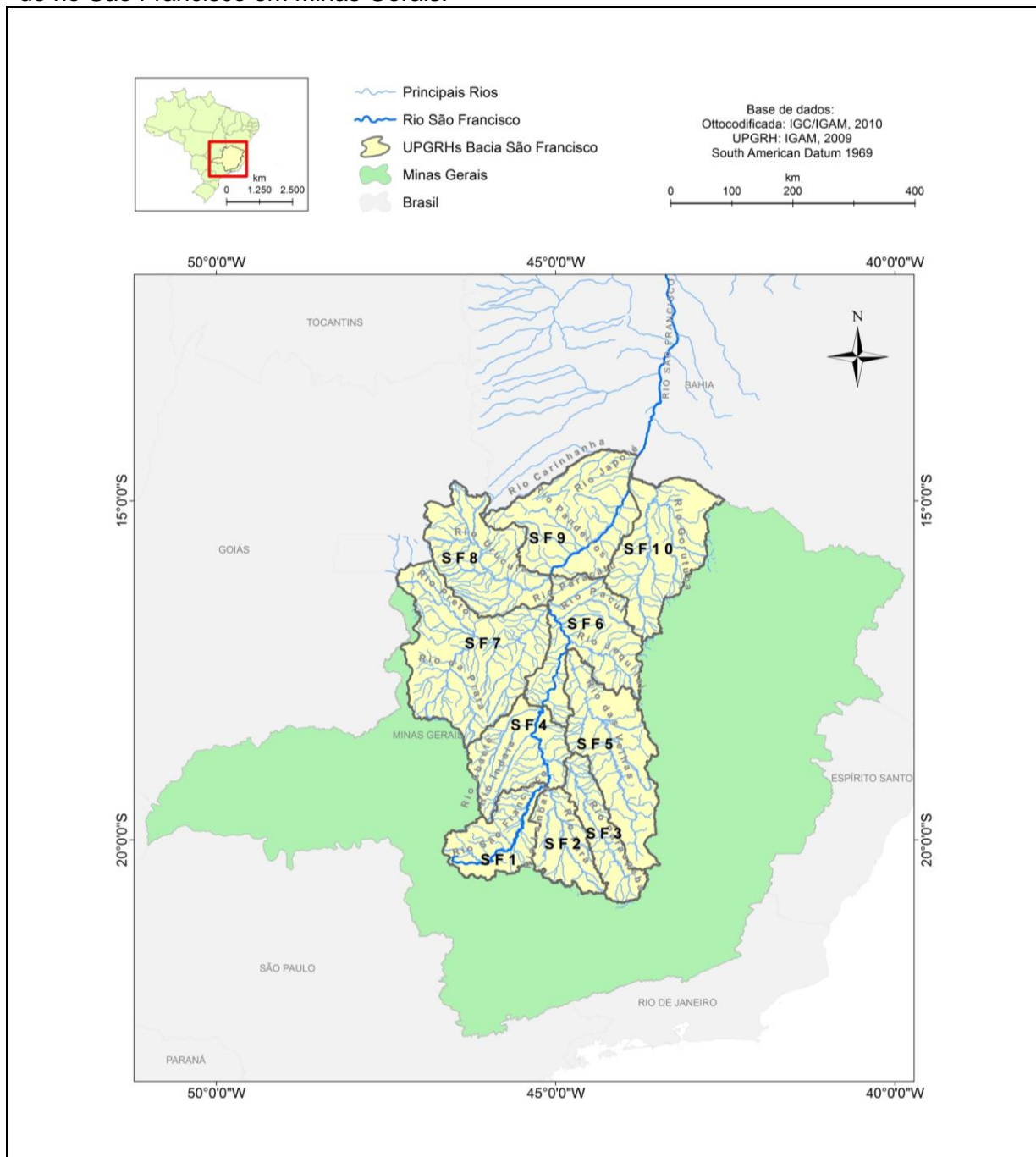
### **4.2 Área de estudo**

A bacia do rio São Francisco é a terceira bacia hidrográfica do Brasil em extensão territorial e está inserida totalmente em território brasileiro. Entre a cabeceira, na Serra da Canastra, em Minas Gerais, e a foz, no Oceano Atlântico, localizada entre os estados de Sergipe e Alagoas, o rio São Francisco percorre cerca de 2.700 km, drenando uma área de 639.219 km<sup>2</sup> e ocupando 7,5% do território nacional (IGAM, 2010a).

Cerca de 37% da bacia encontra-se no estado de Minas Gerais, englobando o alto e médio curso do rio São Francisco em relação ao Plano Nacional de Recursos Hídricos. São dez sub-bacias no estado de Minas Gerais divididas em Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs): Alto rio São Francisco, das nascentes até a confluência com o rio Pará (exclusive) (SF1); sub-bacia do rio Pará (SF2); sub-bacia do rio Paraopeba (SF3); região do entorno do reservatório de Três Marias (SF4); sub-bacia do rio das Velhas (SF5); região dos rios Jequitaiá e Pacuí (SF6); sub-bacia do rio Paracatu (SF7); sub-bacia do rio Urucuia e afluentes da margem esquerda do rio São Francisco entre os rios Paracatu e Urucuia (SF8); rio São Francisco, de jusante da confluência com o rio Urucuia até montante da confluência com o rio Carinhanha (SF9) e sub-bacia do rio Verde Grande (SF10) (CERH, 2002) (Figura 4.1). As UPGRHs são unidades físico territoriais, identificadas dentro das bacias hidrográficas do Estado, e apresentam uma identidade regional caracterizada por aspectos físicos, socioculturais, econômicos e políticos (IGAM, 2010a).

Na bacia do rio São Francisco, no estado de Minas Gerais, são predominantes as atividades agropecuárias e relevantes as atividades mineradoras e industriais. A bacia hidrográfica é caracterizada principalmente pela presença dos seguintes tipos de uso dos recursos hídricos: irrigação, dessedentação de animais, consumo humano, abastecimento público e consumo industrial. A irrigação está relacionada com a atividade econômica dominante na bacia (IGAM, 2010a).

**Figura 4.1.** Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs) da bacia do rio São Francisco em Minas Gerais.



### **4.3 1ª etapa: Organização e sistematização dos dados de monitoramento da qualidade das águas da bacia do rio São Francisco**

#### **4.3.1 Metodologia**

Nesse trabalho, foram analisados os dados de monitoramento do Projeto Águas de Minas, disponibilizados pelo IGAM, distribuídos ao longo das dez UPGRHs, correspondentes às sub-bacias da bacia do rio São Francisco, dentro do estado de Minas Gerais.

Essa primeira etapa foi dividida em duas sub-etapas, que consistiram na organização do banco de dados, para possibilitar a sua utilização nas avaliações propostas e, em seguida, na sistematização dos dados de monitoramento. Nesta sistematização foram calculadas os percentuais de dados faltantes (e de dados válidos) e de dados censurados para o banco de dados consolidado, estabelecida a correlação entre os parâmetros, além de verificada a distribuição dos dados. Cada sub-etapa será descrita detalhadamente a seguir.

Os dados secundários foram organizados em planilhas Excel, para cada UPGRH separadamente, considerando o ano de implementação da estação de monitoramento e a frequência de amostragem praticada.

A Tabela 4.1 apresenta as 331 estações implementadas pelo IGAM desde o início do programa de monitoramento, considerando a Rede Básica (pontos fixos de monitoramento do IGAM) e as Redes Dirigidas (pontos específicos e intermitentes para cada tipo de pressão antrópica) e a condição de cada uma delas, se ativa ou inativa. Como pode ser observado, existem 276 estações ativas, sendo 154 pertencentes à Rede Básica e 122 à Rede Dirigida. Ao longo de uma série histórica de 1997 a 2011, o IGAM vem monitorando 72 parâmetros físico-químicos e microbiológicos (Quadro 4.1). Os parâmetros analisados para cada estação de amostragem variam de acordo com a localização da estação, com o objetivo do monitoramento e com a época do ano, ou seja, os 72 parâmetros não são coletados em todas as amostragens, para todas as estações. Além disso, alguns parâmetros não são mais analisados atualmente e outros foram propostos ao longo dos anos, não havendo dados para toda a série histórica. Considerando os dados disponibilizados pelo IGAM, incluindo todos os 15 anos e todas as estações ativas, foram efetuadas 9812 coletas (367.942 observações).

**Tabela 4.1.** Estações de monitoramento de qualidade da água na bacia do rio São Francisco.

UPGRH	SUB-BACIA	TOTAL DE ESTAÇÕES		REDE BÁSICA		REDE DIRIGIDA	
		Estações ativas	Estações desativadas	Estações ativas	Estações desativadas	Estações ativas	Estações desativadas
SF1	Alto curso da bacia do rio São Francisco até a confluência com o rio Pará	7		7			
SF2	Rio Pará	26		26			
SF3	Rio Paraopeba	30		30			
SF4	Entorno da represa de Três Marias	18		17		1	
SF5	Rio das Velhas	100	25	36		73	16
SF6	Rios Jequitaiá e Pacuí	4	9	4			9
SF7	Rio Paracatu	30		8		22	
SF8	Rio Urucuia	13		12		1	
SF9	Rios Pandeiros e Calindó	19	2	7		14	
SF10	Rio Verde Grande	18	30	7		11	30
<b>SUB-TOTAL</b>		<b>265</b>	<b>66</b>	<b>154</b>	<b>0</b>	<b>122</b>	<b>55</b>
<b>TOTAL</b>		<b>331</b>		<b>154</b>		<b>177</b>	

Fonte: adaptado de IGAM, 2010a.

**Quadro 4.1.** Parâmetros do monitoramento da qualidade das águas e indicadores analisados pelo IGAM.

Alcalinidade de bicarbonato	Coliformes totais	Fluoreto ionizado	Selênio total
Alcalinidade total	Condutividade elétrica <i>in loco</i>	Fósforo total	Sódio dissolvido
Alumínio dissolvido	Condutividade elétrica laboratório	Magnésio total	Sódio total
Alumínio total	Cor verdadeira	Manganês total	Sólidos dissolvidos totais
AmôniaNI	Cromo hexavalente	Mercurio total	Sólidos em suspensão totais
Arsênio total	Cromo total	Níquel total	Sólidos sedimentáveis
Bário total	Cromo trivalente	Nitrato	Sólidos totais
Boro dissolvido	Demanda Bioquímica de Oxigênio	Nitrito	Substâncias tensoativas
Boro total	Demanda Química de Oxigênio	Nitrogênio amoniacal total	Sulfato total
Cádmio total	Densidade de cianobactérias	Nitrogênio orgânico	Sulfeto
Cálcio total	Dureza de cálcio	Óleos e graxas	Temperatura da água
Chumbo total	Dureza de magnésio	Ortofosfato	Temperatura do ar
Cianeto livre	Dureza total	Oxigênio dissolvido	Turbidez
Cianeto total	Estanho total	% ODSat	Zinco total
Cloreto total	Estreptococos fecais	pH <i>in loco</i>	Ensaio Ecotoxicológico
Clorofila <i>a</i>	Fenóis totais	pH laboratório	IQA
Cobre dissolvido	Feoftina <i>a</i>	Potássio dissolvido	CT
Cobre total	Ferro dissolvido	Potássio total	IET
Coliformes termotolerantes	Ferro total	Profundidade	

Obs: %ODSat - % de saturação do Oxigênio Dissolvido; IQA – Índice de Qualidade da Água; CT – Contaminação por Tóxicos; IET – Índice de Estado Trófico.

Para avaliar comparativamente as dez UPGRHs e identificar a sub-bacia mais impactada na bacia do rio São Francisco, optou-se por trabalhar apenas com os dados de qualidade das

águas da Rede Básica, já que aqueles pertencentes à Rede Dirigida não tinham continuidade ao longo de todo o período, além de terem sido criados para o monitoramento de determinado impacto específico (ex.: mineração, contaminação por esgoto, etc.), tendo a análise de parâmetros direcionados para tal finalidade.

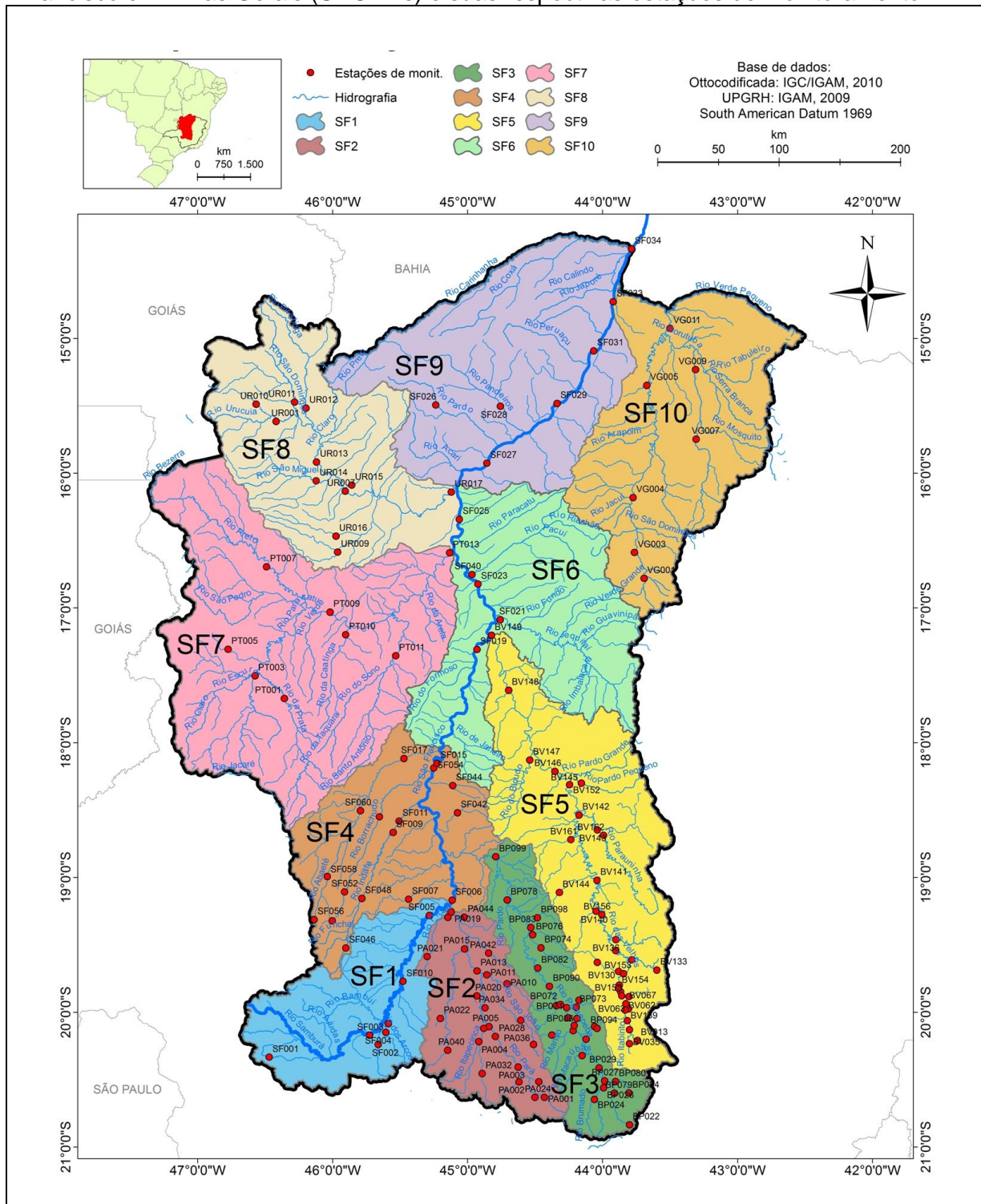
Dentro da Rede Básica, a opção foi por utilizar apenas os dados compreendidos entre 2008 e 2011, já que neste período foi observado um maior número de estações com séries completas de dados. A escolha desse período, considerando um intervalo mais recente, buscou ainda refletir melhor a qualidade atual dos corpos d'água superficiais das sub-bacias. Além disso, apesar de existirem algumas estações da Rede Básica com frequência de coletas mensal e outras com frequência trimestral, a opção foi por trabalhar apenas com os dados das coletas trimestrais, visando permitir comparações mais homogêneas e confiáveis entre a qualidade da água das diversas UPGRHs.

Sendo assim, o banco de dados consolidado ficou definido como Rede Básica, período de 2008 a 2011, coletas trimestrais, 150 estações. As UPGRHs da bacia do rio São Francisco e suas respectivas estações de monitoramento estudadas estão representadas na Figura 4.2.

Os 72 parâmetros, já desconsiderando os três índices (IQA, IET e CT), foram analisados para verificação da necessidade de sua exclusão, considerando os seguintes critérios analisados conjuntamente:

- Percentual de dados faltantes (e de dados válidos): foram considerados dados faltantes aqueles valores não computados quando da realização de uma coleta. Os parâmetros com mais de 60% dos dados faltantes (ou menos de 40% dos dados válidos) foram excluídos, considerando que, nesta situação, mais de metade das campanhas não foi efetuada no ano, o que acarretaria a perda importante de informações e a impossibilidade de analisar o efeito da sazonalidade sobre o comportamento dos parâmetros nas UPGRHs;
- Nível de correlação entre os dados brutos dos parâmetros, por meio da matriz de correlação de Spearman: apenas um dos parâmetros significativamente correlacionados foi mantido, sendo também considerada a relevância dos mesmos como indicadores de qualidade da água;
- Percentual de variância dos dados brutos em relação ao limite de detecção (LD), ou seja, parâmetros com mais de 90% de dados censurados em todas UPGRHs, considerando todas as coletas de 2008 a 2011, foram excluídos.

**Figura 4.2.** Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos da Bacia do rio São Francisco em Minas Gerais (UPGRHs) e suas respectivas estações de monitoramento.



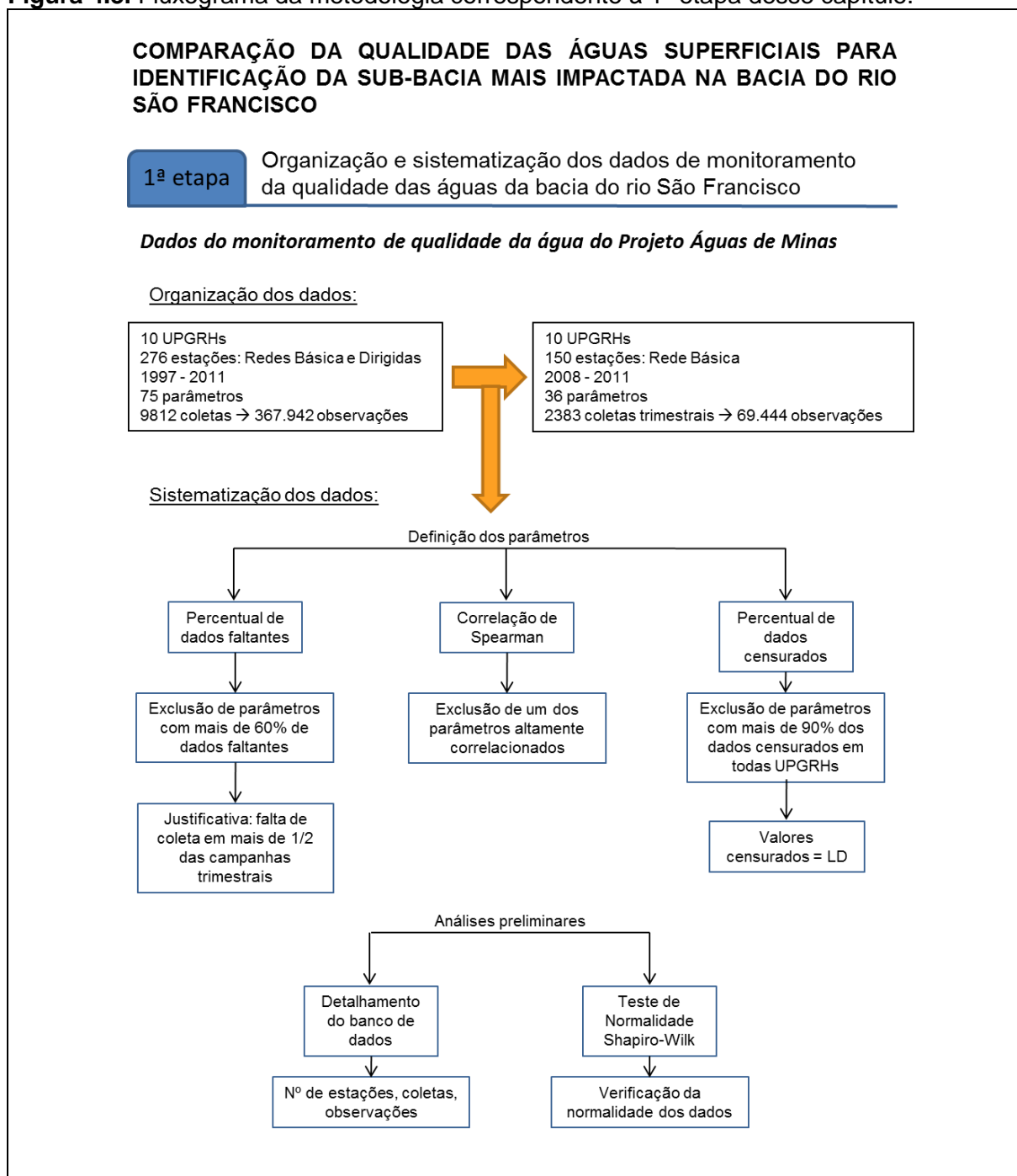
Os valores censurados, ou seja, menores que o limite de detecção dos métodos analíticos, foram substituídos pelo próprio LD, caracterizando o pior cenário possível, em termos de qualidade das águas. Os valores maiores que o LD também foram substituídos pelo valor do limite, uma vez que a sua existência já constitui importante informação para identificação do grau de degradação de uma sub-bacia.



Foi feito um detalhamento do banco de dados, especificando número de estações, coletas e observações. Para cada UPGRH, cada variável foi avaliada, ainda, para verificar se os dados seguiam ou não a distribuição normal. O teste de Normalidade Shapiro-Wilk, ao nível de significância de 5%, foi utilizado usando o software Statistica 8.0, para verificar o comportamento simétrico ou assimétrico dos dados.

A síntese da metodologia empregada nesta primeira etapa é apresentada no fluxograma da Figura 4.3.

**Figura 4.3.** Fluxograma da metodologia correspondente à 1ª etapa desse capítulo.



### 4.3.2 Resultados e Discussão

Os dados de monitoramento das dez sub-bacias do rio São Francisco foram todos organizados e analisados. O banco de dados utilizado para o desenvolvimento da pesquisa, contendo estações da Rede Básica, com coletas trimestrais compreendidas entre 2008 e 2011, possuía, originalmente, 2383 coletas e 101.544 observações, distribuídas entre as dez UPGRHs, compreendendo 150 estações e 72 parâmetros.

Após a exclusão dos parâmetros, considerando todos os critérios mencionados no item Metodologia, restaram 36 parâmetros e 69.444 observações. O Apêndice I (Tabela I.1) apresenta os parâmetros excluídos do banco de dados e a justificativa para tal exclusão. A Tabela 4.2 apresenta os 36 parâmetros mantidos no banco de dados, a notação de referência e as unidades de medida.

**Tabela 4.2.** Nome, notação de referência e unidade dos parâmetros estudados, presentes no banco de dados disponibilizados pelo IGAM.

Parâmetro	Notação de referência	Unidade	Parâmetro	Notação de referência	Unidade
Alcalinidade total	Alc <sub>T</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Fósforo total	P <sub>T</sub>	mg/L P
Alumínio dissolvido	Al <sub>diss</sub>	mg/L Al	Magnésio total	Mg <sub>T</sub>	mg/L Mg
Arsênio total	As <sub>T</sub>	mg/L As	Manganês total	Mn <sub>T</sub>	mg/L Mn
Bário total	Ba <sub>T</sub>	mg/L Ba	Níquel total	Ni <sub>T</sub>	mg/L Ni
Cálcio total	Ca <sub>T</sub>	mg/L Ca	Nitrato	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L N
Chumbo total	Pb <sub>T</sub>	mg/L Pb	Nitrogênio amoniacal total	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sub>T</sub>	mg/L N
Cianeto livre	CN <sup>-</sup>	mg/L CN	Oxigênio dissolvido	OD	mg/L O <sub>2</sub>
Cloreto total	Cl <sub>T</sub>	mg/L Cl	pH <i>in loco</i>	pH	
Clorofila <i>a</i>	Cl- <i>a</i>	µg/L	Potássio dissolvido	K <sub>diss</sub>	mg/L K
Cobre dissolvido	Cu <sub>diss</sub>	mg/L Cu	Sódio dissolvido	Na <sub>diss</sub>	mg/L Na
Coliformes termotolerantes	Coli. term.	NMP/100 ml	Sólidos dissolvidos totais	SDT	mg/L
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	CE	µmho/cm	Sólidos em suspensão	SST	mg/L
Cor verdadeira	Cor	mg/L Pt	Sólidos totais	ST	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	mg/L O <sub>2</sub>	Substâncias tensoativas	MBAS	mg/L LAS
Demanda Química de Oxigênio	DQO	mg/L O <sub>2</sub>	Sulfato total	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> <sub>T</sub>	mg/L SO <sub>4</sub>
Dureza total	Dur. <sub>T</sub>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Temperatura da água	T <sub>H2O</sub>	°C
Fenóis totais	Fen <sub>T</sub>	mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	Turbidez	Turb.	UNT
Ferro dissolvido	Fe <sub>diss</sub>	mg/L Fe	Zinco total	Zn <sub>T</sub>	mg/L Zn

Com a determinação dos dados a serem analisados, foi feito um detalhamento do banco de dados, considerando cada UPGRH separadamente. A Tabela 4.3 apresenta a descrição geral dos bancos de dados, considerando o número de estações monitoradas, o total de coletas efetuado, o número de parâmetros analisados e o número total de observações em cada

UPGRH. No Apêndice I (Tabelas I.2 a I.11) é possível encontrar o detalhamento do banco de dados de cada UPGRH, individualmente, considerando o número de coletas, percentual de dados válidos e de dados censurados.

**Tabela 4.3.** Descrição geral dos dados de monitoramento de qualidade da água realizado pelo IGAM, por UPGRH. Coletas trimestrais da Rede Básica, entre os anos de 2008 e 2011.

	SF1	SF2	SF3	SF4	SF5	SF6	SF7	SF8	SF9	SF10	TOTAL
Estações monitoradas	7	25	30	17	33	4	8	12	7	7	<b>150</b>
Total de coletas	112	399	479	270	528	64	128	190	107	106	<b>2383</b>
Parâmetros analisados	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	<b>36</b>
Número de observações	3254	11860	13616	7811	16106	1903	3600	5332	3057	2905	<b>69444</b>

O estudo da normalidade de cada parâmetro também foi efetuado por UPGRH, utilizando o teste Shapiro-Wilk, a um nível de significância de 5%. Como esperado, por se tratarem de dados ambientais, a grande maioria dos dados não seguiram a distribuição normal, com poucas exceções como Oxigênio Dissolvido e Temperatura da Água (Apêndice I, Tabelas I.12 a I.22). Justifica-se, então, o uso de testes não-paramétricos.

#### **4.4 2ª etapa: Análise exploratória dos dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais das sub-bacias do rio São Francisco**

##### **4.4.1 Metodologia**

###### 4.4.1.1 Tratamento preliminar dos dados de monitoramento

Para realizar a comparação da qualidade das águas das UPGRHs, considerando todos os 36 parâmetros selecionados, foram empregadas diversas análises multivariadas, técnicas consideradas exploratórias na avaliação dos dados de monitoramento da qualidade das águas. Para isso, foi necessário um tratamento preliminar dos dados, que consistiu do cálculo das medianas de cada parâmetro, considerando todas as estações de cada UPGRH, calculadas por trimestre e, ainda, da padronização de todos os dados.

O uso das medianas se justifica pelo fato das Unidades de Planejamento apresentarem números muito diferentes de estações de monitoramento (Tabela 4.3) e, conseqüentemente, de coletas, e as análises multivariadas requererem o mesmo número de dados em cada UPGRH.

Decidiu-se utilizar as medianas pelo fato de tratarem-se de dados ambientais, que não seguem a distribuição Normal, e existirem muitos valores abaixo do limite de detecção, os quais

foram substituídos pelo próprio valor do LD para os cálculos das medidas de tendência central. Além disso, a utilização das medianas em análises multivariadas é reportada por diversos autores que efetuaram trabalhos semelhantes ao apresentado nesta pesquisa (CHRISTOFARO, 2009; FRANÇA *et al.*, 2009; OUYANG, 2005; SANTOS-ROMÁN *et al.*, 2003).

A padronização das medianas consiste na transformação das variáveis em escala Z (média 0 e desvio padrão 1:  $Z=(X - \mu)/\sigma$ ), a fim de se evitar interferências no resultado devido às diferentes unidades de medida dos parâmetros. A padronização foi realizada no Excel, por parâmetro, considerando as medianas de todas as UPGRHs juntas para o cálculo da média e do desvio padrão. Ao utilizar uma média e um desvio padrão únicos para cada parâmetro em todas as sub-bacias, a variação dos dados entre si fica evidenciada, já que permite comparações em uma mesma base.

#### 4.4.1.2 Análise de Cluster

Após a organização e padronização do banco de dados, foi realizada uma Análise de Cluster (AC), com ligação completa, para agrupar as UPGRHs da bacia do rio São Francisco em função de suas similaridades, levando em consideração os dados físico-químicos e microbiológicos do monitoramento da qualidade da água.

#### 4.4.1.3 Análise de Componentes Principais / Análise Fatorial

Seguindo a AC, foi efetuada a Análise de Componentes Principais (ACP) buscando identificar as Componentes Principais da bacia do rio São Francisco, ou seja, quais parâmetros eram mais importantes para a caracterização da qualidade das águas da bacia.

Em seguida, foi realizada uma Análise Fatorial (AF) do mesmo conjunto de dados, a fim de simplificar ainda mais a estrutura dos dados e identificar poucos parâmetros responsáveis por grande parte da variância encontrada nos dados.

A análise desses resultados buscou justificar os agrupamentos encontrados na AC e identificar os principais fatores responsáveis pela poluição/degradação em cada um dos grupos.

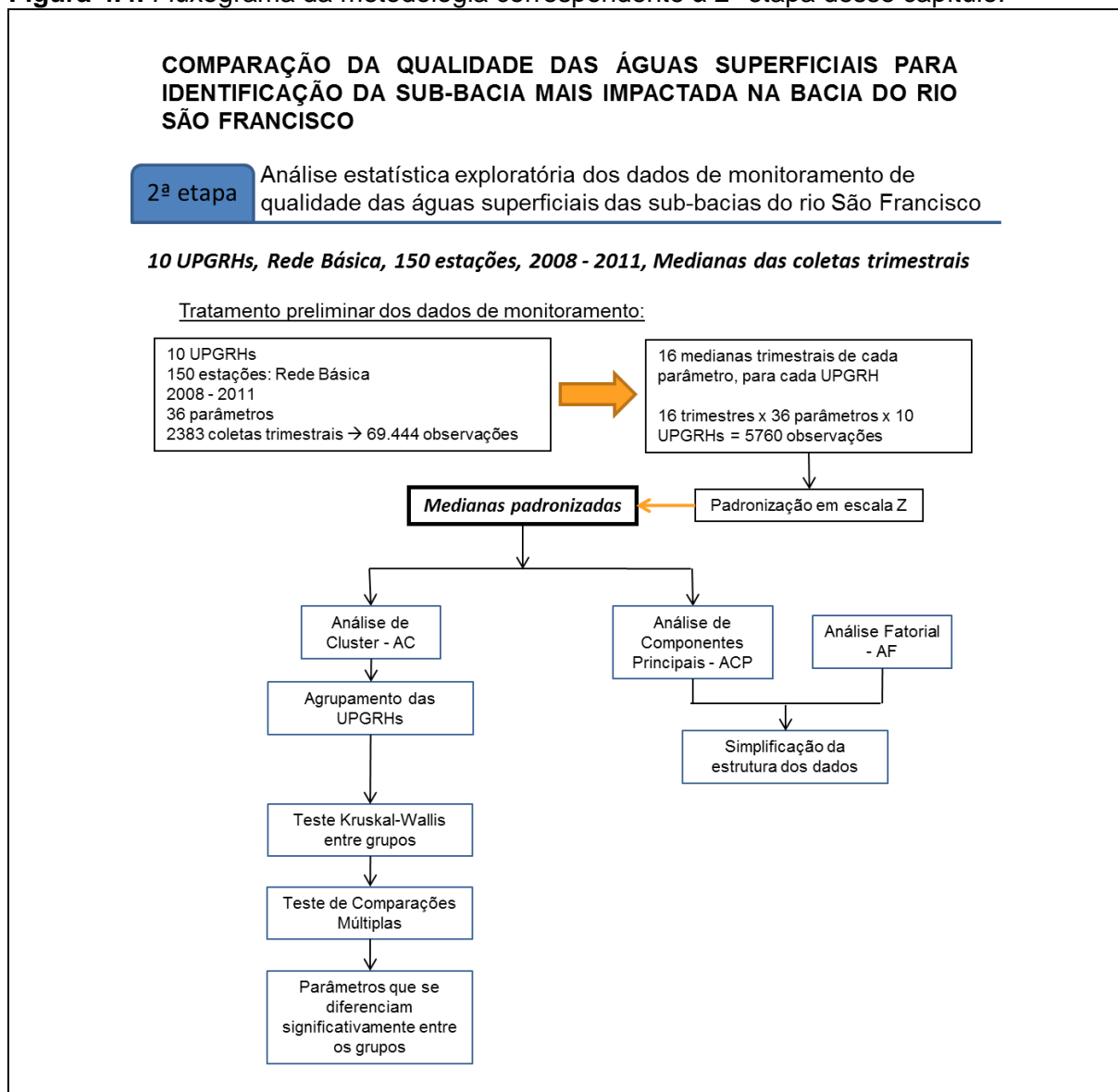
#### 4.4.1.4 Testes de Kruskal-Wallis para comparação entre os agrupamentos obtidos na AC

Buscando ainda justificar e confirmar os agrupamentos, foram realizados testes de Kruskal-Wallis, seguidos de testes de comparações múltiplas, ao nível de significância  $\alpha$  de 5%,

utilizando as medianas padronizadas de cada grupo, com o objetivo de encontrar os parâmetros que se diferenciaram significativamente entre os grupos.

Os resultados das ferramentas estatísticas exploratórias utilizadas permitiram comparações em busca de determinar a sub-bacia mais impactada na bacia do rio São Francisco. Todas as análises citadas anteriormente foram realizadas no software Statistica 8.0. A síntese da metodologia empregada nesta segunda etapa é apresentada no fluxograma da Figura 4.4.

**Figura 4.4.** Fluxograma da metodologia correspondente à 2ª etapa desse capítulo.



## 4.4.2 Resultados e Discussão

### 4.4.2.1 Tratamento preliminar dos dados de monitoramento

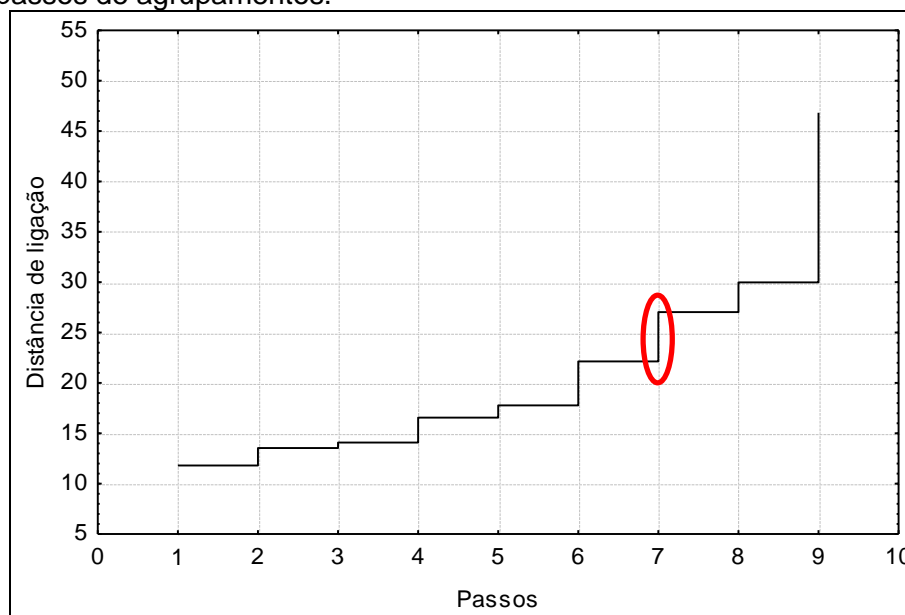
Nesta etapa, como detalhado no item 4.4.1.1, foi utilizada a mediana como medida de tendência central, visando utilizar a informação de todas as estações de cada UPGRH, obtendo o mesmo número de dados para todas as sub-bacias. Assim, foram utilizadas 16 medianas trimestrais de cada parâmetro, para cada UPGRH, correspondentes aos quatro anos – 2008-2011 – com quatro trimestres cada, totalizando 5760 observações, após padronização dos dados em escala Z.

### 4.4.2.2 Análise de Cluster

Para comparar as UPGRHs, foi utilizada a Análise de Cluster com o objetivo de identificar quais sub-bacias apresentavam maiores similaridades entre si, considerando as medianas dos 36 parâmetros.

Para determinar o corte que determina o número de grupos no dendograma gerado pela AC, procedeu-se como recomendado por Vicini, 2005. Uma análise em conjunto do “gráfico de ligação através dos passos” (Figura 4.5), que mostra as distâncias nas quais os grupos foram formados, com os valores de ligação entre as variáveis (Tabela 4.4), foi possível observar que o maior salto (4,90) ocorre entre os passos de agrupamento 6 e 7, que correspondem às distâncias de ligação 22,14 e 27,04. A linha Fenon (linha de corte) foi traçada, então, entre essas duas distâncias, no valor médio de 24,59 no dendograma (Figura 4.6).

**Figura 4.5.** Gráfico das Distâncias Euclidianas nas quais os grupos foram formados ao longo dos passos de agrupamentos.



**Tabela 4.4.** Valores das distâncias de ligação nas quais os agrupamentos foram formados ao longo dos passos de agrupamento.

Distância de ligação	Agrupamentos	Diferença entre os valores de ligação (saltos)
11,81	SF1 SF4	-
13,54	SF7 SF8	1,73
14,08	SF1 SF4 SF2	0,54
16,55	SF7 SF8 SF9	2,47
17,78	SF1 SF4 SF2 SF3	1,22
22,14	SF6 SF7 SF8 SF9	4,36
27,04	SF1 SF4 SF2 SF3 SF5	4,90
29,99	SF1 SF4 SF2 SF3 SF5 SF6 SF7 SF8 SF9	2,95
46,82	SF1 SF4 SF2 SF3 SF5 SF6 SF7 SF8 SF9 SF10	16,83

É possível visualizar quatro agrupamentos na Figura 4.6. O Grupo 1 é formado pelas Unidades SF1, SF2, SF3 e SF4 e o Grupo 3 pelas Unidades SF6, SF7, SF8 e SF9. Tais agrupamentos são condizentes com a localização das sub-bacias, refletindo também a sua proximidade geográfica. A UPGRH SF5, que se refere à Unidade do rio das Velhas, uma sub-bacia sabidamente impactada e que possui características que a distingue das demais, com alta densidade populacional e nível de industrialização (IGAM, 2010a; POMPEU *et al.*, 2005; TRINDADE *et al.*, 2012), pode ser considerada um grupo, assim como a Unidade SF10 (sub-bacia do rio Verde Grande), completamente isolada das demais. Com isso, conclui-se que essas duas UPGRHs se diferenciam e se destacam em relação às outras sub-bacias.

**Figura 4.6.** Dendograma da Análise de Cluster para o banco de dados de medianas do período de 2008 a 2011: 150 estações, 4 anos de série histórica e 36 parâmetros.

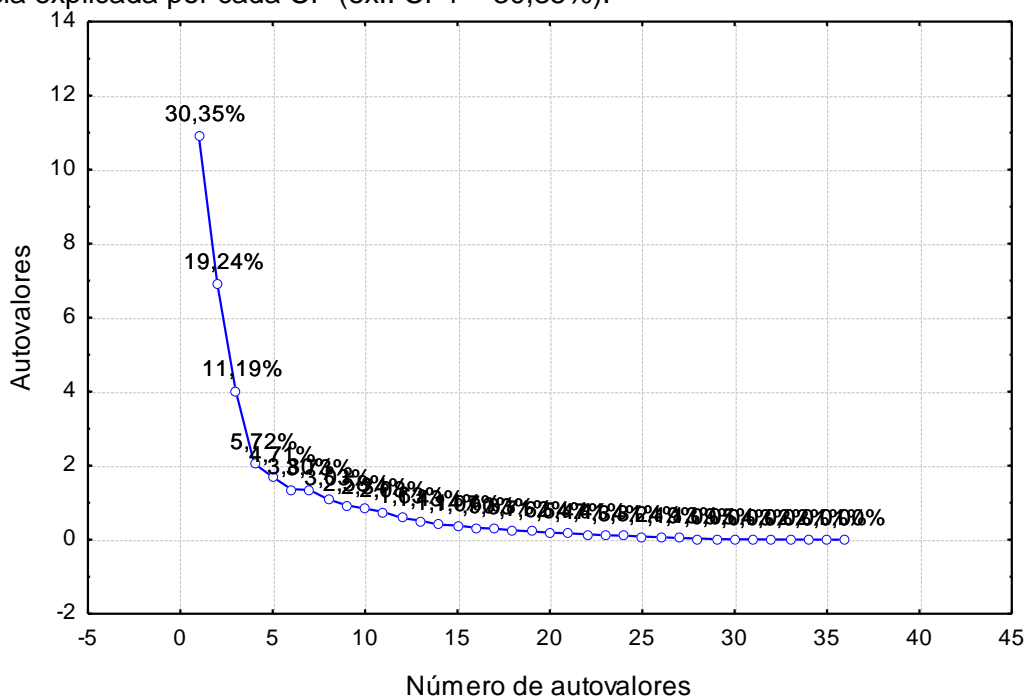


#### 4.4.2.3 Análise de Componentes Principais / Análise Fatorial

Após obter os agrupamentos do dendrograma anterior, realizou-se a Análise de Componentes Principais (ACP), considerando as medianas de todas as Unidades, em busca dos parâmetros mais importantes para a caracterização da qualidade das águas da bacia do rio São Francisco. O objetivo de utilizar essa análise foi eliminar a informação redundante e obter um pequeno número de variáveis não correlacionadas que representassem toda a estrutura dos dados originais e a maioria da variância encontrada nos mesmos.

Ao extrair os Componentes Principais, foram encontrados 36 CPs (como esperado pelo fato de estarem sendo analisadas 36 variáveis), sendo oito CPs com autovalores maiores que um, que explicam quase 82% da variância encontrada na qualidade das águas da bacia (Tabela 4.5). O gráfico *Scree* (Figura 4.7) apresenta os valores das raízes latentes (autovalores) em ordem decrescente. Observa-se uma “quebra” no gráfico após o quarto autovalor, o que indica que os quatro primeiros CPs devem ser retidos ou considerados na análise.

**Figura 4.7.** Gráfico *Scree* com os autovalores dos Componentes Principais obtidos na ACP com os dados da bacia do rio São Francisco. Os percentuais representam a proporção de variância explicada por cada CP (ex.: CP1 – 30,35%).



A Tabela 4.5 apresenta a matriz de correlação entre os CPs e as variáveis originais (cargas dos Componentes Principais). Em negrito estão indicadas as maiores correlações entre a variável e o CP, ou seja, para qual CP o parâmetro mais contribui, e sublinhados estão os valores de carga maiores que 0,75, em módulo. Segundo Liu *et al.* (2003), pode-se classificar as cargas dos fatores como “fortes”, “moderadas” e “fracas”, correspondendo aos valores absolutos



iguais a >0,75, 0,75 - 0,50 e 0,50 - 0,30, respectivamente. Dessa forma, buscou-se todas as variáveis que possuísem valores de carga maiores que 0,75, sendo consideradas as mais importantes para a variância encontrada nos dados.

**Tabela 4.5.** Resultado da ACP, com as cargas obtidas para cada Componente Principal, para a bacia do rio São Francisco.

Parâmetros	Carga dos Componentes Principais							
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
Alc <sub>T</sub>	<b>-0,967</b>	-0,157	-0,075	0,025	0,019	-0,014	0,062	0,016
Al <sub>diss</sub>	0,116	0,081	-0,097	<b>0,904</b>	0,154	0,017	-0,135	-0,163
As <sub>T</sub>	0,026	<b>0,500</b>	0,379	-0,151	0,380	-0,044	0,427	-0,167
Ba <sub>T</sub>	-0,029	<b>0,841</b>	0,133	0,111	-0,250	0,112	0,025	0,053
Ca <sub>T</sub>	<b>-0,960</b>	-0,082	-0,040	0,003	-0,019	-0,060	0,034	0,018
Pb <sub>T</sub>	0,081	<b>0,450</b>	-0,349	-0,236	-0,113	0,331	-0,444	0,041
CN <sup>-</sup>	0,075	-0,045	<b>-0,853</b>	-0,052	0,379	-0,213	0,073	0,125
Cl <sub>T</sub> <sup>-</sup>	<b>-0,906</b>	-0,121	-0,081	0,040	0,098	0,109	-0,037	-0,130
Cl- <i>a</i>	<b>-0,629</b>	-0,262	-0,063	0,066	-0,131	0,287	0,006	-0,191
Cu <sub>diss</sub>	-0,194	0,330	0,108	0,010	-0,053	<b>-0,701</b>	-0,087	-0,333
Coli. term.	0,099	<b>0,444</b>	0,382	0,056	0,415	0,256	0,321	0,039
CE	<b>-0,973</b>	-0,149	-0,049	-0,003	0,089	0,045	0,013	-0,033
Cor	0,197	<b>0,624</b>	-0,538	0,081	-0,011	0,175	-0,102	0,017
DBO	-0,166	-0,138	0,179	-0,160	0,352	0,119	<b>-0,472</b>	-0,317
DQO	-0,418	<b>0,609</b>	-0,080	0,008	0,024	-0,153	-0,135	0,117
Dur. <sub>T</sub>	<b>-0,977</b>	-0,060	-0,044	0,007	-0,021	-0,028	0,035	0,003
Fen <sub>T</sub>	-0,188	0,101	<b>0,826</b>	0,120	-0,330	0,174	-0,032	0,075
Fe <sub>diss</sub>	0,194	0,013	0,006	<b>0,902</b>	0,210	0,053	-0,156	-0,059
P <sub>T</sub>	-0,186	<b>0,620</b>	0,120	0,005	0,260	0,102	-0,290	0,275
Mg <sub>T</sub>	<b>-0,931</b>	0,061	0,010	0,049	-0,045	-0,019	0,063	0,014
Mn <sub>T</sub>	-0,013	<b>0,829</b>	0,052	-0,104	0,281	0,042	0,206	-0,049
Ni <sub>T</sub>	0,042	<b>0,728</b>	-0,327	-0,289	0,026	0,320	-0,182	-0,055
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,013	-0,007	0,519	-0,205	<b>0,616</b>	0,063	0,015	-0,004
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sub>T</sub>	-0,395	0,292	<b>0,442</b>	-0,021	0,063	-0,403	-0,203	0,231
OD	<b>0,645</b>	-0,294	0,311	-0,190	-0,061	-0,092	-0,156	-0,261
pH	<b>-0,539</b>	-0,070	-0,333	-0,249	-0,177	-0,027	0,016	-0,351
K <sub>diss</sub>	<b>-0,914</b>	-0,026	-0,038	0,077	-0,001	-0,077	-0,060	0,111
Na <sub>diss</sub>	<b>-0,910</b>	-0,174	-0,059	0,012	0,147	0,099	-0,062	-0,067
SDT	<b>-0,972</b>	0,078	-0,071	0,037	0,055	0,030	0,011	0,011
SST	0,092	<b>0,929</b>	0,034	0,038	-0,103	-0,129	-0,026	-0,181
ST	-0,345	<b>0,876</b>	-0,004	0,044	-0,070	-0,085	0,002	-0,146
MBAS	-0,102	0,088	<b>0,896</b>	0,039	-0,300	0,185	-0,031	-0,090
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> <sub>T</sub>	<b>-0,865</b>	-0,050	0,241	-0,052	0,067	0,111	-0,061	-0,152
T <sub>H2O</sub>	-0,058	0,298	-0,382	0,154	-0,233	0,196	<b>0,531</b>	-0,225
Turb.	0,105	<b>0,927</b>	-0,048	-0,008	-0,152	-0,132	-0,076	-0,141
Zn <sub>T</sub>	<b>-0,537</b>	0,331	0,043	0,042	-0,197	-0,078	0,118	0,477
Autovalores	10,926	6,925	4,030	2,058	1,695	1,369	1,344	1,092
% de variância explicada	30,35	19,24	11,19	5,72	4,71	3,80	3,73	3,03
% cumulativo de variância	30,35	49,59	60,78	66,50	71,20	75,01	78,74	81,77

Observa-se que, apesar de existirem variáveis nos CPs 5 a 8, só existem cargas fortes (maiores que 0,75) nos quatro primeiros CPs, coincidindo com a decisão de reter os quatro primeiros Componentes, de acordo com o gráfico *Scree*.

Como pode ser visto na Tabela 4.5, o Componente Principal 1 (CP1) explica 30,35% da variância e tem a contribuição negativa das variáveis  $Al_{T}$ ,  $Ca_{T}$ ,  $Cl^{-}_{T}$ ,  $CE$ ,  $Dur_{T}$ ,  $Mg_{T}$ ,  $K_{diss}$ ,  $Na_{diss}$ ,  $SDT$  e  $SO_{4}^{-2}_{T}$ . O CP2 explica 19,24% da variância e tem, principalmente, a participação positiva dos parâmetros  $Ba_{T}$ ,  $Mn_{T}$ ,  $SST$ ,  $ST$  e  $Turb$ . O CP3 (11,19% da variância) inclui contribuição negativa do  $CN^{-}$  e positiva do  $Fen_{T}$  e  $MBAS$ . Já o CP4 (5,72%) é positivamente relacionado com  $Al_{diss}$  e  $Fe_{diss}$ .

Considerando os parâmetros correlacionados com cada CP, pode-se interpretar que, de modo predominante, o CP1 diz respeito a material inorgânico dissolvido, estando muito relacionado a sais e íons dissolvidos, refletindo as condições naturais da bacia, características com origem no solo; o CP2 envolve metais e esgoto sanitário; o CP3 poderia representar a contaminação por efluente industrial e o CP4 o impacto do uso do solo, seja por atividades minerárias, agropecuárias ou silvicultura, o que disponibiliza  $Al_{diss}$  e  $Fe_{diss}$  na água.

A rotulação dos Componentes Principais se baseou no significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade da água, com base no exposto em anexos dos relatórios do IGAM (IGAM, 2010a) e Cetesb (Cetesb, 2012). Ressalta-se que o CP1 foi considerado como material inorgânico dissolvido por possuir forte correlação com parâmetros relacionados à dissolução de rochas e intemperismo ( $Al_{T}$ ,  $Ca_{T}$ ,  $Cl^{-}_{T}$ ,  $Dur_{T}$ ,  $CE$ ,  $K_{diss}$ ,  $Na_{diss}$ ,  $SDT$ , Sulfato e  $Zn_{T}$ ), apesar desses mesmos parâmetros na água também terem como origem antropogênica os despejos domésticos e industriais. Santos-Román *et al.* (2003) e Vega *et al.* (1998) realizaram análises fatoriais para avaliação de qualidade da água, em Porto Rico e na Espanha, respectivamente, e obtiveram como resultados parâmetros semelhantes carregando o Fator 1. Ambos relacionam o fator com componente mineral, contribuição iônica do solo, conteúdo inorgânico e origem natural.

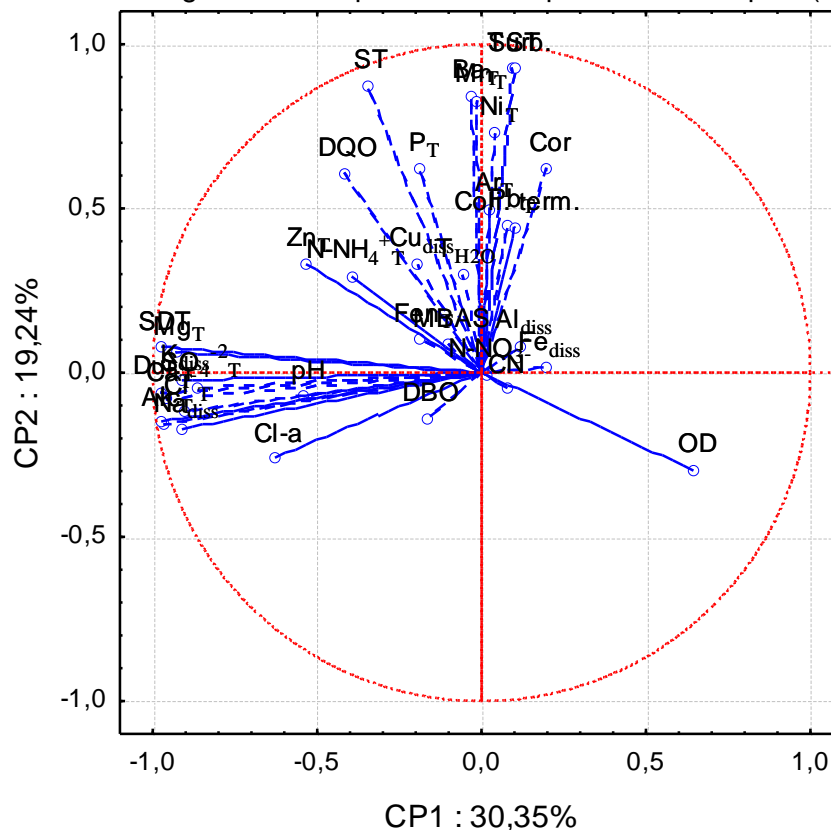
A rotulação de CP2 se baseou no conjunto de parâmetros que carregam esse Componente, havendo metais ( $As_{T}$ ,  $Ba_{T}$ ,  $Pb_{T}$ ,  $Mn_{T}$ ,  $Ni_{T}$ ) além de parâmetros associados a esgoto sanitário, como Coliformes, Fósforo, DQO e sólidos. Esses parâmetros também podem caracterizar contaminação por efluentes industriais, atividades minerárias e carga difusa (NONATO *et al.*, 2007). Os parâmetros  $Mn_{T}$  e Turbidez, que apresentaram carga forte, se destacam por caracterizar o mau uso do solo (ex.: processos erosivos) (IGAM, 2010a; IGAM, 2010b).

Para CP3, é interessante mencionar que três dos parâmetros que carregam esse Componente ( $CN^-$ ,  $Fen_T$  e Nitrogênio amoniacal) são considerados parâmetros tóxicos e compõem o índice Contaminação por Tóxicos (IGAM, 2010a).

Também é interessante destacar que os principais fatores de pressão sobre a qualidade das águas do estado de Minas Gerais identificados no Relatório Anual de 2009 (IGAM, 2010a) foram contaminação por esgoto doméstico, por atividades industriais e minerárias e por mau uso do solo, resultado que coincide com os Componentes encontrados pela ACP. Essas principais pressões também foram identificadas na bacia do rio São Francisco através do Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil (ANA, 2012).

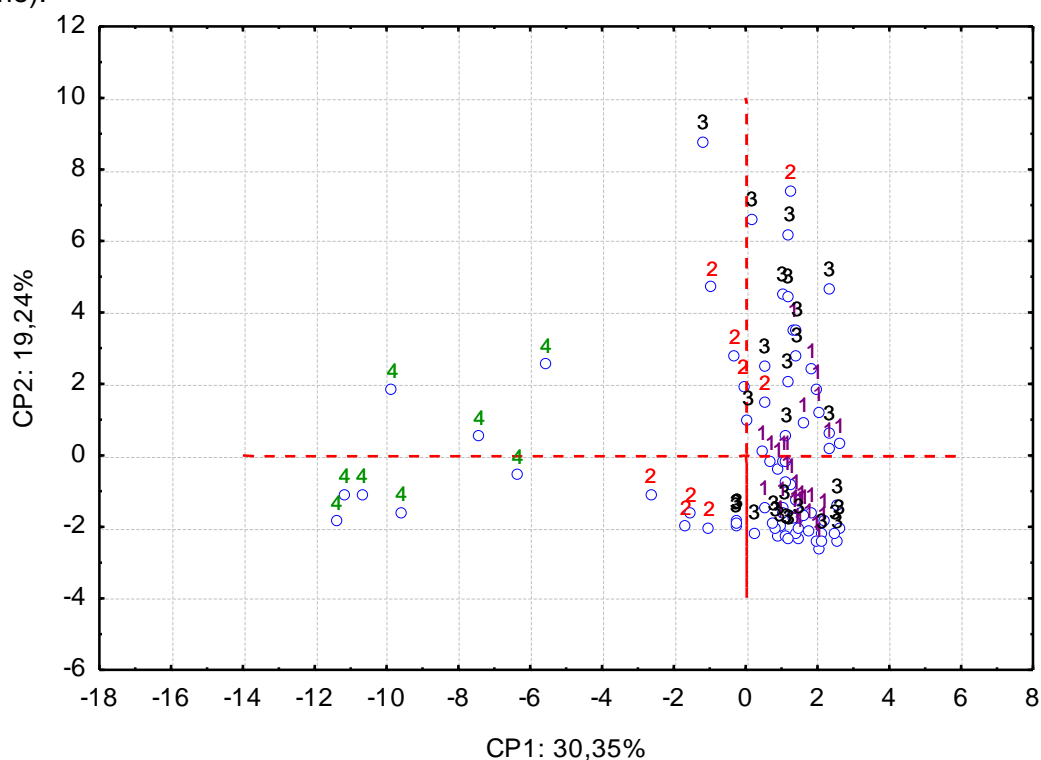
A Figura 4.8 mostra a projeção das variáveis em relação aos dois primeiros CPs. Quanto menor é o ângulo entre o vetor de peso e o eixo do Componente Principal, maior é a importância do parâmetro correspondente (NONATO *et al.*, 2007). Pela sobreposição de variáveis, pode-se concluir que um grande número de variáveis está relacionado negativamente com o CP1, enquanto outras variáveis estão relacionadas positivamente com o CP2, como também é possível observar pela matriz de cargas (Tabela 4.5). Entre todas as variáveis que contribuem fortemente para o CP1, o OD é a única que se relaciona positivamente, como é possível visualizar na figura.

**Figura 4.8.** Gráfico das cargas dos dois primeiros Componentes Principais (CP1 x CP2).



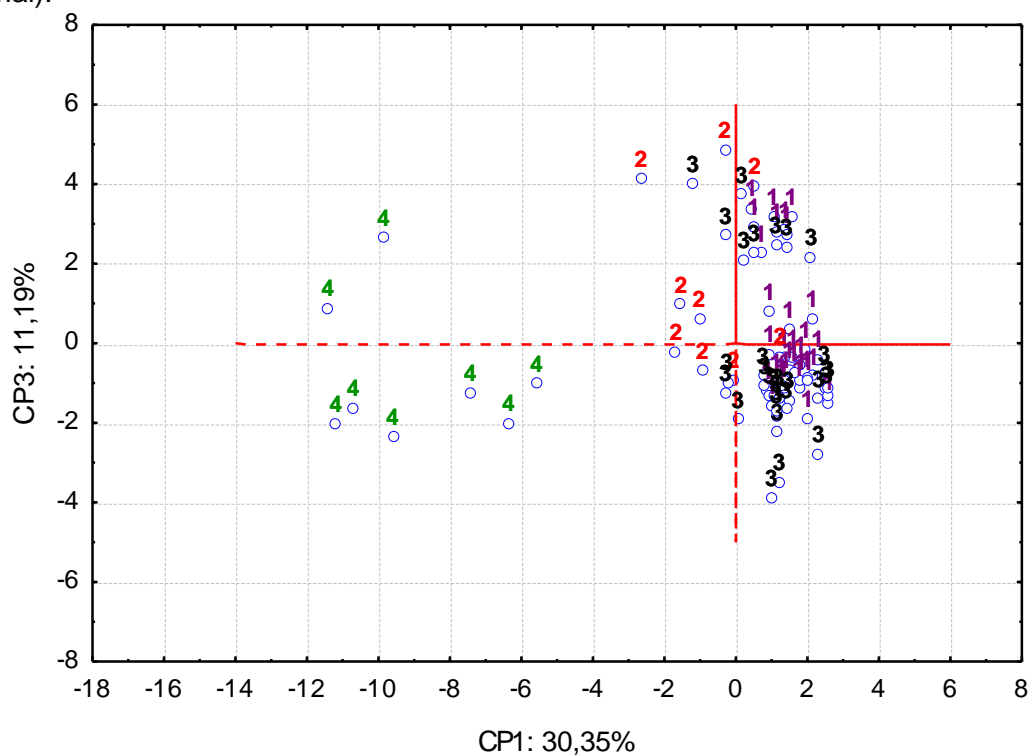
Um diagrama dos escores dos CPs pode fornecer uma ideia da localização das várias amostras no espaço dos Componentes Principais. Ao plotar os CPs obtidos, levando em conta os dados de cada agrupamento definido pela AC, é possível observar que o Grupo 4 (Unidade SF10) se destaca principalmente em relação aos materiais inorgânicos dissolvidos (altos valores, em módulo, em relação ao CP1) (Figuras 4.9, 4.10 e 4.11). Já os Grupos 2 (SF5) e 3 (SF6, SF7, SF8 e SF9) possuem forte influência de metais, esgoto sanitário (CP2) e efluentes industriais (CP3), se destacando mais em CP2 (Figuras 4.9, 4.10, 4.12 e 4.13). Para os CPs 1 e 2, observa-se que o Grupo 1 (SF1, SF2, SF3 e SF4) é o que mais se aproxima dos eixos, ponto (0,0), possivelmente por ter menos interferências desses fatores. Porém, é possível observar que esse mesmo grupo se destaca em relação ao CP4, podendo ser caracterizado por forte influência de processos erosivos do solo (Figura 4.11, 4.13 e 4.14), apesar de também apresentar escores consideráveis para o CP3 (Figuras 4.10, 4.12 e 4.14)

**Figura 4.9.** Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP1 - Material inorgânico dissolvido x CP2 - Metais e esgoto sanitário).



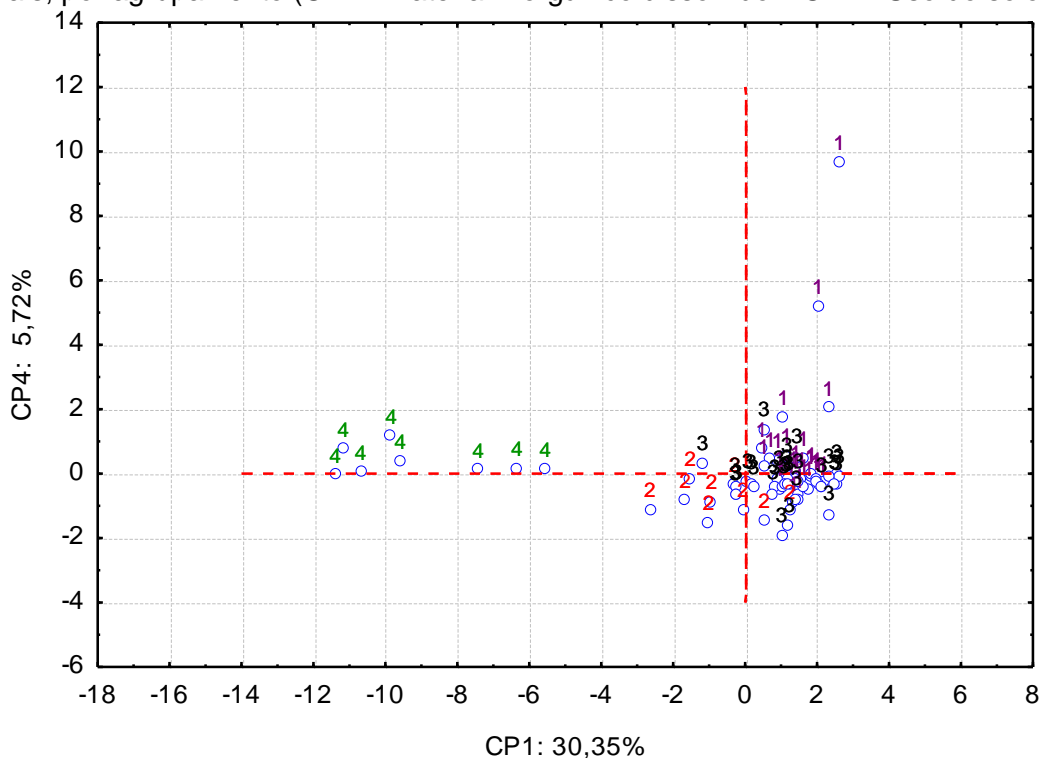
1: Grupo 1 (SF1, SF2, SF3 e SF4); 2: Grupo 2 (SF5); 3: Grupo 3 (SF6, SF7, SF8 e SF9); 4: Grupo 4 (SF10)

**Figura 4.10.** Projeção dos casos analisados (medias) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP1 - Material inorgânico dissolvido x CP3 - Efluente industrial).



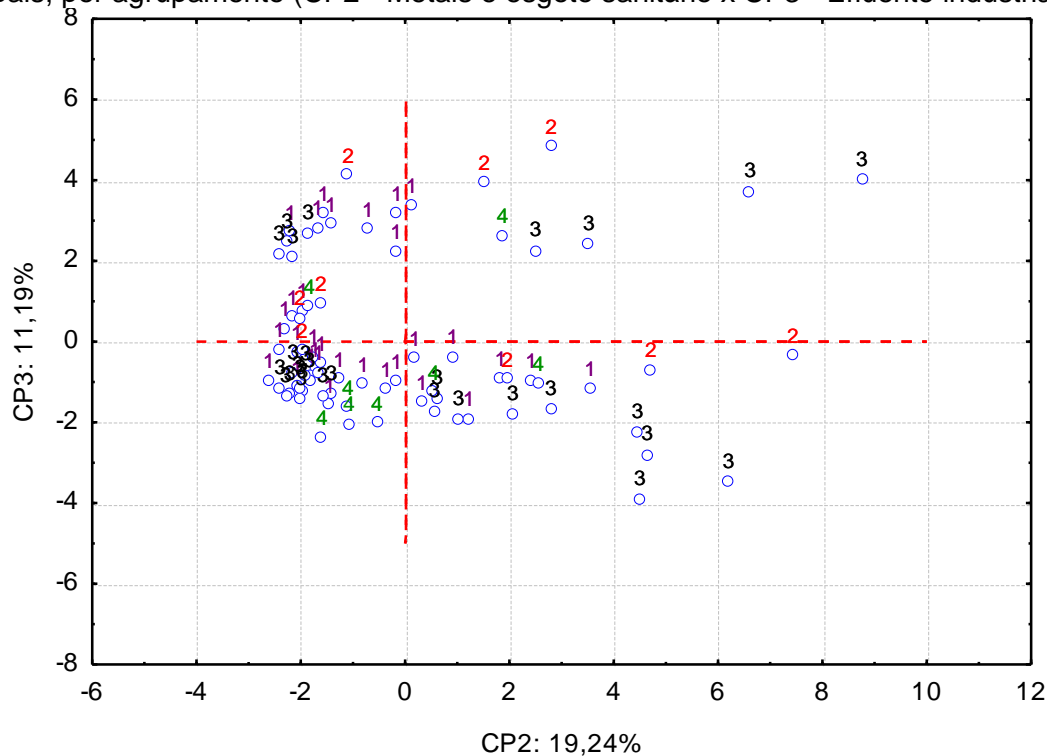
1: Grupo 1 (SF1, SF2, SF3 e SF4); 2: Grupo 2 (SF5); 3: Grupo 3 (SF6, SF7, SF8 e SF9); 4: Grupo 4 (SF10)

**Figura 4.11.** Projeção dos casos analisados (medias) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP1 - Material inorgânico dissolvido x CP4 - Uso do solo).



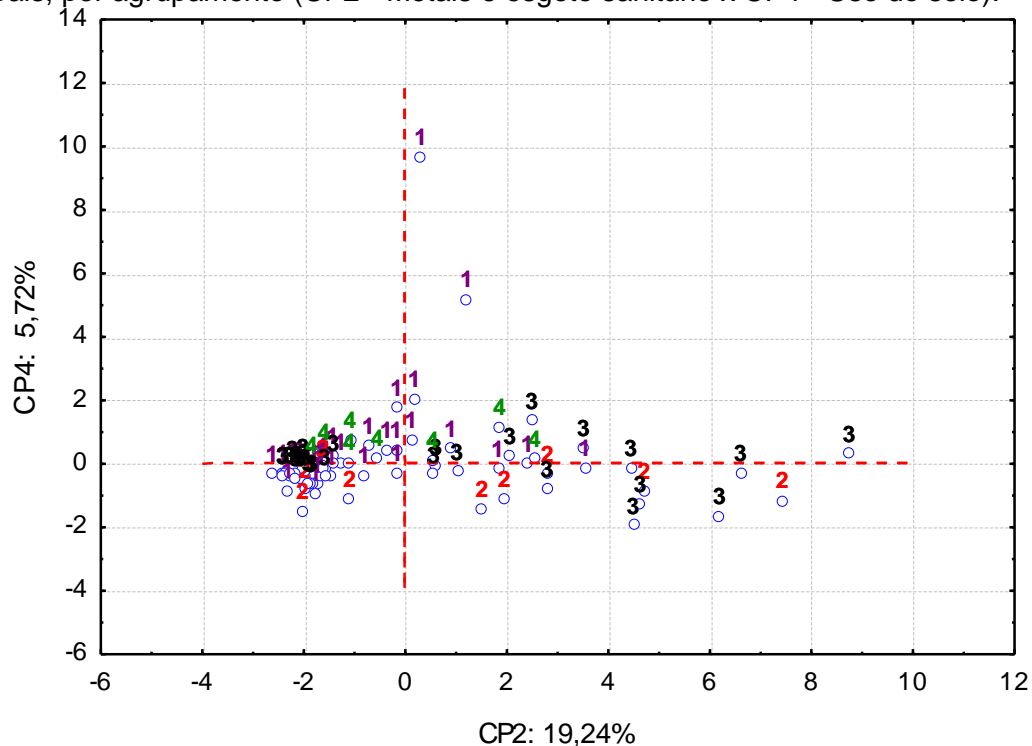
1: Grupo 1 (SF1, SF2, SF3 e SF4); 2: Grupo 2 (SF5); 3: Grupo 3 (SF6, SF7, SF8 e SF9); 4: Grupo 4 (SF10)

**Figura 4.12.** Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP2 - Metais e esgoto sanitário x CP3 - Efluente industrial).



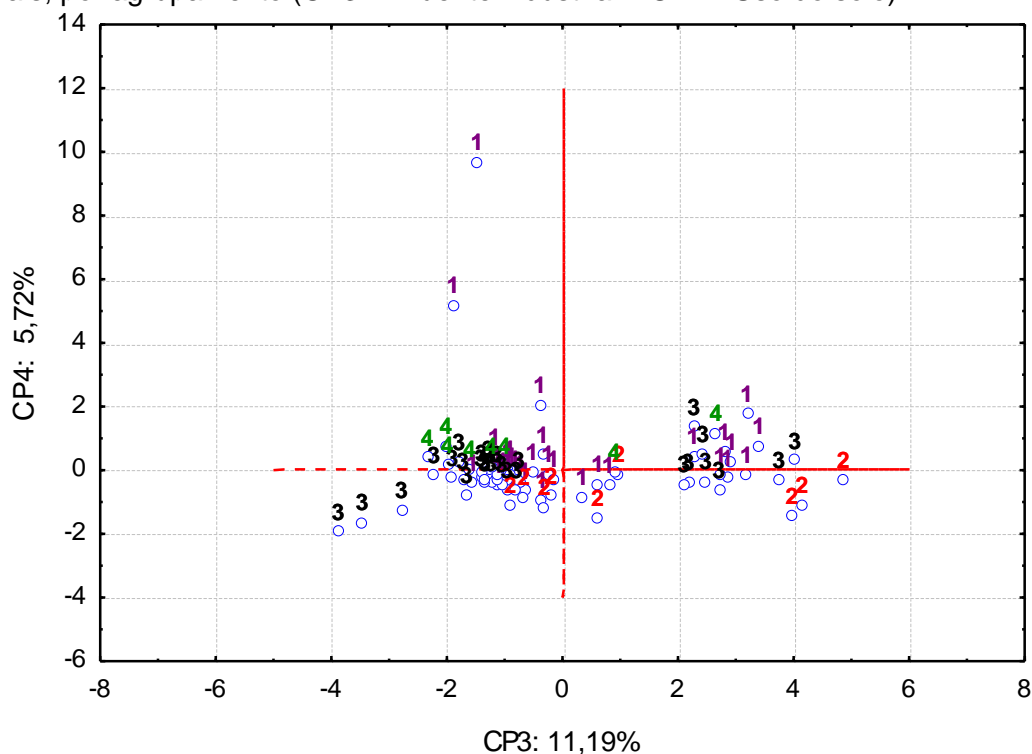
1: Grupo 1 (SF1, SF2, SF3 e SF4); 2: Grupo 2 (SF5); 3: Grupo 3 (SF6, SF7, SF8 e SF9); 4: Grupo 4 (SF10)

**Figura 4.13.** Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP2 - Metais e esgoto sanitário x CP4 - Uso do solo).



1: Grupo 1 (SF1, SF2, SF3 e SF4); 2: Grupo 2 (SF5); 3: Grupo 3 (SF6, SF7, SF8 e SF9); 4: Grupo 4 (SF10)

**Figura 4.14.** Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP3 - Efluente industrial x CP4 - Uso do solo).



1: Grupo 1 (SF1, SF2, SF3 e SF4); 2: Grupo 2 (SF5); 3: Grupo 3 (SF6, SF7, SF8 e SF9); 4: Grupo 4 (SF10)

O Relatório Anual de 2009 do Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Rio São Francisco (IGAM, 2010a) e o Relatório do Primeiro Trimestre de 2012 (IGAM, 2012), publicados pelo IGAM, apresentam as possíveis fontes de poluição em cada uma das estações de monitoramento no estado de Minas Gerais, associadas aos indicadores de degradação verificados pelo monitoramento. A partir dessas informações, foi criada a Tabela 4.6, que apresenta os fatores de pressão possivelmente responsáveis por alterações na qualidade das águas em cada uma das UPGRHs estudadas nesse trabalho. Para confeccionar essa tabela, foram identificadas as fontes relacionadas a cada uma das 150 estações: por exemplo, a estação BV144 (Unidade SF5) apresenta como possíveis fontes de poluição o lançamento de esgoto doméstico, abate de animais, laticínios e erosão (IGAM, 2012). Dessa forma, ela foi considerada quatro vezes na tabela, todas para a coluna SF5, nas linhas correspondentes a “Lançamento de esgoto doméstico/sanitário”, “Suinocultura, Avicultura, Granja, Matadouro, Frigorífico”, “Indústria de laticínios” e “Erosão/Assoreamento”. Procedeu-se dessa forma para todas as estações. Os valores da tabela representam o número de estações, em cada UPGRH, que possui influência da poluição especificada na primeira coluna.

**Tabela 4.6.** Possíveis fontes de poluição e o número de estações em cada uma das UPGRHs que pode estar sofrendo influência desses fatores de pressão.

Fonte de poluição	Número de estações, por UPGRH									
	SF1	SF2	SF3	SF4	SF5	SF6	SF7	SF8	SF9	SF10
Atividade Minerária:										
Extração de areia, argila, cascalho, calcáreo, quartzo		2	7		11	1	1	1		
Garimpo, extração de pedras preciosas				5	2					
Extração e beneficiamento de minerais metálicos (minério de ferro)			1		7					
Mineração e beneficiamento de ouro					10					
Não especificado	1	11	9	6	2	2	4	6		1
Silvicultura										
Agricultura, plantações, hortifruticultura	4	23	25	17	12	3	3	11	3	7
Pecuária	4	23	19	16	11	4	5	12	5	7
Carga difusa	6	23	17	16	23	4	8	12	6	7
Erosão, assoreamento		6	12	3	18	1	3	1	2	
Lançamento de esgoto doméstico/sanitário	4	25	28	9	31	3	3	7	2	5
Lançamento de efluente industrial	2	8	12	2	20	1	2	1	2	2
Tipos de indústrias:										
Indústria química					8					
Indústria farmacêutica					2					
Indústria de cerâmica	1	2	1	1						
Indústria têxtil		2	5		12					1
Indústria de componentes automotivos			1							1
Indústria siderúrgica		7	7		14	1				1
Indústria metalúrgica (galvanoplastia)		2	13		4					
Indústria de adubos, fertilizantes, produtos orgânicos, ração	1			1	4					
Indústria de laticínios	1		1	1	12		1			
Indústria alimentícia					4					
Indústria de bebidas		1	3		7					
Indústria de borracha/plástico		1			1					
Suinocultura, Avicultura, Granja, Matadouro, Frigorífico		5	4	1	10					
Curtume		1			5					
Outras		1- calçado; 1- fogos de artifício			2- lâmpadas; 3- papel; 3- cimenteiras; 2- madeiras;					
Não especificado				1	5		1	1	2	1

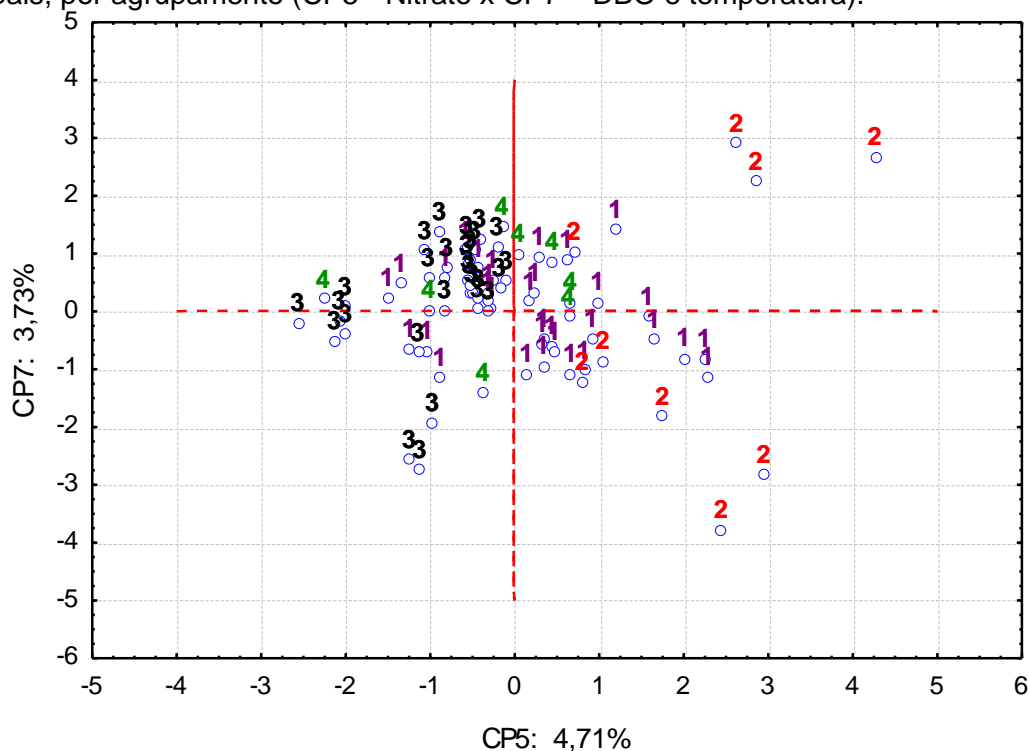
Fonte: Adaptado de IGAM, 2010a,b,c,d e IGAM, 2012.



Uma associação entre os Componentes Principais mais significativos encontrados para cada um dos quatro grupos com os fatores de pressão das atividades antrópicas na região ajuda na interpretação dos indicadores de degradação. Por exemplo, o Grupo 2 (SF5) se destacou principalmente para os CPs 2 (Metais e esgoto sanitário) e 3 (Efluente industrial), o que pode ser justificado pelo grande número de pontos de monitoramento na UPGRH SF5 que sofre pressão de lançamento de efluentes, atividades agropecuárias e minerárias, apesar do Grupo 2 não ter escores altos para CP4. O Grupo 1 (SF1, SF2, SF3 e SF4) apresenta influência de atividade minerária, agricultura, pecuária e lançamento de efluentes, se destacando principalmente para o CP4 (Uso do solo), mas também para CP3 (Efluente Industrial). O Grupo 3 (SF6, SF7, SF8 e SF9) apresenta muitas estações de monitoramento cujas possíveis fontes de poluição são atividades agropecuárias, carga difusa, erosão e extração de areia, justificando as cargas altas para CP2 (Metais e esgoto sanitário), que também pode representar carga difusa e processos erosivos. O Grupo 4 (SF10), que se destaca em relação ao CP1 (Material inorgânico dissolvido), é a Unidade que apresenta o menor número de estações sob influência de fontes de poluição antrópica.

Percebe-se pela Tabela 4.6 que em todas as Unidades há um número grande de estações que tem como fonte de pressão o lançamento de esgoto doméstico. O segundo Componente Principal apresenta correlação com o parâmetro Coliformes Termotolerantes, apesar de não ser uma carga alta (0,444) e, como já mencionado anteriormente, os Grupos 2 e 3 são os que possuem maiores escores em relação à essa Componente, seja devido ao lançamento de efluentes ou pelas atividades agropecuárias. Além disso, o CP5 é carregado pelo parâmetro Nitrato (0,616) e o CP7 é carregado pela DBO (-0,472) e temperatura (0,531) (Tabela 4.5), apesar de não serem Componentes com cargas consideradas fortes (maiores que 0,75). Ao plotar o diagrama dos escores desses dois Componentes (CP5 e CP7) (Figura 4.15), observa-se que o Grupo 2 (SF5) se destaca para ambos em relação aos demais grupos. Isso mostra que a degradação da qualidade da água por esgoto doméstico é mais acentuada na Unidade SF5 (sub-bacia do rio das Velhas). Segundo IGAM (2010a; 2010b), o principal adensamento populacional da bacia do rio São Francisco corresponde à Região Metropolitana de Belo Horizonte, na região do alto São Francisco, sendo que os municípios mais populosos dessa área, Belo Horizonte e Contagem, são os que mais contribuem com matéria orgânica e fecal nos corpos de água monitorados.

**Figura 4.15.** Projeção dos casos analisados (medianas) no plano dos Componentes Principais, por agrupamento (CP5 - Nitrato x CP7 – DBO e temperatura).



Apesar de a ACP ter fornecido uma boa redução da dimensão dos dados de qualidade da água, sendo possível fazer conclusões importantes sobre a qualidade nos quatro grupos definidos pela AC, foi realizada uma Análise Fatorial, com o objetivo de reduzir a contribuição das variáveis menos significativas obtidas pela ACP, para simplificar ainda mais a estrutura dos dados. O método de extração utilizado foi a Análise de Componentes e foram retidos oito Fatores, todos com autovalor maior que um. A rotação *Varimax* foi utilizada, obtendo-se pesos altos para cada variável em um único fator e pesos baixos ou moderados nos demais fatores. A Tabela 4.7 mostra a matriz fatorial obtida como resultado da AF. Da mesma forma que na Tabela 4.5, os valores em negrito apresentam as maiores correlações entre os parâmetros e cada um dos Fatores e os valores sublinhados destacam as cargas maiores que 0,75.

O poder explicativo mudou ligeiramente para uma distribuição mais equilibrada por causa da rotação. As cargas Fatoriais possuem valores um pouco diferentes das cargas dos Componentes Principais e o padrão de correlações sofreu algumas alterações: o Zinco, que carregava o CP1 passou a carregar o Fator 8, junto com DBO que carregava o CP7; Arsênio e Coliformes, que carregavam o CP2 passaram a carregar o Fator 5; o Nitrogênio amoniacal que carregava o CP3 passou a carregar o Fator 7; e o Cobre que carregava o CP6 passou a carregar o Fator 6 com carga maior que 0,75. Porém, apesar dessas mudanças, tanto a ACP

quanto a AF explicam, considerando os oito CPs/Fatores, 81,77% da variância total dos dados.

**Tabela 4.7.** Resultado da AF, com as cargas obtidas para cada Fator, para a bacia do rio São Francisco.

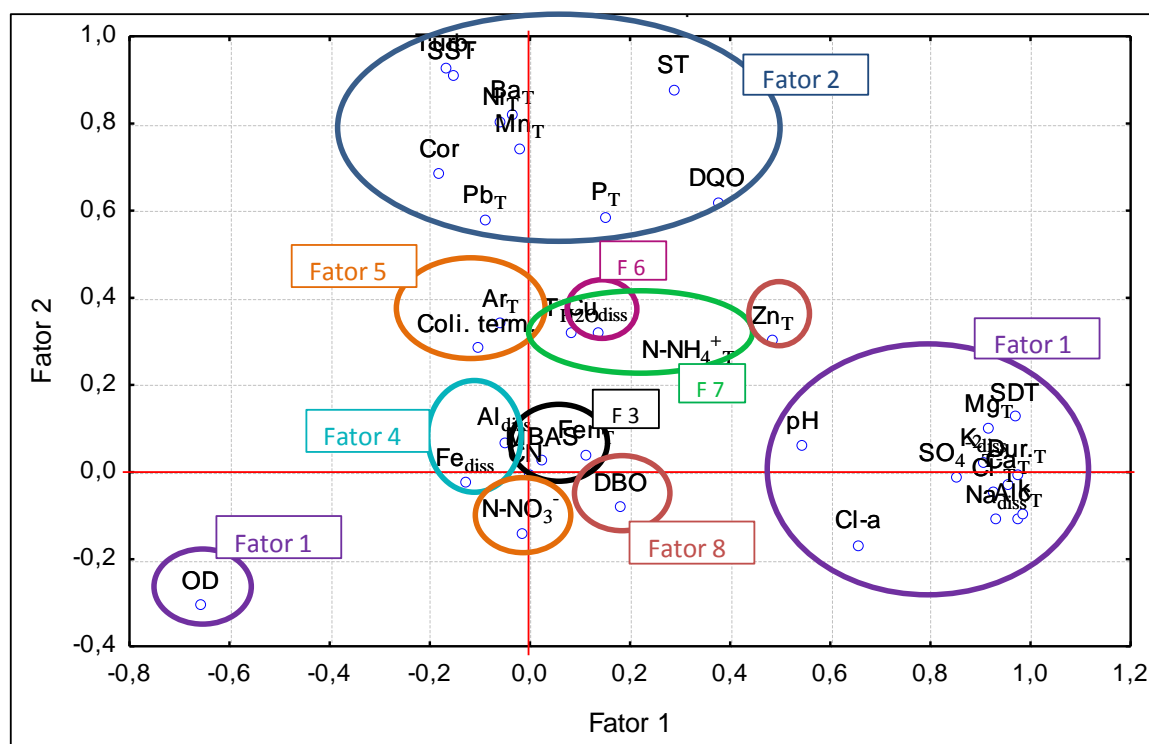
Parâmetros	Carga dos fatores								Comunalidades
	Fator1	Fator2	Fator3	Fator4	Fator5	Fator6	Fator7	Fator8	
Alc <sub>T</sub>	<b>0,975</b>	-0,105	-0,012	0,052	-0,033	0,042	-0,012	0,065	0,972
Al <sub>diss</sub>	-0,052	0,069	-0,050	<b>-0,947</b>	-0,046	0,041	-0,066	-0,018	0,916
Ar <sub>T</sub>	-0,059	0,340	0,146	0,105	<b>0,762</b>	0,182	-0,087	0,014	0,773
Ba <sub>T</sub>	-0,035	<b>0,819</b>	0,288	-0,069	0,052	-0,042	-0,044	0,226	0,817
Ca <sub>T</sub>	<b>0,955</b>	-0,031	0,027	0,077	-0,048	0,090	0,020	0,076	0,936
Pb <sub>T</sub>	-0,090	<b>0,579</b>	-0,167	0,146	-0,305	-0,385	0,129	-0,238	0,708
CN <sup>-</sup>	-0,002	-0,009	<b>-0,971</b>	-0,019	-0,030	-0,021	-0,002	0,069	0,948
Cl <sub>T</sub>	<b>0,927</b>	-0,048	-0,009	-0,020	-0,006	-0,026	-0,038	-0,138	0,883
Cl-a	<b>0,657</b>	-0,166	0,121	-0,020	-0,157	-0,162	-0,245	-0,155	0,609
Cu <sub>diss</sub>	0,134	0,321	0,019	-0,006	-0,017	<b>0,800</b>	0,087	-0,056	0,772
Coli. term.	-0,105	0,286	0,203	-0,112	<b>0,720</b>	-0,176	0,004	0,064	0,699
CE	<b>0,985</b>	-0,093	-0,002	0,049	0,013	0,004	0,012	-0,036	0,983
Cor	-0,182	<b>0,686</b>	-0,399	-0,140	-0,124	-0,237	-0,101	0,025	0,766
DBO	0,182	-0,081	0,071	-0,009	0,084	-0,013	0,282	<b>-0,659</b>	0,566
DQO	0,374	<b>0,619</b>	-0,056	-0,004	0,022	0,117	0,223	0,137	0,608
Dur. <sub>T</sub>	<b>0,973</b>	-0,005	0,035	0,071	-0,043	0,069	0,002	0,064	0,963
Fen <sub>T</sub>	0,112	0,038	<b>0,919</b>	-0,022	0,070	-0,016	0,109	0,118	0,889
Fe <sub>diss</sub>	-0,130	-0,025	0,009	<b>-0,951</b>	0,009	-0,027	0,037	0,006	0,925
P <sub>T</sub>	0,152	<b>0,585</b>	0,051	-0,080	0,208	-0,180	0,470	0,025	0,671
Mg <sub>T</sub>	<b>0,917</b>	0,099	0,097	0,036	-0,004	0,073	-0,008	0,113	0,879
Mn <sub>T</sub>	-0,020	<b>0,742</b>	-0,050	0,043	0,519	0,016	-0,010	0,055	0,827
Ni <sub>T</sub>	-0,058	<b>0,802</b>	-0,209	0,192	0,006	-0,315	-0,015	-0,187	0,862
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,018	-0,141	0,178	0,077	<b>0,673</b>	-0,020	0,343	-0,257	0,695
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sub>T</sub>	0,317	0,223	0,300	0,049	0,125	0,358	<b>0,532</b>	0,169	0,698
OD	<b>-0,658</b>	-0,306	0,223	0,120	-0,041	0,175	0,017	-0,341	0,740
pH	<b>0,545</b>	0,063	-0,178	0,273	-0,235	0,136	-0,306	-0,222	0,623
K <sub>diss</sub>	<b>0,906</b>	0,020	0,022	-0,006	-0,081	0,065	0,137	0,115	0,865
Na <sub>diss</sub>	<b>0,931</b>	-0,110	-0,021	0,002	0,012	-0,046	0,039	-0,131	0,901
SDT	<b>0,971</b>	0,127	0,000	0,017	0,020	0,009	0,030	0,045	0,962
SST	-0,154	<b>0,910</b>	0,093	-0,063	0,114	0,232	-0,045	0,036	0,935
ST	0,288	<b>0,879</b>	0,083	-0,039	0,122	0,193	-0,039	0,068	0,922
MBAS	0,025	0,026	<b>0,965</b>	0,028	0,132	0,039	0,045	-0,037	0,956
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> <sub>T</sub>	<b>0,852</b>	-0,013	0,277	0,072	0,104	0,030	0,046	-0,181	0,855
T <sub>H2O</sub>	0,083	0,318	-0,170	-0,066	0,033	-0,079	<b>-0,698</b>	0,224	0,687
Turb.	-0,168	<b>0,930</b>	0,038	-0,015	0,024	0,204	-0,024	0,045	0,939
Zn <sub>T</sub>	0,485	0,301	0,122	0,100	-0,033	-0,043	0,183	<b>0,549</b>	0,689
Autovalores	10,783	6,624	3,477	2,060	2,159	1,432	1,518	1,385	
% de variância explicada	29,95	18,40	9,66	5,72	6,00	3,98	4,22	3,85	
% cumulativo de variância	29,95	48,35	58,01	63,73	69,73	73,71	77,93	81,77	

A rotulação dos quatro primeiros Fatores é a mesma dos Componentes: Fator 1 – Material inorgânico dissolvido; Fator 2 – Metais e esgoto sanitário; Fator 3 – Efluentes industriais;

Fator 4 – Uso do solo. O Fator 5 é o fator do Efluente doméstico e Arsênio, o Fator 6 é o Cobre, Fator 7 é composto pelo  $\text{N-NH}_4^+$  e temperatura e Fator 8 é Matéria orgânica e Zinco.

A Figura 4.16 apresenta um gráfico da projeção das variáveis em relação aos dois primeiros Fatores. Esse gráfico revela quais dos parâmetros estão mais proximamente associados a cada um dos Fatores, bem como quais medidas são mais semelhantes, refletidas por pontos que são próximos no gráfico. Dessa forma, foi possível agrupar os parâmetros por Fatores, de acordo com a Tabela 4.7. Como esperado, os parâmetros que carregam os Fatores 1 e 2 estão em maior evidência nesse gráfico, sendo que alguns parâmetros, localizados mais próximos ao centro do gráfico, carregam muito pouco esses Fatores, apresentando, inclusive, comportamento distinto dos demais parâmetros do mesmo Fator (Fatores 5 e 8).

**Figura 4.16.** Gráfico das cargas dos dois primeiros Fatores (Fator 1 x Fator 2).



Um conceito interessante introduzido pela AF é comunalidade, que é a quantia de variância explicada pela solução fatorial para cada variável. O tamanho da comunalidade é um índice útil para avaliar o quanto de variância em uma dada variável é explicada pela solução fatorial. Comunalidades grandes indicam que uma grande quantidade de variância em uma variável foi extraída pela solução fatorial. As comunalidades pequenas mostram que uma boa parte da variância em uma variável não é explicada pelos Fatores (HAIR *et al.*, 2005). Observa-se que DBO e DQO, parâmetros relacionados com matéria orgânica, são os que possuem os menores valores, ou seja, a variância desses parâmetros é pouco explicada pelos oito Fatores extraídos.

Também pode-se interpretar esses valores como sendo a quantia total de variância que essas variáveis originais compartilham com todas as outras variáveis incluídas na análise. Dessa forma, pode-se considerar que são parâmetros com características específicas e que, portanto, não carregaram suficientemente nenhum Fator para que esse pudesse ser rotulado de matéria orgânica.

Como é possível observar pelas interpretações das análises ACP e AF, há dificuldade em concluir a que se referem alguns CPs/Fatores e associar o fator com as características de cada sub-bacia, como as possíveis fontes de pressão, uso e ocupação do solo, formação geológica e tipo de solo. Essa dificuldade pode ser atribuída à falta de espacialização da informação, já que foram utilizadas informações de várias UPGRHs juntas para analisar os Grupos 1 e 3. Além do mais, cada UPGRH possui informação de qualidade das águas de várias estações de monitoramento, que possuem características particulares e diferentes fontes de poluição e impacto. Mesmo assim, é possível inferir sobre algumas fontes de poluição e degradação em cada um dos grupos, através dos Componentes identificados na ACP (Tabela 4.8). É possível observar que a Unidade SF10 compõe o grupo que mais se destacou para parâmetros relacionados a características naturais do solo, enquanto SF5 (Grupo 2) é o que mais se destacou para Componentes que representam poluição por efluentes, tanto industriais quanto domésticos.

**Tabela 4.8.** Fatores de poluição e degradação identificados nas sub-bacias de cada um dos agrupamentos, de acordo com os resultados dos gráfico de escores no plano dos CPs.

Fatores	Grupo 1 (SF1, SF2, SF3, SF4)	Grupo 2 (SF5)	Grupo 3 (SF6, SF7, SF8, SF9)	Grupo 4 (SF10)
CP1 (Material inorgânico dissolvido)				x
CP2 (Metais e esgoto sanitário)		x	x	
CP3 (Efluente industrial)	x	x	x	
CP4 (Uso do solo)	x			
CP5 (Nitrato)		x		
CP6 (Cobre dissolvido)*			x	x
CP7 (DBO e temperatura)		x		

\*Gráfico de escores não apresentado.

OBS: O "x" identifica o(s) grupo(s) que mais se destacou(aram) para cada CP.

#### 4.4.2.4 Testes de Kruskal-Wallis para comparação entre os agrupamentos obtidos na AC

Em busca dos parâmetros responsáveis pela diferenciação dos agrupamentos, já que pela ACP/AF não foi possível distinguir completamente os conjuntos de sub-bacias, foram realizados testes de Kruskal-Wallis para comparar os quatro grupos obtidos na AC, em relação aos 36 parâmetros, usando as medianas trimestrais padronizadas. Entre as variáveis avaliadas, 27 foram consideradas significativamente diferentes entre os grupos ( $p < 0,05$ ), quais sejam: Alcalinidade Total, Arsênio Total, Cálcio Total, Cloreto Total, Clorofila *a*,

Cobre Dissolvido, Coliformes Termotolerantes, Condutividade, DBO, DQO, Dureza Total, Ferro Dissolvido, Fósforo Total, Magnésio Total, Manganês Total, Níquel Total, Nitrato, Nitrogênio Amoniacal Total, Oxigênio Dissolvido, pH, Potássio Dissolvido, Sódio Dissolvido, SDT, ST, Sulfato, Temperatura da água e Zinco Total. Ressalta-se que todos os 14 parâmetros que foram considerados significativos no Componente 1 (CP1) da ACP, apresentado na Tabela 4.5, foram também significativos nesta análise. São eles  $Alc_T$ ,  $Ca_T$ ,  $Cl_T$ ,  $Cl-a$ , CE,  $Dur_T$ ,  $Mg_T$ , OD, pH,  $K_{diss}$ ,  $Na_{diss}$ , SDT,  $SO_4^{-2}_T$ ,  $Zn_T$ , comprovando a importância destes parâmetros para diferenciar a qualidade das águas nos grupos formados na AC, sendo responsáveis por explicar 30% da variância dos dados.

Seguindo o Kruskal-Wallis, foram realizados os testes de comparações múltiplas entre os quatro grupos para essas 27 variáveis, buscando entre quais grupos estava a diferença.

Entre os 27 parâmetros, a SF10 (Grupo 4) se destaca em todos os 14 citados acima, possuindo valores mais elevados (ou menores, para o caso de Oxigênio Dissolvido) em relação aos outros três grupos. Isso justifica o destaque que o Grupo 4 tem para o CP1 (Figuras 4.9, 4.10 e 4.11). Mais uma vez, observa-se que SF10 possui características diferentes, principalmente associadas aos parâmetros relacionados com características intrínsecas da sub-bacia, como sais e íons dissolvidos, e que podem ser justificados por tipo de solo, geologia, intemperismos e cargas difusa, apesar de também poder haver a influência de impactos antrópicos. Ouyang (2005) considera Alcalinidade, Salinidade, Cálcio e Magnésio como parâmetros relacionados a minerais, sendo interpretados como representantes da influência de fontes naturais.

Para justificar esse comportamento observado para o Grupo 4, recorreu-se à caracterização geológica e do solo da UPGRH SF10. A sub-bacia do rio Verde Grande está inserida nos domínios do Cráton do São Francisco (MACHADO, 2010). Ocupando a maior parte da bacia, ocorrem as rochas pertencentes ao Supergrupo São Francisco de idade neoproterozóica (1 bilhão a 630 milhões de anos) representado pela Formação Jequitaí e Grupo Macaúbas, de ocorrências restritas, e Grupo Bambuí, de ampla extensão. Esse último se caracteriza por uma sequência de rochas carbonática (calcárias) intercaladas a sedimentos. Nas zonas de ocorrência de expressiva participação de rochas calcárias, como nas porções sudoeste da bacia, próximo a Montes Claros, e noroeste, na confluência do rio Verde Grande com o rio São Francisco, ocorre o desenvolvimento de feições cársticas como dolinas, sumidouros e cavernas. De ocorrência restrita, na parte sudoeste da bacia, ocorrem os sedimentos arenosos do Grupo Urucuaia com idade de 145 a 65 milhões de anos. Por fim, recobrimo grande parte da porção central da bacia, na área de ocorrência principalmente das rochas do Supergrupo

São Francisco, ocorrem os depósitos cenozóicos (menos de 65 milhões de anos) representados pelas coberturas detrítico-lateríticas (areias argilosas e argilas arenosas intercaladas com argilas, folhelhos e linhito) e os aluviões (areia, cascalho e silte), que acompanham principalmente os rios Verde Grande e Gorutuba (ANA, 2011b).

Os principais recursos minerais encontrados na bacia do rio Verde Grande são o calcário, o manganês, o ouro e as substâncias com emprego direto na construção civil (areia, argila e cascalho). O calcário explorado está associado às rochas do Grupo Bambuí, sendo utilizado na indústria cimenteira, construção civil e correção de solos (ANA, 2011b).

O mapa de uso e ocupação do solo elaborado a partir de imagens de satélite, revela que a área considerada antropizada corresponde a 53% assim distribuídos: 50,1% para uso agropecuário, o qual inclui áreas de cultivos não irrigados e pastagens; 1,2% de agricultura irrigada; 1,1% de silvicultura; 0,4% de áreas urbanas e 0,015% de áreas queimadas. Com relação à susceptibilidade à erosão, 13% da superfície da bacia está propensa aos processos erosivos (ANA, 2011b). De acordo com ANA (2012), a bacia do rio São Francisco apresenta várias áreas susceptíveis à erosão devido ao uso da terra para agropecuária, como ao longo do vale do rio Verde Grande (SF10), onde o desmatamento é intenso, refletindo na qualidade das águas superficiais. Esse padrão de uso e ocupação do solo explica, então, a poluição por carga difusa.

Uma análise da qualidade das águas subterrâneas da sub-bacia SF10 mostraram que na porção leste, região de ocorrência predominantemente dos aquíferos do domínio fissural, são observadas elevadas concentrações de sólidos dissolvidos totais e cloreto. Os problemas de dureza das águas estão frequentemente associados às áreas de ocorrências dos aquíferos do domínio cárstico-fissurado e especialmente nas zonas mais cársticas. Muitas das águas nessas regiões chegam a ser classificadas como muito duras e apresentam salinidade elevada (sólidos totais dissolvidos elevados) em função da dissolução das rochas calcárias (ANA, 2011b).

Ecoplan (2009) apresenta uma análise da qualidade da água na sub-bacia do rio Verde Grande e mostra que os resultados de condutividade elétrica e SDT apontaram águas com teores significativos de íons dissolvidos. A água, no geral, foi classificada como dura, a alcalinidade total apresentou resultados superiores a 150 mg/L CaCO<sub>3</sub> e os cátions mais representativos foram cálcio e sódio.

Sendo assim, pode-se considerar que, no caso do Grupo 4 (UPGRH SF10), os parâmetros para os quais ele se destaca estão mais associadas à geologia da sub-bacia.

Já a UPGRH SF5 (Grupo 2) se destaca em comparação aos demais grupos nos parâmetros Arsênio Total, Coliformes Termotolerantes, Manganês Total e Nitrogênio Amoniacal Total, podendo os três últimos estarem associados a poluição por efluentes. Esses quatro parâmetros carregam os Componentes 2 e 3, justificando o destaque que o Grupo 2 tem para os mesmos nos gráficos de escores (Figuras 4.9, 4.10, 4.12 e 4.13). Em relação ao Arsênio, os valores mais elevados podem ser explicados pela liberação natural desse elemento presente nas rochas, reflexo da ampla distribuição de Arsênio no Quadrilátero Ferrífero (BORBA *et al.*, 2000), associada às atividades minerárias que ocorrem na região.

O Grupo 1 (SF1, SF2, SF3, SF4) se destaca em relação ao Ferro Dissolvido, também demonstrado pelo destaque para o CP4 (Figura 4.11, 4.13 e 4.14), refletindo as interferências do uso do solo por atividades minerárias e agropecuárias e presença de indústria siderúrgicas e metalúrgicas nas Unidades SF2 e SF3 (Tabela 4.6), podendo também estar relacionado às condições geológicas na região, que compreende o Quadrilátero Ferrífero (CPRM, 2009; IGAM, 2010c; IGAM, 2010d).

O Grupo 3 (SF6, SF7, SF8, SF9) não apresenta diferenças acentuadas ao ser comparado com os outros três grupos, apresentando valores médios iguais ou menores que das demais bacias para a maioria dos 27 parâmetros, apesar de na ACP apresentar escores altos para CP2 e CP3.

Os demais parâmetros apresentam diferenças entre os quatro grupos, mas nenhum dos agrupamentos se destaca em relação aos outros três.

Tendo em vista os resultados alcançados até o momento, foi possível obter quatro grupos de UPGRHs da bacia do rio São Francisco através da Análise de Cluster, determinar os Componentes Principais que caracterizam a qualidade das águas na bacia do rio São Francisco, inferir sobre algumas características e possíveis fontes de poluição em cada um dos agrupamentos encontrados e identificar alguns parâmetros que são mais significativos para a distinção dos grupos.

A utilização de análises multivariadas permitiu identificar que a SF5 e a SF10 são as sub-bacias com características que mais se destacam entre as dez UPGRHs do rio São Francisco. No entanto, apesar do evidente isolamento das unidades SF5 e SF10 na AC, em função da



qualidade de suas águas superficiais, buscou-se utilizar outras abordagens para a análise dos dados para comparar detalhadamente todas as sub-bacias da bacia do rio São Francisco. Para isto, procurou-se utilizar todos os dados disponíveis, e não mais as medianas trimestrais dos parâmetros, para verificar se as análises estatísticas levariam a resultados similares e confirmariam o comportamento diferenciado dessas duas Unidades e, ainda, se auxiliariam na definição mais categórica de qual das UPGRHs é a mais impactada por ações antrópicas.

#### **4.5 3ª etapa: Análise inferencial dos dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais das sub-bacias do rio São Francisco**

##### **4.5.1 Metodologia**

O estudo comparativo das sub-bacias nessa etapa visou tanto confirmar os resultados das análises exploratórias até então efetuadas, quanto avaliar comparativamente outros aspectos ambientais, tais como o percentual de violação dos limites preconizados pela Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/08 e os valores de IQA observados nas sub-bacias. Para isto foi utilizado o banco de dados contendo 150 estações da Rede Básica, 2383 coletas trimestrais entre 2008 e 2011, 36 parâmetros e 69.444 observações distribuídas entre as dez UPGRHs, dados brutos, além de 2353 resultados de IQA calculados para as coletas trimestrais dessas 150 estações entre 2008-2011.

Primeiramente foram utilizadas análises univariadas (estatística descritiva) e em seguida testes não paramétricos de Kruskal-Wallis para identificação de diferenças significativas entre os valores monitorados dos 36 parâmetros.

##### 4.5.1.1 Cálculo da estatística descritiva

O cálculo da estatística descritiva dos parâmetros foi efetuado com todos os dados de cada uma das UPGRHs separadamente. Foram calculados a média, o desvio padrão, a média geométrica, os percentis (10, 25, 50, 75 e 90) e os coeficientes de assimetria e curtose. O número de coletas, de observações, o percentual de dados válidos e censurados foram determinados na primeira etapa.

##### 4.5.1.2 Testes de Kruskal-Wallis para comparação entre as sub-bacias

O teste de Kruskal-Wallis foi empregado para avaliar o comportamento dos 36 parâmetros em cada uma das dez sub-bacias, utilizando os dados brutos. Quando os dados foram considerados significativamente diferentes nos testes de Kruskal-Wallis, ao nível de

significância ( $\alpha$ ) de 5%, foram empregados os testes de comparações múltiplas. Foram utilizados, para apoio das ferramentas estatísticas, os gráficos box-plot, que permitem uma melhor visualização das diferenças entre cada sub-bacia, considerando todos os parâmetros selecionados.

#### 4.5.1.3 Análise do percentual de violação dos limites preconizados pela Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/08

As 36 variáveis analisadas foram, então, avaliadas em relação ao percentual de violação dos limites legais, levando em consideração a Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/08 e a classe de enquadramento de cada rio onde está localizada a estação de monitoramento. Objetivou-se, dessa forma, identificar as principais variáveis responsáveis pela degradação ambiental, em cada UPGRH.

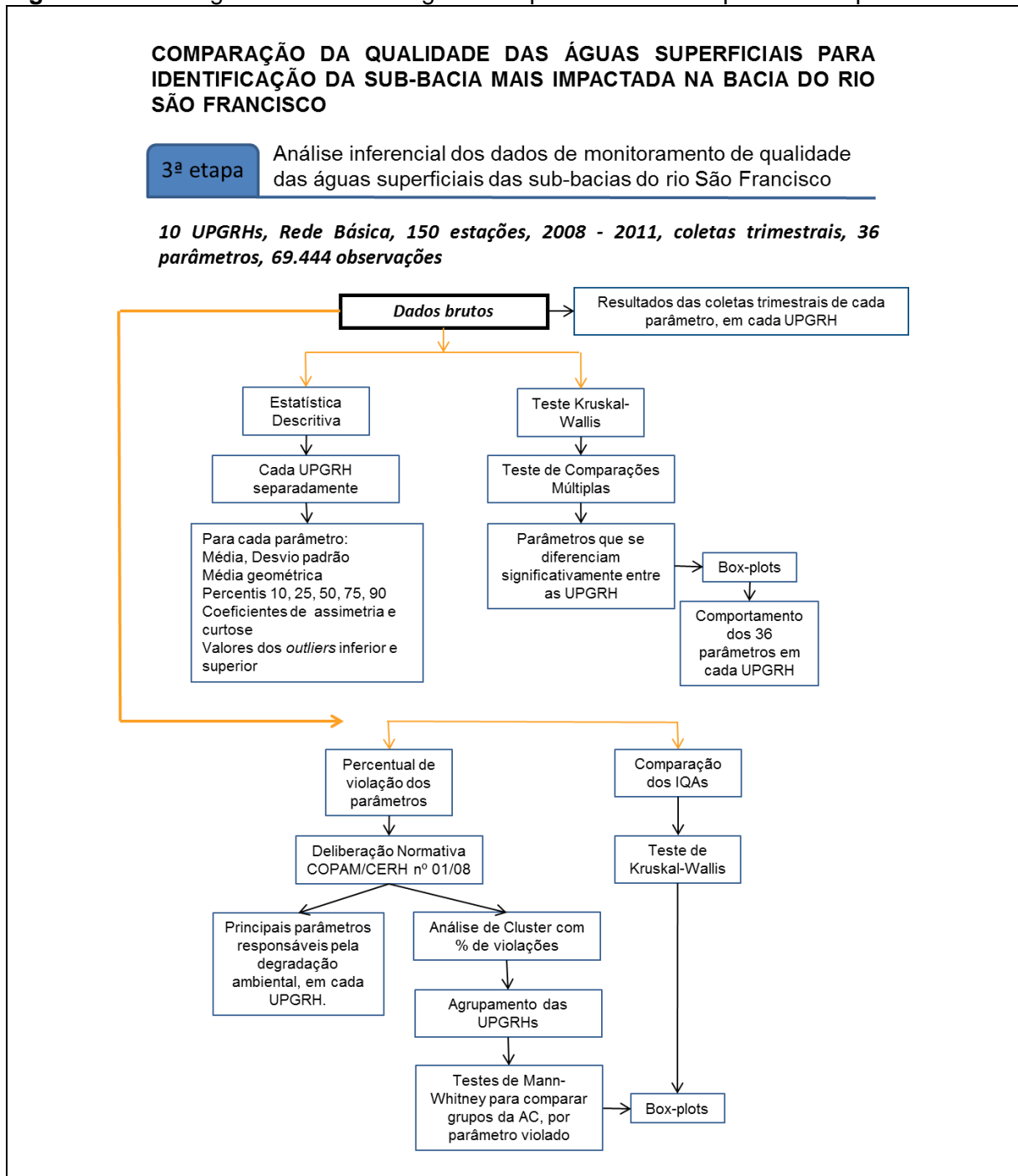
Foram elaborados gráficos de percentual de violação e, em seguida, foi realizada uma Análise de Cluster com os percentuais de violação de cada parâmetro em cada UPGRH, com o objetivo de agrupar as sub-bacias em função da similaridade em relação à frequência de ocorrências dos parâmetros fora dos limites da legislação. Em seguida, os agrupamentos foram comparados entre si, com a aplicação do teste de Mann-Whitney, ao nível de significância,  $\alpha$ , de 5%. As possíveis fontes de poluição responsáveis pela maior degradação em cada Unidade foram também investigadas.

#### 4.5.1.4 Avaliação comparativa dos valores de IQA observados nas sub-bacias

Os valores de IQA de cada sub-bacia, calculados entre 2008 e 2011, foram avaliados comparativamente, visando confirmar os resultados obtidos nas análises anteriores. Os valores de IQA foram apresentados na forma de gráfico box-whisker e teste de Kruskal-Wallis, seguido de teste de comparações múltiplas ( $\alpha = 5\%$ ), foi aplicado para determinação de diferenças significativas entre os índices observados em cada sub-bacia.

A síntese da metodologia empregada nesta terceira etapa é apresentada no fluxograma da Figura 4.17.

**Figura 4.17.** Fluxograma da metodologia correspondente à 3ª etapa desse capítulo.



## 4.5.2 Resultados e Discussão

### 4.5.2.1 Cálculo da estatística descritiva

No Apêndice I (Tabelas I.22 a I.31) são apresentadas as estatísticas descritivas dos dados, por UPGRH. Para cada sub-bacia foram calculados a média, desvio padrão, média geométrica, percentis 10, 25, 50, 75 e 90, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose, para cada parâmetro.

Comparando as médias e medianas de cada uma das UPGRHs é possível observar que, mais uma vez, as sub-bacias SF5 e SF10 (rio das Velhas e rio Verde Grande, respectivamente) apresentam valores para alguns parâmetros que são superiores às demais UPGRHs, destacados em negrito na Tabela I.32 (Apêndice I). A Unidade SF5 apresenta medianas mais elevadas principalmente para parâmetros relacionados à poluição orgânica por esgoto, como Coliformes, Fósforo Total e série nitrogenada, e a SF10 apresenta altos valores para sais dissolvidos, Alcalinidade, Condutividade e Dureza. Este comportamento observado nas duas sub-bacias corrobora os resultados encontrados nas análises exploratórias realizadas anteriormente, mas é necessário continuar com as análises para determinar se as diferenças observadas entre as medianas são significativas.

### 4.5.2.2 Testes de Kruskal-Wallis para comparação entre as sub-bacias

Para comparar as dez UPGRHs da bacia do rio São Francisco, foram realizados testes de Kruskal-Wallis, considerando os dados de cada Unidade isoladamente e utilizando os resultados de todas as coletas entre 2008 e 2011 de cada parâmetro, dados brutos, independentemente do número de campanhas realizadas em cada estação, já que igualdade do número de dados analisados não é um pré-requisito desse teste. O teste foi empregado para os 36 parâmetros definidos anteriormente, a fim de buscar confirmações de resultados encontrados sobre os parâmetros mais importantes para a qualidade da água. Seguido do teste Kruskal-Wallis, para os parâmetros indicados como diferentes significativamente entre as dez sub-bacias, foram realizados testes de comparações múltiplas ( $\alpha = 5\%$ ) e plotados os box-plots.

Dos 36 parâmetros, apenas Cianeto Livre não apresentou diferenças significativas entre as UPGRHs ( $p=0,0815$ ), e Alumínio Dissolvido e Cobre Dissolvido não mostraram a diferença entre as sub-bacias a um nível de significância  $\alpha$  de 0,05 no teste de comparações múltiplas. Todos os demais são úteis para distinguir entre as sub-bacias, resultado diferente do encontrado ao comparar, também por Kruskal-Wallis, os quatro agrupamentos na segunda

etapa (item 4.4.2.4). Isso mostra que as sub-bacias apresentam características particulares e que, quando são analisadas em conjunto, algumas dessas propriedades são atenuadas. Além disso, o teste de Kruskal-Wallis para comparar os agrupamentos foi realizado com os valores medianos trimestrais padronizados de cada parâmetro, enquanto essa última análise foi realizada com todos os dados. Os resultados mostram que as medianas podem ter mascarado algumas características da qualidade das águas das sub-bacias, mas reforça-se que o uso das medianas foi necessário nas análises exploratórias para o emprego das técnicas multivariadas exploratórias.

Mesmo com as ressalvas acima, foi possível fazer associações e complementações dos resultados encontrados anteriormente na segunda etapa com a comparação dos dados brutos de cada UPGRH, ou seja, os resultados finais são os mesmos.

A Unidade SF10 realmente se destaca em alguns parâmetros em relação às demais: Alcalinidade Total, Cálcio Total, Cloreto Total, Clorofila *a*, Condutividade, Dureza Total, Magnésio Total, Oxigênio Dissolvido, Potássio Dissolvido, Sódio Dissolvido, SDT e Sulfato. Todas essas 12 variáveis estão entre as 14 em que essa Unidade também se destacou quando analisada como o Grupo 4 em relação aos outros três grupos, não se destacando agora em relação ao pH e ao Zinco. Além desses parâmetros, em relação à Turbidez, pelo teste de comparações múltiplas, apenas a SF10 é diferente das demais sub-bacias, possuindo valores menores que as outras Unidades. Nota-se, uma vez mais, que essa sub-bacia se diferencia pelas características intrínsecas, apresentando grandes distinções em relação às demais quanto a parâmetros como sais, íons e sólidos, relacionados com formação geológica, tipo de solo e intemperismo, assim como já mencionado anteriormente. Apesar das características geológicas, com rochas calcárias, sedimentos arenosos e feições cársticas explicarem em grande parte o destaque da Unidade SF10 para os 12 parâmetros citados acima, há que se considerar também a influência de ações antrópicas, como os lançamentos de efluentes domésticos e industriais, principalmente na área de influência do município Montes Claros (IGAM, 2010a).

A sub-bacia SF5 apresenta valores significativamente maiores que as demais UPGRHs para os parâmetros Arsênio Total, DBO, Fósforo Total, Manganês Total, Nitrato e Nitrogênio Amoniacal Total, o primeiro relacionado com a presença do metal nos solos da sub-bacia e com as atividades minerárias e os demais relacionados com poluição orgânica e efluentes industriais (Tabela 4.6). As fontes de arsênio na sub-bacia do rio das Velhas concentram-se em seu alto curso, que é uma região cuja importância econômica advém das explorações de

minério de ferro, ouro e gemas (IGAM, 2010b). Segundo Pompeu *et al.* (2005), as fontes mais importantes de poluição nessa Unidade estão localizadas no alto curso do rio, onde são lançados os rejeitos de mineração e a maior parte dos efluentes domésticos e industriais da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Em relação aos Coliformes Termotolerantes, um parâmetro fortemente indicativo de contaminação por esgoto sanitário, as UPGRHs SF2, SF3, SF5 e SF6 se destacam significativamente das demais, com SF6 apresentando valores menores que as outras três. Analisando a Tabela 4.6, as Unidades SF2, SF3 e SF5 são realmente as sub-bacias com os maiores números de estações com lançamento de esgoto doméstico como fonte de pressão. As Unidades SF2, SF3 e SF4 apresentam, ainda, altos valores de Ferro Dissolvido, como já citado anteriormente ao analisar o Grupo 1 e justificado pelo uso do solo, seja por atividades agropecuárias ou silvicultura (muito presentes nessas sub-bacias) seja por atividades minerárias (Tabela 4.6), e pela localização na região do Quadrilátero Ferrífero.

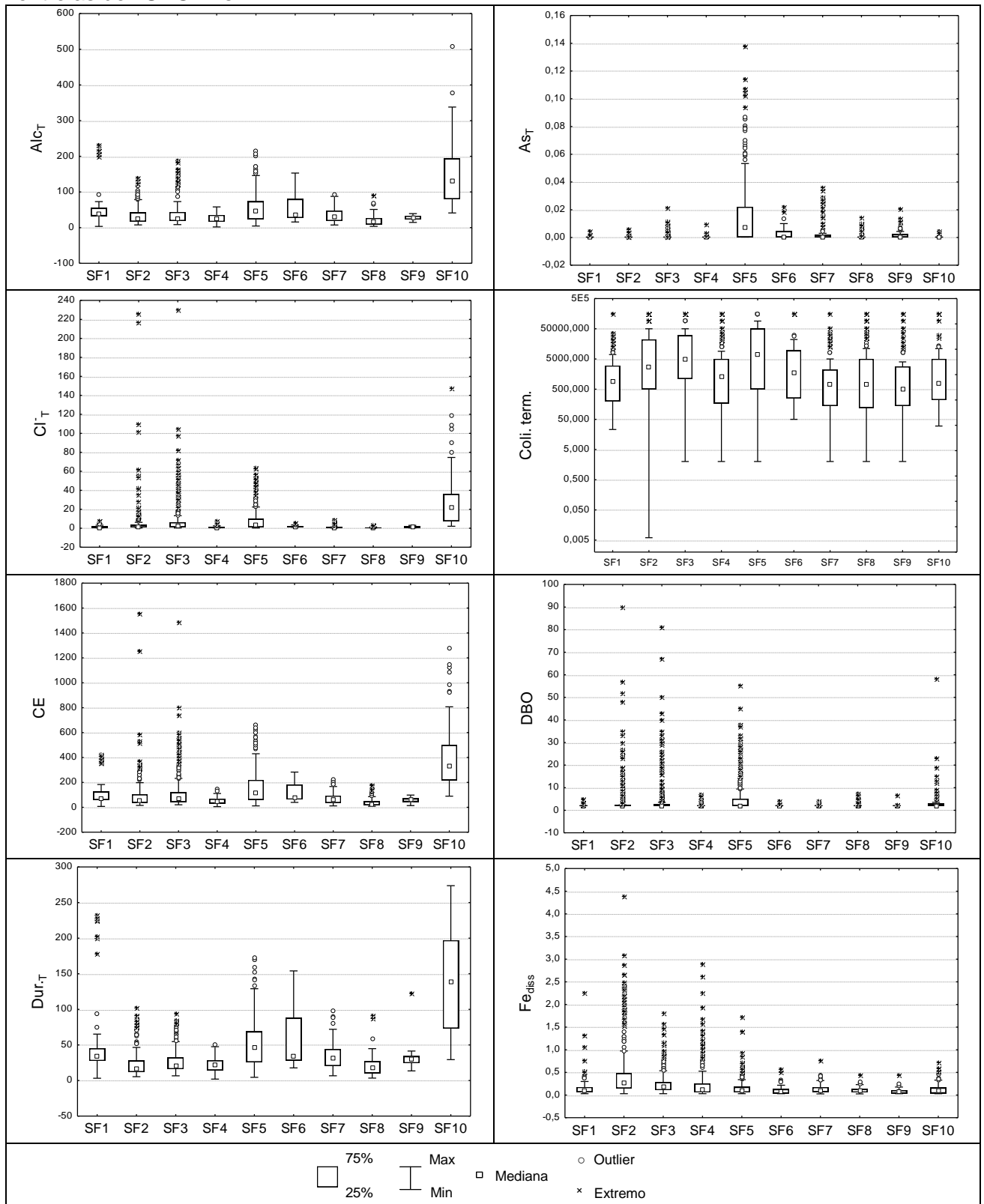
É possível observar, também, pelos box-plots e pelos testes de comparações múltiplas, que a Unidade SF6 possui características intermediárias entre SF5 e SF10, se assemelhando mais à SF5 para determinados parâmetros (Arsênio Total, Coliformes Termotolerantes, Magnésio e Turbidez) e mais à SF10 para outros (Ferro Dissolvido, Manganês Total, Nitrogênio Amoniacal e pH) ou apresentando valores com a mesma tendência apresentada pelas duas UPGRHs, com os maiores valores entre as dez UPGRHs (Alcalinidade Total, Cálcio Total, Condutividade, Dureza Total, SDT e ST). Além de qualidade da água intermediária, a sub-bacia SF6 encontra-se localizada geograficamente entre SF5 e SF10, o que justifica o comportamento observado. Talvez, por isso, ela seja a terceira UPGRH mais distante em relação às demais (depois de SF10 e SF5) no dendograma da AC das medianas (Figura 4.6), ficando entre SF10, SF5 e as demais sub-bacias do Grupo 3. Porém, deve-se ter cautela com as análises relacionadas à SF6 uma vez que essa sub-bacia apresenta o menor número de estações da Rede Básica, apenas quatro, sendo difícil que apenas esses pontos reflitam a qualidade da água de toda a sub-bacia. Isso pode explicar o fato do Grupo 3 (SF6, SF7, SF8, SF9), obtido na AC, ter sido considerado pouco impactado, com nenhum parâmetro se destacando sobre os demais grupos pela análise de comparações múltiplas, apesar de SF6 fazer parte desse grupo, mas ter se destacado em relação aos CPs 2 (Metais e esgoto sanitário) e 3 (Efluente industrial) nos gráficos de escores: SF6 pode ter tido suas características atenuadas no teste de Kruskal-Wallis ao ser tratado em conjunto com as demais Unidades do Grupo 3, já que nesse teste analisa-se as medianas, mas seus dados tiveram influência na ACP.

Mesmo assim, ainda foi possível observar que, para alguns parâmetros, as UPGRHs que compõem o Grupo 3 da AC das medianas trimestrais (SF6, SF7, SF8 e SF9) realmente apresentam a mesma tendência ou comportamento, justificando o agrupamento comum. Esses parâmetros são Cloreto Total, Cor, Fenóis Totais, Fósforo Total, Níquel Total, Nitrato, Nitrogênio Amoniacoal Total, Potássio Dissolvido, Sódio Dissolvido, Substâncias Tensoativas e Sulfato, com valores menores que das demais Unidades, e Oxigênio Dissolvido SST e Turbidez, apresentando valores normalmente maiores.

As Unidades SF1 e SF4 (que pertencem ao Grupo 1 da AC de medianas) apresentam alguns parâmetros, entre esses citados acima ( $Cl^-$ ,  $P_T$ ,  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+_T$ ,  $K_{diss}$ ,  $Na_{diss}$  e MBAS), que se assemelham ao comportamento das sub-bacias do Grupo 3. Porém, no dendograma da Figura 4.6, SF1, SF2, SF3 e SF4 são agrupadas, formando o Grupo 1, possivelmente pelo comportamento semelhante em relação aos parâmetros Alcalinidade Total, Cálcio Total, DQO, Dureza, Ferro dissolvido, OD, pH e SST. Esse comportamento das sub-bacias SF1 e SF4, mais semelhante a SF2 e SF3 para alguns parâmetros e para outros mais semelhante a SF6, SF7, SF8 e SF9, pode indicar que o Grupo 1 (SF1, SF2, SF3, SF4) é um grupo mais heterogêneo, agrupado provavelmente em função da influência das atividades agropecuárias e minerárias, justificando os altos escores para o Componente CP4 (Uso do Solo). Segundo ANA (2012), no Alto São Francisco a atividade minerária é intensa e essa exploração apresenta elevada carga inorgânica poluidora proveniente da extração e beneficiamento de minérios.

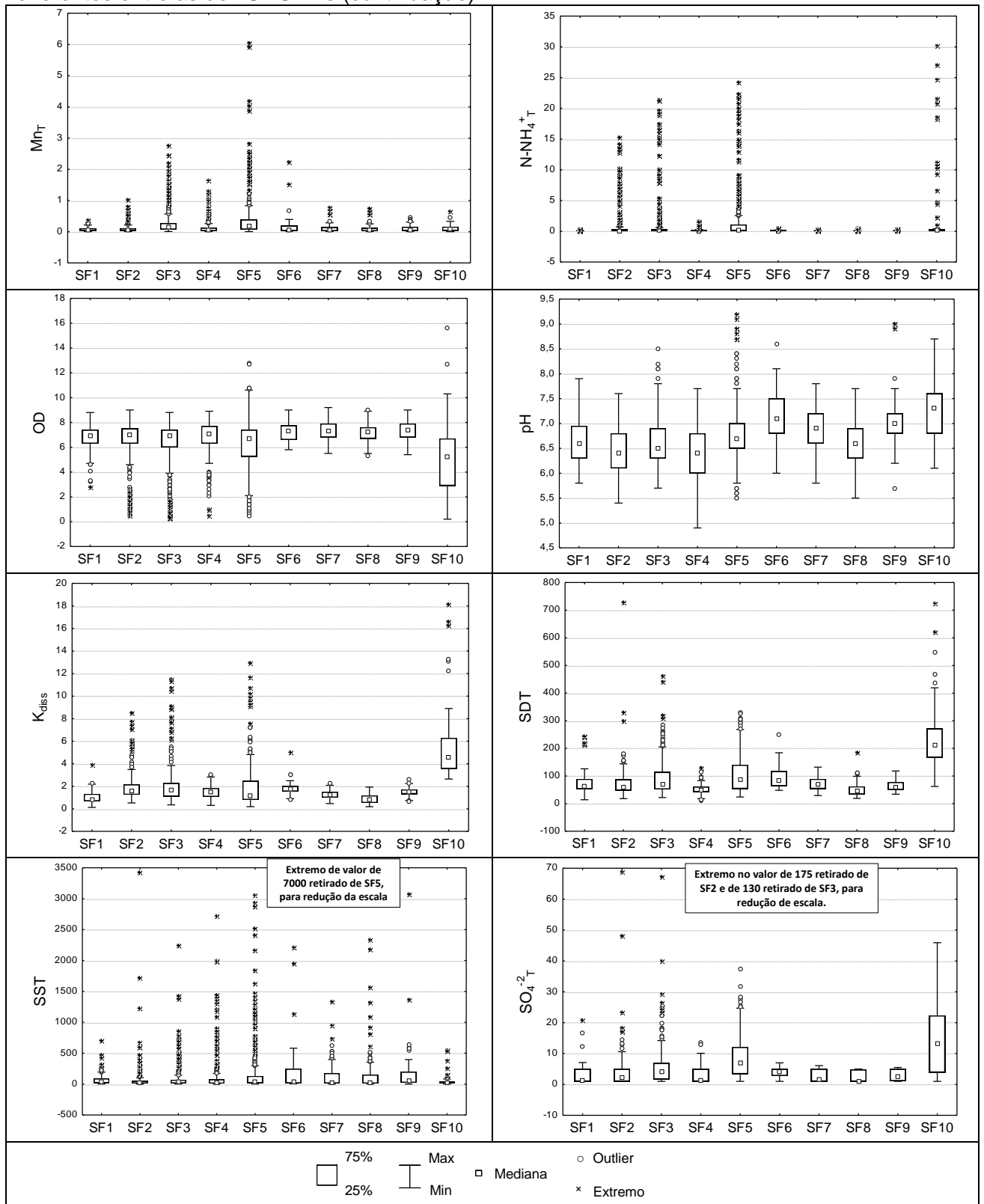
O comportamento de alguns dos parâmetros analisados são apresentados na Figura 4.18.

**Figura 4.18.** Box-plot de alguns parâmetros indicados como significativamente diferentes entre as dez UGRHs.





**Figura 4.18.** Box-plot de alguns dos parâmetros indicados como significativamente diferentes entre as dez UPGRHs (continuação).



#### 4.5.2.3 Análise do percentual de violação dos limites preconizados pela Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/08

O cálculo da porcentagem de violação dos parâmetros em relação à Deliberação Normativa (DN) COPAM/CERH 01/08 foi realizado também por UPGRH. Foi verificado o percentual de violação a 26 parâmetros, que são aqueles que possuem limites estabelecidos na legislação e que estão entre os 36 parâmetros selecionados monitorados pelo IGAM: Alumínio Dissolvido, Arsênio Total, Bário Total, Chumbo Total, Cianeto livre, Cloreto Total, Clorofila *a*, Coliformes Termotolerantes, Cobre Dissolvido, Cor Verdadeira, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Fenóis Totais, Ferro Dissolvido, Fósforo Total, Manganês Total, Nitrato, Nitrogênio Amoniacal Total, Níquel Total, Oxigênio Dissolvido, pH *in loco*, Sólidos Dissolvidos Totais, Sólidos em Suspensão Totais, Substâncias Tensoativas, Sulfato Total, Turbidez e Zinco Total. Para o cálculo foram utilizados os dados brutos das coletas trimestrais de todas as estações de cada UPGRH, de 2008 a 2011, e as classes de enquadramento dos corpos d'água foram levados em consideração. Os limites legais estabelecidos pela DN COPAM/CERH 01/08 para os parâmetros analisados, por classe de enquadramento, estão apresentados na Tabela I.33 (Apêndice I).

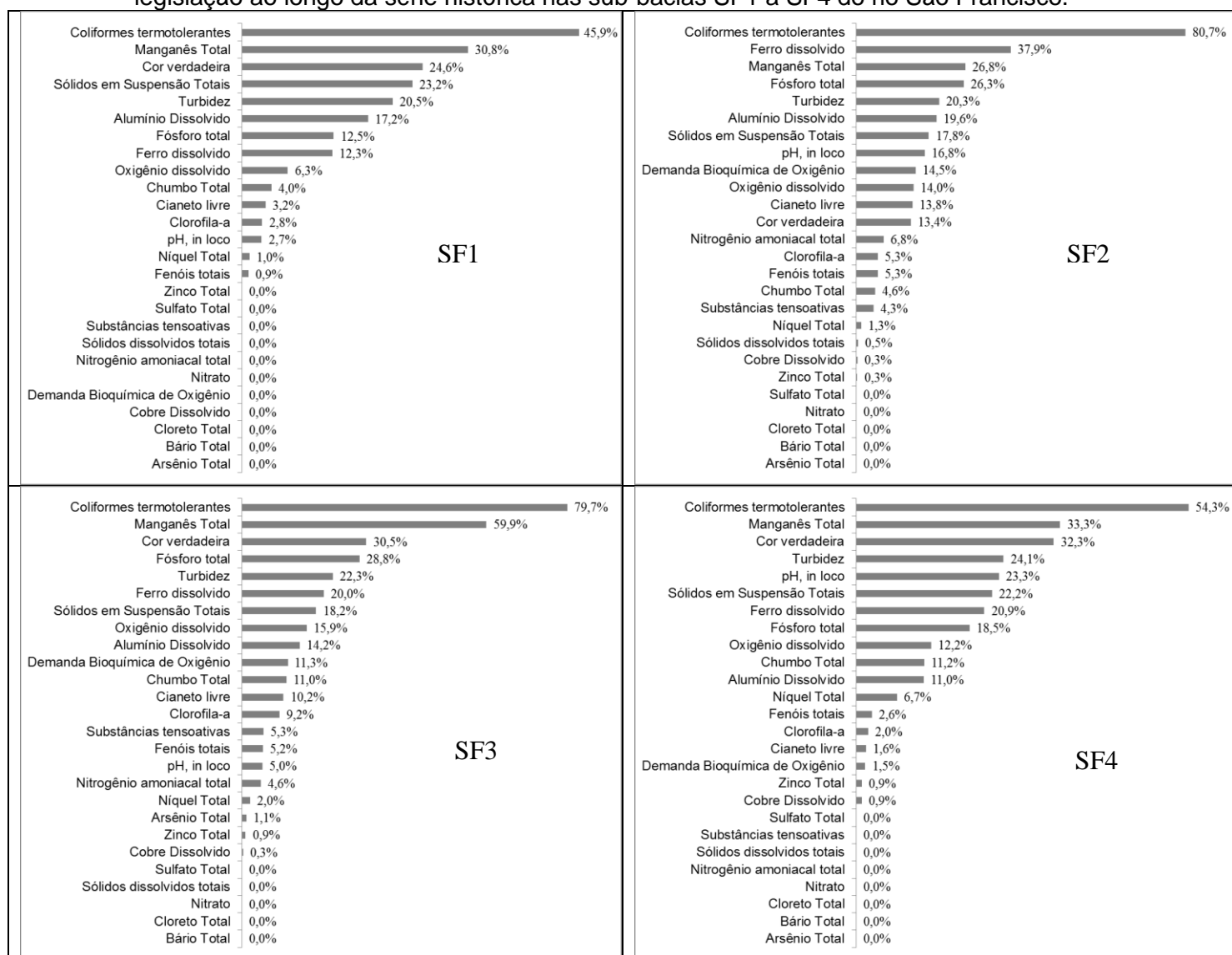
Os parâmetros Coliformes Termotolerantes, Cor Verdadeira, Fósforo Total, Manganês Total, Sólidos em Suspensão Totais e Turbidez apresentaram mais de 10% dos dados violando os limites estabelecidos em legislação, em todas as UPGRHs, podendo ser considerados parâmetros com grande contribuição para a degradação ambiental nessas sub-bacias. Tal constatação está de acordo com o resultado encontrado no Relatório Anual de 2009 (IGAM, 2010a) no qual, avaliando a série histórica de amostragem (1997-2009), foi verificado que os parâmetros que apresentaram os maiores percentuais em desacordo com a legislação na bacia do rio São Francisco e afluentes foram Manganês Total, Coliformes Termotolerantes, Cor verdadeira, Turbidez, SST e Fósforo Total com, respectivamente, 33,3%, 31,6%, 30,4%, 28,1%, 24,1% e 22,3% de ocorrência fora dos limites. Ressalta-se, dessa forma, a influência do aporte de matéria orgânica, em especial das atividades pecuaristas e do lançamento de esgotos domésticos nos corpos de água da bacia do rio São Francisco e afluentes, além da interferência da poluição difusa, principalmente devido ao mau uso (processos erosivos) e manejo inadequado do solo desta bacia.

Todos esses seis parâmetros carregam o CP2 (Metais e esgoto sanitário) da ACP realizada na 2ª etapa e o Fator 2 da AF (com exceção de Coliformes que carrega o Fator 5 devido à rotação fatorial), contribuindo para explicar aproximadamente 18-19% da variância dos dados. Além disso, no teste de Kruskal-Wallis, três parâmetros foram considerados como tendo diferença

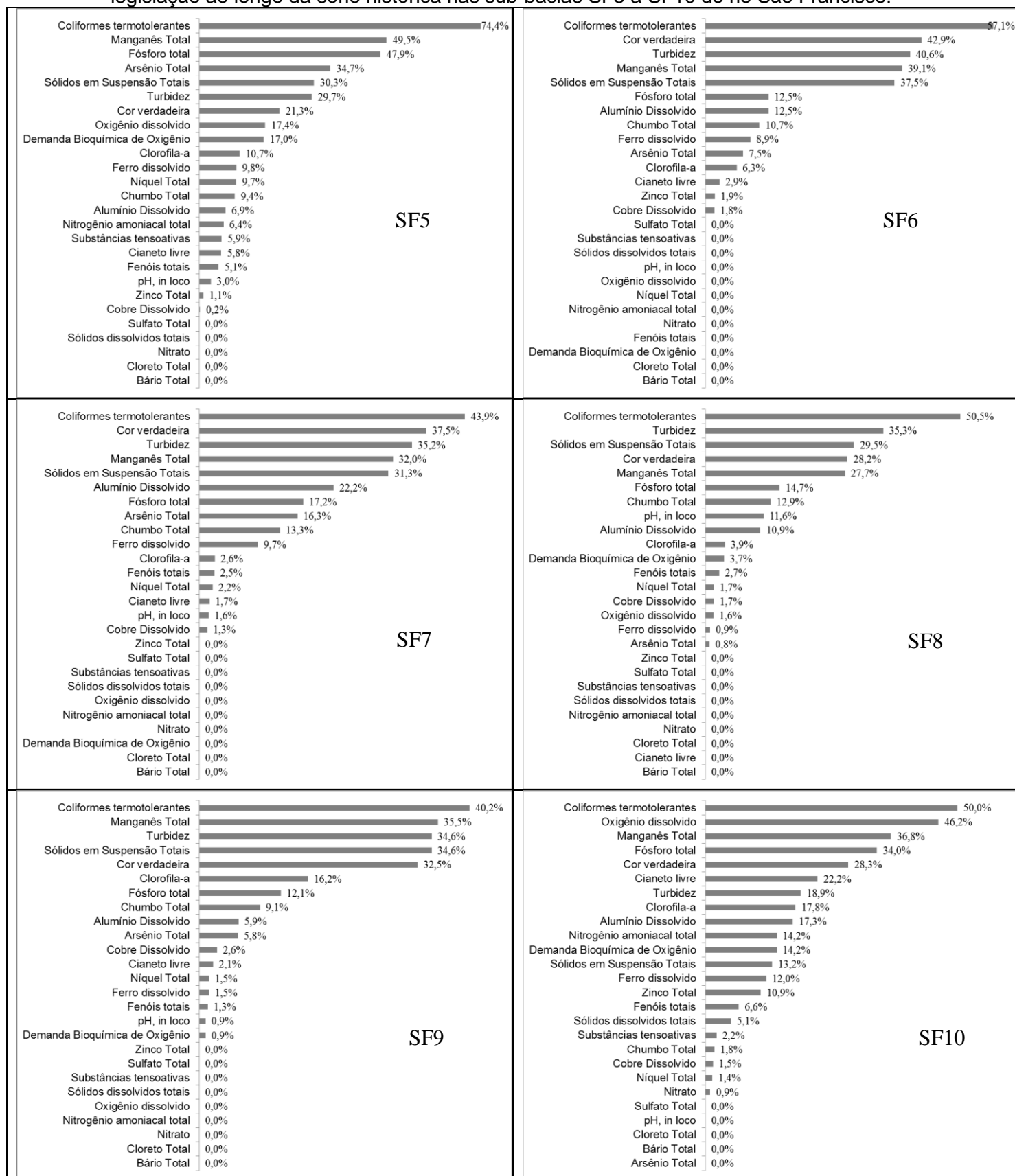
significativa entre os quatro grupos (Coliformes, Fósforo e Manganês), enquanto Cor, SST e Turbidez não foram diferentes para os grupos. Talvez isso mostre que, apesar da grande importância ambiental desses parâmetros, eles apresentam altos valores em todas as Unidades, não havendo grande variância entre seus dados.

As frequências de ocorrência de parâmetros fora dos limites estabelecidos na legislação ao longo da série histórica 2008-2011, em cada uma das sub-bacias do rio São Francisco, considerando as 150 estações da Rede Básica, estão apresentadas nas Figuras 4.19 e 4.20.

**Figura 4.19.** Frequência da ocorrência de parâmetros fora dos limites estabelecidos na legislação ao longo da série histórica nas sub-bacias SF1 a SF4 do rio São Francisco.

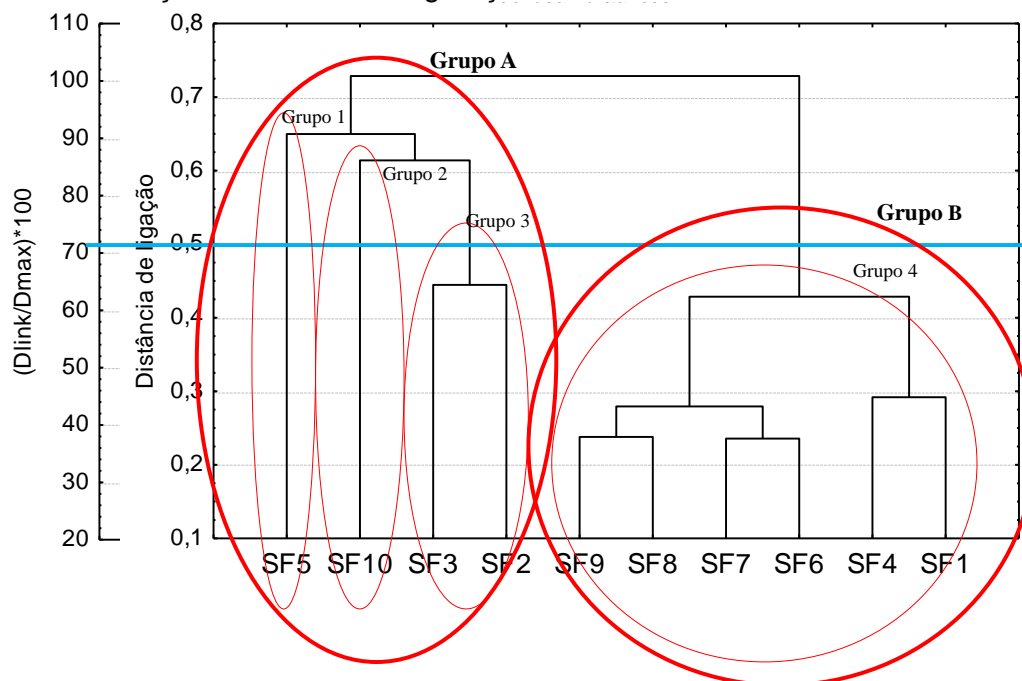


**Figura 4.20.** Frequência da ocorrência de parâmetros fora dos limites estabelecidos na legislação ao longo da série histórica nas sub-bacias SF5 a SF10 do rio São Francisco.



Após a elaboração dos gráficos de percentual de violação, foi realizada uma Análise de Cluster com os percentuais de violação de cada parâmetro em cada UPGRH, com o objetivo de agrupar as sub-bacias em função da similaridade em relação à frequência de ocorrências fora dos limites da legislação. A Figura 4.21 é o dendograma resultante dessa AC. Pelo método exposto por Vicini (2005), já mencionado nos resultados da primeira AC, a linha de corte seria traçada na Distância Euclidiana de 0,525, formando quatro grupos novamente. Porém, pelo número de dados disponível para dar continuidade às análises de comparação entre os grupos formados (apenas um percentual de violação por parâmetro, por UPGRH), optou-se por considerar a formação de dois grandes grupos. Vale a pena ressaltar que Vicini (2005) também deixa claro que a definição do número de grupos formados deve levar sempre em consideração os critérios adotados por cada pesquisador. Dessa forma, observa-se que são formados dois agrupamentos: um (Grupo A) formado pelas UPGRHs SF2, SF3, SF5 e SF10 e outro (Grupo B) pelas Unidades SF1, SF4, SF6, SF7, SF8 e SF9.

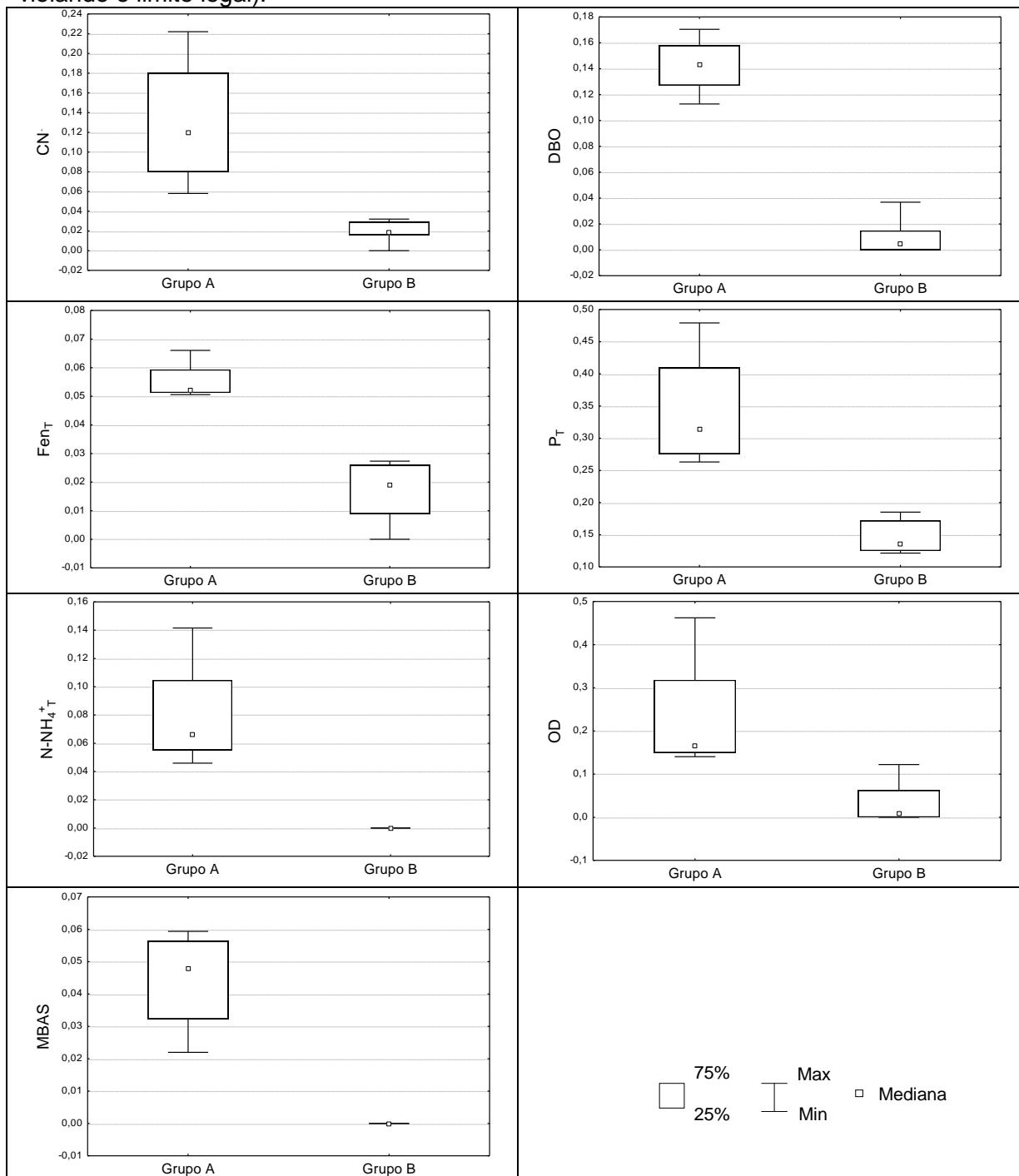
**Figura 4.21.** Dendograma do agrupamento das UPGRHs em função dos percentuais de ocorrência de violação dos limites da legislação.



Para verificar quais parâmetros se diferenciaram mais entre os dois grupos, em relação ao percentual de violação dos limites legais, foi feita uma comparação entre os agrupamentos, utilizando as frequências de violação de cada parâmetro em cada grupo. Os parâmetros que apresentaram diferenças significativas pelo teste de Mann-Whitney ( $p < 0,05$ ) entre os agrupamentos foram Cianeto Livre, DBO, Fenóis Totais, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal Total, Oxigênio Dissolvido e Substâncias Tensoativas. A Figura 4.22 apresenta os

box-plots com a distribuição do percentual de violação destes parâmetros em cada um dos dois grupos. Entre esses parâmetros, apenas Fósforo Total apresenta frequência de violação maior que 10% em todas as sub-bacias. Observa-se que o Grupo A apresenta frequências maiores de violação em todos os sete parâmetros.

**Figura 4.22.** Box-plots para comparação das frequências de violação de cada parâmetro, em cada agrupamento da AC. No eixo y, dados em percentual (ex.: 0,12 = 12% de coletas violando o limite legal).



Grupo A (SF2, SF3, SF5, SF10); Grupo B (SF1, SF4, SF6, SF7, SF8, SF9).

Considerando a Tabela 4.6, que mostra as possíveis fontes de poluição em cada Unidade, é possível inferir que os maiores percentuais de violação para os parâmetros DBO,  $N-NH_4^+$  e OD podem estar relacionados à presença de matéria orgânica nas UPGRHs do Grupo A, podendo indicar maior contaminação por esgoto. As violações elevadas de Cianeto Livre, Fenóis Totais e Substâncias Tensoativas no Grupo A podem ser explicados pelas atividades minerárias (Cetesb, 2012) nas Unidades SF2 (IGAM, 2010c), SF3 (IGAM, 2010d) e SF5 (IGAM, 2010b) (extração e beneficiamento de minerais metálicos e não metálicos) e pelos efluentes industriais (indústrias de alimentos, químicas, têxteis, de corantes, de tintas, de fibras, de processamento mineral, de plásticos, de produtos farmacêuticos e de agroquímicos). A influência dos efluentes industriais nas Unidades SF2, SF3 (Grupo 1) e SF5 (Grupo 3) também foi demonstrada pelos altos escores desses grupos em relação ao CP3 (Efluente industrial) da ACP. O Fósforo Total pode estar associado à carga proveniente da agricultura, principalmente nas Unidades SF2 e SF3, e aos despejos domésticos e industriais.

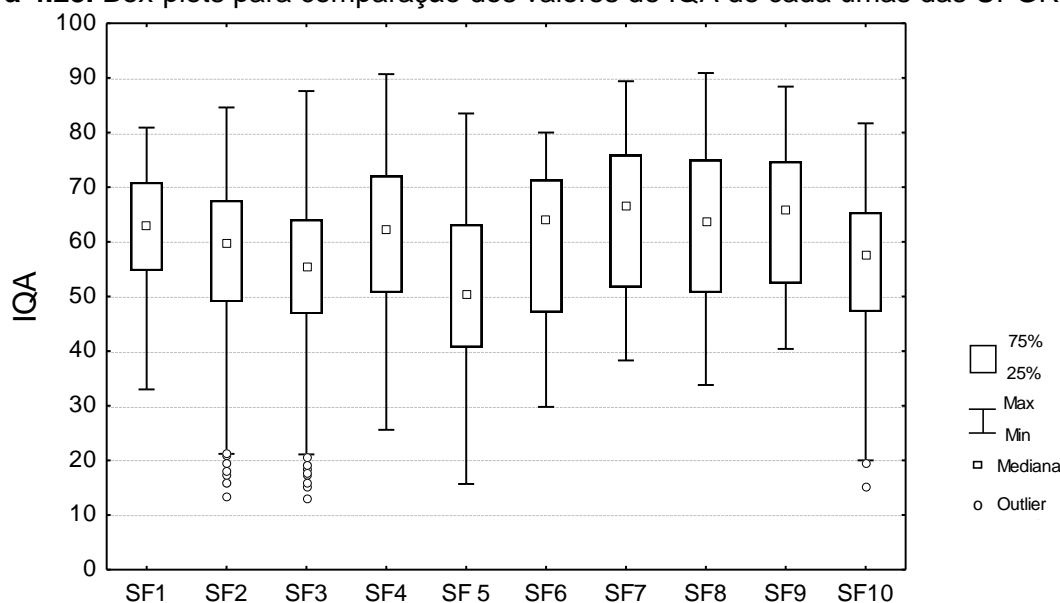
Com essa análise, com base nos parâmetros que violam os limites estabelecidos em legislação e que, portanto, são responsáveis pela degradação da qualidade da água, é possível dizer que as sub-bacias do Grupo A sofrem maiores interferências de ações antrópicas do que as sub-bacias do Grupo B. Essa situação é típica de áreas com adensamento populacional, especialmente em ambientes urbanos, onde os cursos de água apresentam alta degradação da qualidade da água, recebendo não somente uma grande quantidade de efluentes domésticos e industriais, mas também de sedimentos e lixo (POMPEU *et al.*, 2005). Somente a Região Metropolitana de Belo Horizonte, localizada nas cabeceiras das sub-bacias do rio das Velhas e do rio Paraopeba, concentra cerca de 30% de toda a população da bacia hidrográfica do rio São Francisco (ANA, 2012). Além disso, as indústrias estão concentradas no Alto São Francisco, principalmente na bacia do rio das Velhas (SF5), Paraopeba (SF3) e Pará (SF2). No médio São Francisco, na sub-bacia do Verde Grande (SF10), os municípios de Montes Claros e Janaúba (MG) concentram indústrias alimentícias, têxteis e metalúrgicas (ANA, 2012).

#### 4.5.2.4 Avaliação comparativa dos valores de IQA observados nas sub-bacias

O IQA foi desenvolvido visando avaliar o impacto dos esgotos domésticos nas águas, verificando os parâmetros mais característicos desses efluentes, quais sejam: coliformes (matéria fecal), OD e DBO (matéria orgânica), nitrogênio amoniacal e fósforo (nutrientes). A Figura 4.23 apresenta os gráficos box-plot dos valores de IQA de cada sub-bacia calculados entre 2008 e 2011. Observa-se pelos gráficos que as sub-bacias SF2, SF3, SF5 e SF10

possuem valores de IQA menores que os das demais Unidades e essa diferença é estatisticamente significativa, comprovada pelo teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).

**Figura 4.23.** Box-plots para comparação dos valores de IQA de cada umas das UPGRHs.



Esse resultado corrobora a conclusão de que as Unidades do Grupo A (SF2, SF3, SF5 e SF10) sofrem maior interferência de ações antrópicas. Como já mencionado, as maiores concentrações de carga orgânica encontram-se na região do Alto São Francisco, particularmente na Região Metropolitana de Belo Horizonte (sub-bacias do rio das Velhas – SF5 e rio Paraopeba – SF3), que inclui as cidades de Belo Horizonte, Betim, Contagem, Ribeirão das Neves, Santa Luiza e Sete Lagoas. Essas cidades, mesmo sendo contempladas com algum tipo de tratamento, ainda contribuem com cerca de 30% da carga de esgoto urbano na bacia do São Francisco. Outro centro urbano que apresenta alta carga de esgoto por dia é Montes Claros – SF10. Esses municípios foram os que apresentaram pontos com os menores valores de IQA no diagnóstico da bacia do rio São Francisco (ANA, 2012), assim como observado nesse trabalho pelos baixos valores nas UPGRHs correspondentes. É importante ressaltar que, apesar de a UPGRH SF10 ter um destaque para materiais inorgânicos dissolvidos (CP1), como constatado na ACP, o município de Montes Claros impacta negativamente a qualidade da água em um ponto de monitoramento dessa Unidade (VG003), o que justifica a influência de efluentes domésticos observada para SF10 (IGAM, 2010a).

Pelos resultados obtidos, foi possível confirmar que as sub-bacias SF5 e SF10 realmente possuem características que as lançam como as mais diferenciadas, com parâmetros que se destacam nessas Unidades em relação às demais, corroborando o isolamento das duas no dendograma da Figura 4.6, mesmo que por razões distintas.



## 4.6 Conclusão

A partir das inúmeras análises estatísticas efetuadas, todas com resultados semelhantes e complementares, foi possível confirmar a maior degradação da sub-bacia SF5 (sub-bacia do rio das Velhas), tendo como critério de decisão os impactos antrópicos. A SF10 (sub-bacia do rio Verde Grande) é diferente principalmente pelas suas condições geológicas, apesar de também ter impacto de fontes antrópicas. As Unidades SF2 (sub-bacia do rio Pará) e SF3 (sub-bacia do rio Paraopeba), das quais a SF5 se aproxima mais na AC das medianas, se destacam pela contaminação orgânica e pelas atividades minerárias e agropecuárias. A SF7 (sub-bacia do rio Paracatu), SF8 (sub-bacia do rio Urucuia) e SF9 (sub-bacia do rios Pandeiros e Calindó) são as Unidades menos impactadas, em todos os aspectos, juntamente com as UPGRHs SF1 (Alto curso da bacia do rio São Francisco) e SF4 (entorno da represa de Três Marias), e a SF6 (sub-bacia do rios Jequitai e Pacuí) é uma UPGRH com qualidade de água influenciada pelas sub-bacias vizinhas.

Ainda que a degradação da sub-bacia do rio das Velhas seja largamente alardeada pelos órgãos de fiscalização e pelos pesquisadores da área ambiental, já que apresenta o maior contingente populacional e a mais expressiva atividade econômica, a realização de estudos que utilizam metodologias criteriosas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas é importante para confirmar tal situação. Assim, a conclusão de que a sub-bacia do rio das Velhas é a mais impactada tem como embasamento o resultado de diferentes análises estatísticas:

- 1) Segunda UPGRH mais isolada na Análise de Cluster com as medianas (Figura 4.6);
- 2) Se destaca em relação aos Componentes Principais 2 e 3 (Metais e esgoto sanitário e Efluente industrial) da Análise de Componentes Principais da bacia do rio São Francisco (Figuras 4.9, 4.10, 4.12, 4.13 e 4.14); e também para os Componentes CP5 (nitrato) e CP7 (DBO e temperatura) (Figura 4.15);
- 3) Medianas maiores, na estatística descritiva, dos parâmetros que indicam poluição orgânica (Tabela I.32);
- 4) Destaque, analisando o Kruskal-Wallis, em parâmetros que indicam impacto antrópico (Figura 4.18);
- 5) UPGRH mais isolada das demais na Análise de Cluster com os valores de frequência de violação dos limites legais (Figura 4.21);
- 6) IQA com valores significativamente mais baixos em relação aos das demais sub-bacias (Figura 4.23).

## **5 ESTUDO DAS TENDÊNCIAS TEMPORAIS E ESPACIAIS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DA SUB-BACIA DO RIO DAS VELHAS**

### **5.1 Introdução**

Neste capítulo, foram efetuadas análises estatísticas que detectam as tendências temporais, de redução ou de elevação, das concentrações dos parâmetros monitorados nas estações de amostragem localizadas ao longo do rio das Velhas. Estas estações de monitoramento apresentam uma série histórica de dez anos de dados, o que permitiu uma análise de tendência mais aprofundada. Maior detalhamento sobre as estações selecionadas para estudo será apresentada no item 5.2 que se segue.

Para a verificação da tendência espacial de cada parâmetro, foi utilizado o software ArcGIS, gerando mapas que representam cada estação de monitoramento e permitem identificar os locais com maior ou menor tendência de degradação, considerando cada parâmetro. Uma AC para agrupamento das estações permitiu identificar variações espaciais da qualidade da água na sub-bacia.

### **5.2 Metodologia**

#### **5.2.1 Área de estudo**

O rio das Velhas tem sua nascente principal na cachoeira das Andorinhas, município de Ouro Preto, numa altitude de aproximadamente 1.500 m. Toda a bacia compreende uma área de 27.857 km<sup>2</sup>, onde estão localizados 51 municípios que abrigam uma população de aproximadamente 4,4 milhões de habitantes (destes, aproximadamente 94% residem em municípios com sede na bacia), segundo os dados estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2000). O rio das Velhas deságua no rio São Francisco em barra do Guaicuí, distrito de Várzea da Palma, após quase 800 km, numa altitude de 478 m, com uma vazão média de 300 m<sup>3</sup>/s (IGAM, 2010b).

Para fins de gerenciamento ambiental, a sub-bacia do rio das Velhas pode ser dividida em trechos alto, médio e baixo. O Alto rio das Velhas corresponde a cerca de 9,8% da área de drenagem da bacia, compreendendo o Quadrilátero Ferrífero, amplamente explorado por atividades minerárias. Esse trecho é delimitado, ao sul, pelo município de Ouro Preto e, ao norte, pelos municípios de Belo Horizonte, Contagem e Sabará. Apresenta o maior contingente populacional da bacia (cerca de 70% da população), com uma expressiva

atividade econômica, concentrada na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), onde estão presentes os maiores focos de poluição hídrica da bacia. Os trechos Médio e Baixo rio das Velhas correspondem, respectivamente, a 45% e 45,2% da área de drenagem da bacia, apresentando características diferenciadas, incluindo uma menor concentração populacional (25% da população da bacia no trecho médio e 5% no trecho baixo), com o predomínio das atividades agrícolas e pecuárias. O Médio rio das Velhas inicia-se após a foz do ribeirão da Mata, seguindo até a foz do rio Paraúna. O Baixo rio das Velhas inicia-se após a confluência com o rio Paraúna e vai até sua foz, no rio São Francisco (CAMARGOS, 2004).

A sub-bacia do rio das Velhas oferece grande variedade de bens minerais entre metálicos e não-metálicos, com maior diversificação e concentração dessas riquezas no alto curso da bacia, entre São Bartolomeu e Sete Lagoas. O Quadrilátero Ferrífero, que possui parte da sua área cortada pela bacia do rio das Velhas, é uma região muito importante economicamente para Minas Gerais e para o país, por possuir importantes reservas minerais de ferro, manganês, cobre, antimônio, arsênio, ouro, alumínio e urânio.

As sub-bacias dos rios Itabirito, Maracujá, Pedras, Peixe, ribeirões dos Macacos e Água Suja são caracterizadas pela exploração de minério de ferro, ouro e gemas. A exploração de topázio está localizada nas sub-bacias dos rios Itabirito, Maracujá, Pedras e córrego da Ajuda. No médio curso do rio das Velhas verifica-se exploração de calcário, como matéria prima para a indústria de cimento, enquanto a extração de areia ocorre em toda sub-bacia.

A atividade agropecuária é mais expressiva no Médio e Baixo rio das Velhas, embora seja pouco significativa quanto à geração de receita. É responsável pelos processos de erosão da região, em função do grande percentual de área mecanizada, e também pela utilização de insumos agrícolas, tais como fertilizantes e pesticidas. Todavia, a agricultura não constitui a atividade principal, ocupando menos de 1% da área total. A silvicultura ocupa cerca de 4% da sub-bacia, tendo o eucalipto como espécie mais significativa. As áreas de pastagens ocupam aproximadamente a metade da área da sub-bacia (45,6%), evidenciando métodos extensivos de criação bovina. É importante salientar que a pecuária é a atividade mais importante do Médio rio das Velhas, responsável por cerca de 75,34% da produção de suínos de toda a sub-bacia e por 57,9% da produção de bovinos (IGAM, 2010b).

A atividade industrial encontra-se concentrada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, contribuindo expressivamente para a degradação dos corpos de água, já que grande parte das indústrias não tem tratamento adequado para seus efluentes e resíduos sólidos gerados. O

desempenho industrial dos municípios que compõem a sub-bacia do rio das Velhas é de extrema importância no contexto de desenvolvimento econômico do estado de Minas Gerais. No alto médio curso concentram-se indústrias alimentícias, metalúrgicas, têxteis, químicas e de produtos farmacêuticos.

A bacia hidrográfica do rio das Velhas é caracterizada pela presença dos seguintes tipos de uso dos recursos hídricos: abastecimento público, industrial, irrigação e usos diversos. Estes usos estão relacionados às atividades econômicas dominantes nessa Unidade. A geração de energia, a proteção e a preservação das comunidades aquáticas, o turismo, o lazer e a possibilidade de navegação entre Sabará e Jaguará Velha (distrito de Mocambeiro) também se destacam, constatando-se, assim, a multiplicidade dos usos dos recursos hídricos na sub-bacia.

A distribuição dos usos e dos volumes outorgados é bastante irregular ao longo da UPGRH SF5. O alto curso, onde está inserida a RMBH, concentra os usos para consumo humano, indústria e abastecimento público. O médio e baixo cursos concentram principalmente o uso para irrigação. Nota-se também que o alto curso do rio das Velhas é a região que requer as maiores demandas de água (IGAM, 2010b).

### **5.2.2 Banco de dados analisado**

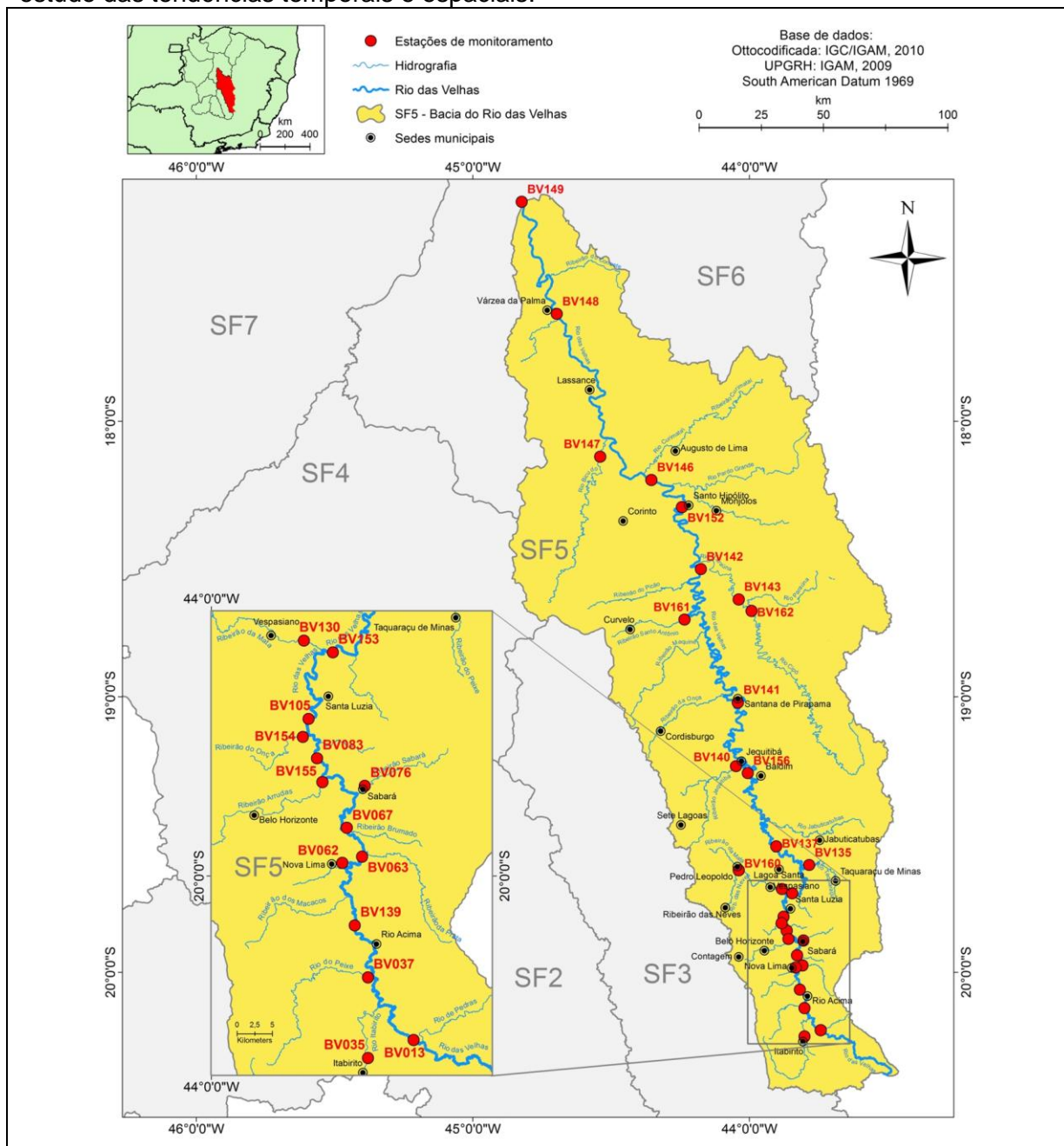
Como já comentado, para o estudo de tendência temporal e espacial, optou-se por trabalhar com uma série histórica de dez anos, a fim de analisar uma quantidade maior de dados e, assim, verificar a existência de tendência de elevação ou redução da concentração de determinado parâmetro ao longo dos anos, na sub-bacia do rio das Velhas. Tendo em vista a definição de dez anos contínuos de coletas, foram analisados os dados de monitoramento obtidos entre 2002 e 2011, sendo a presença de dados para todos esses anos um pré-requisito para a escolha das estações a serem estudadas. Para a rede de monitoramento da UPGRH SF5, 29 estações atendem a esse critério, todas pertencentes à Rede Básica de monitoramento, sendo as mesmas as escolhidas para as análises dessa etapa do trabalho. As frequências de coletas em cada uma dessas estações varia, como é mostrado na Tabela 5.1. A localização das estações analisadas na sub-bacia do rio das Velhas está apresentada na Figura 5.1.

**Tabela 5.1.** Estações utilizadas na análise de tendência e suas respectivas frequências de amostragem e número de coletas ao longo dos dez anos.

Estação	Frequência de coleta (número de coletas)	Estação	Frequência de coleta (número de coletas)
BV013	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)	BV142	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)
BV035	Trimestral / Mensal a partir de abr/2007 a out/2010 (68)	BV143	Trimestral (40)
BV037	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)	BV146	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)
BV062	Trimestral / Mensal a partir de abr/2007 (78)	BV147	Trimestral (40)
BV063	Trimestral / Mensal a partir de abr/2007 (78)	BV148	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)
BV067	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)	BV149	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)
BV076	Trimestral (40)	BV152	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)
BV083	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)	BV153	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)
BV105	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)	BV154	Trimestral (40)
BV130	Trimestral (40)	BV155	Trimestral (40)
BV135	Trimestral (40)	BV156	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)
BV137	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)	BV160	Trimestral (40)
BV139	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)	BV161	Trimestral (40)
BV140	Trimestral (40)	BV162	Trimestral (40)
BV141	Trimestral / Mensal a partir de jul/2008 (68)		

Para a escolha dos parâmetros a serem avaliados quanto à tendência, levou-se em consideração os resultados das análises para a identificação da sub-bacia mais impactada, uma vez que esses resultados indicaram os parâmetros importantes para a qualidade das águas na Unidade SF5. As variáveis foram selecionadas por dois critérios: (i) variáveis que se destacaram na sub-bacia do Velhas nos testes de Kruskal-Wallis, seguidos do teste de comparações múltiplas, tanto ao comparar os grupos resultantes da AC das medianas (Grupo 2), quanto ao comparar as UPGRHs individualmente (SF5); (ii) parâmetros que, considerando todas as coletas realizadas nessa sub-bacia entre 2008 e 2011, tiveram mais de 25% de violação dos limites legais. O critério para a escolha desse limite de violação justifica-se por representar pelo menos uma violação por ano (1/4 das coletas trimestrais). Os parâmetros escolhidos encontram-se no Quadro 5.1.

**Figura 5.1.** Localização das estações da sub-bacia do rio das Velhas analisadas para o estudo das tendências temporais e espaciais.



**Quadro 5.1.** Parâmetros selecionados para a avaliação de tendência temporal e espacial tendo como critério os resultados de três análises realizadas anteriormente.

Parâmetros que se destacaram no Grupo 2, no Teste Kruskal-Wallis/Comparações Múltiplas entre grupos da AC das medianas	Parâmetros que se destacaram na UPGRH SF5, no Teste Kruskal-Wallis/Comparações múltiplas entre UPGRHs (dados brutos)	Parâmetros com mais de 25% de violação em relação aos limites legais, na Unidade SF5
Arsênio Total	Arsênio Total	Arsênio Total
Coliformes Termotolerantes	Coliformes Termotolerantes	Coliformes Termotolerantes
Manganês Total	Fósforo Total	Fósforo Total
Nitrogênio Amoniacal	Manganês Total	Manganês Total
	Nitrato	
	Nitrogênio Amoniacal	
		SST
		Turbidez

Além dos nove parâmetros mencionados acima, foi definido também avaliar o Oxigênio Dissolvido e o Índice de Qualidade das Águas, variáveis com boa indicação de qualidade das águas, que fornecem respostas sobre contaminação por esgotos, uma forte fonte de impacto identificada na sub-bacia do rio das Velhas.

Dessa forma, para o estudo proposto, o banco de dados consolidado contém 29 estações, 11 variáveis e dez anos de série histórica, com 1.684 coletas trimestrais e mensais, dados brutos, totalizando 16.625 observações.

### 5.2.3 Estatística descritiva

A estatística descritiva foi realizada por estação, para cada uma das 11 variáveis selecionadas. Os valores censurados, mais uma vez, foram substituídos pelo próprio LD. Foram calculados a média, o desvio padrão, a média geométrica, os percentis (10, 25, 50, 75 e 90), os coeficientes de assimetria e curtose e o percentual de *outliers*.

Para a identificação dos *outliers* foi utilizado o método exploratório da amplitude interquartis (*AIQ*), que é dada pela diferença entre  $Q_3$  e  $Q_1$ , respectivamente, o primeiro e o terceiro quartis. Assim, no presente estudo, foi considerado *outlier* superior todo dado maior que  $(Q_3 + 1,5AIQ)$  e, analogamente, *outlier* inferior todo valor menor que  $(Q_1 - 1,5AIQ)$  (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Em seguida, os dados foram verificados quanto à presença e ao percentual de *outliers*. Todas as ocorrências foram analisadas individualmente para a verificação da necessidade ou não de sua exclusão, com o intuito de evitar distorções nos resultados. No entanto, somente em caso de inconsistência comprovada estes dados foram excluídos dos bancos de dados, já que eles podem ocorrer naturalmente em dados ambientais.

### 5.2.4 Análise de tendência temporal

Para a análise de tendência temporal, cada uma das 29 estações foi analisada individualmente para cada um dos 11 parâmetros. Conforme mencionado no item Revisão de Literatura, diversas técnicas e métodos de análise de séries temporais foram desenvolvidas e aplicadas. No presente estudo, a análise das séries temporais adotou o seguinte procedimento: verificação da autocorrelação da série temporal, teste de Kruskal-Wallis para verificar diferenças significativas entre os dados medidos nas diferentes estações do ano e testes de tendências temporais. Os testes de Correlação de Spearman, de Kruskal-Wallis, de Mann-Kendall ou Sazonal de Mann-Kendall são testes não paramétricos, por estarem sendo analisados dados que não seguem a distribuição normal, e seus resultados foram confrontados

em busca de conclusões sobre a tendência de um parâmetro. Para as análises foram utilizados os softwares Statistica 8.0 e XLSTAT.

A Correlação de Spearman foi determinada relacionando os dados de monitoramento do parâmetro com o tempo, sendo que as coletas foram ordenadas da mais antiga (2002) para a mais recente (2011). Todas as coletas realizadas na estação foram incluídas nessa análise, independentemente da frequência de amostragem. Correlações com valor-p menores que 0,05 (nível de confiança de 95%) foram consideradas significativas, ou seja, houve uma tendência ao longo do tempo para o parâmetro analisado em determinada estação.

Em seguida, para corroborar os resultados encontrados na correlação, foram realizados os testes de Mann-Kendall ou Sazonal de Mann-Kendall. Para a definição de qual dos dois testes utilizar em cada caso, a série histórica de cada parâmetro, para cada estação, foi analisada quanto à presença ou ausência de sazonalidade, comparando os quatro trimestres do ano por meio do teste de Kruskal-Wallis. Para as séries que apresentaram diferença significativa entre os trimestres ( $p < 0,05$ ), foi considerada a existência de influência da sazonalidade nos dados. Dessa forma, para essas situações, foi realizado o teste Sazonal de Mann-Kendall. Ao contrário, para as séries nas quais não foi identificada sazonalidade ( $p > 0,05$  no teste de Kruskal-Wallis), foi utilizado o teste de Mann-Kendall para análise de tendência temporal. Essa metodologia está de acordo com a estabelecida por Christofaro; Leão (2009) e Groppo, (2005). Para os teste Mann-Kendall, todos os dados da série histórica foram utilizados. Já nos casos onde foi aplicado o teste Sazonal de Mann-Kendall, para os resultados não sofrerem interferência das diferentes frequências de amostragem, só foram incluídas nas análises as coletas trimestrais. Da mesma forma que nos testes de correlação, foram interpretados como tendência significativa os resultados cujo valor-p foram menores que 0,05 para esses dois testes de tendência. O valor da estatística S do teste indicou se houve tendência positiva ou negativa para o parâmetro.

Gráficos de séries temporais, por estação e por parâmetro, foram traçados para uma visualização dos resultados encontrados nas análises estatísticas. Além de permitir a verificação do comportamento da variável ao longo do tempo, esse gráfico possibilitou analisar a variação da concentração do parâmetro em relação ao limite legal estabelecido na Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/2008.



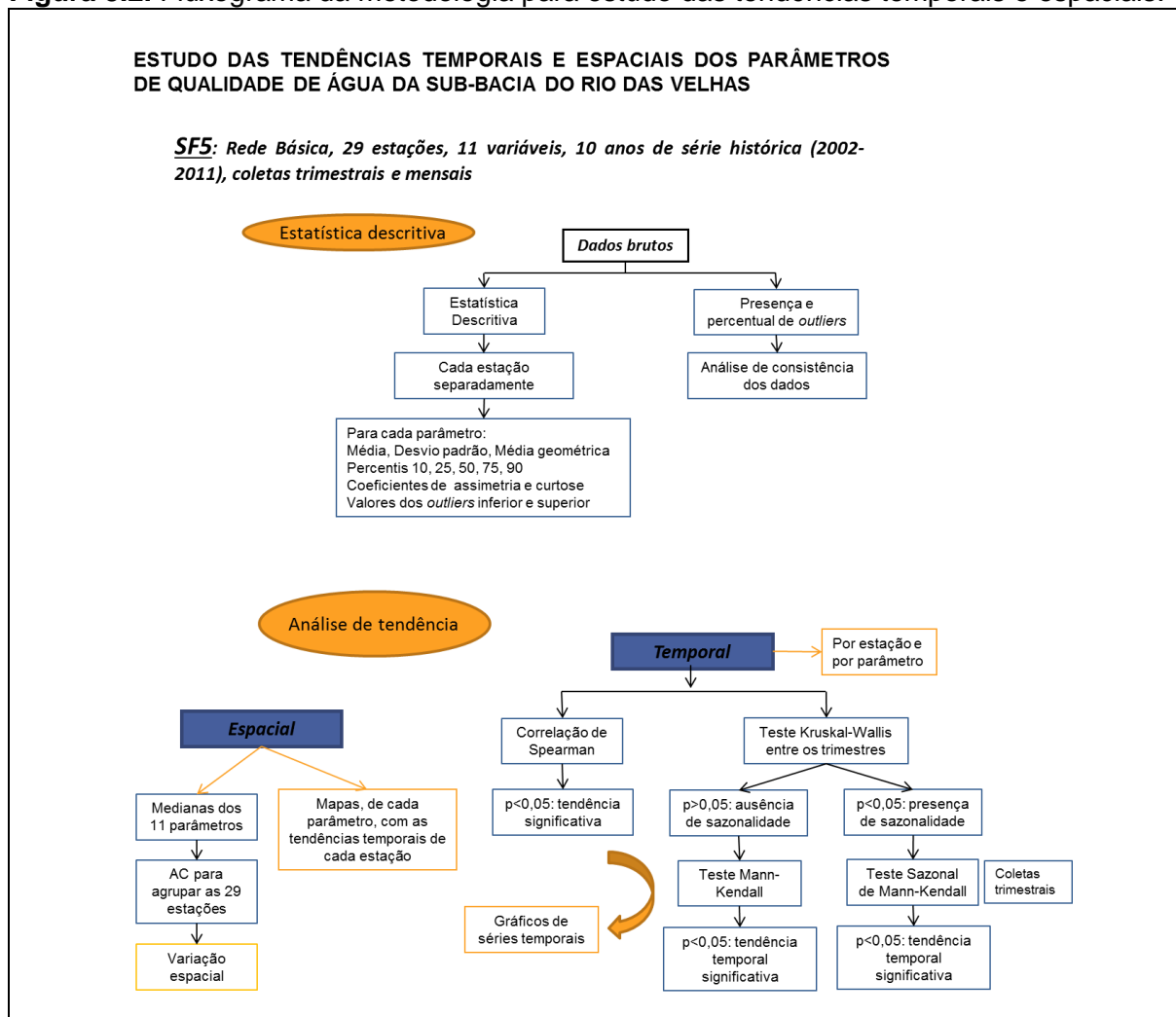
## 5.2.5 Análise de tendência espacial

Utilizando os valores medianos (percentis 50) de cada um dos 11 parâmetros, em cada uma das 29 estações, foi realizada uma Análise de Cluster para agrupar essas estações da sub-bacia do rio das Velhas, de acordo com suas similaridades em função das características analisadas nessa etapa. O objetivo dessa análise foi verificar as variações espaciais na sub-bacia do rio das Velhas, em função da qualidade da água das diferentes estações de monitoramento.

Nesta etapa, também foram elaborados mapas para a elucidação da tendência espacial de cada parâmetro, utilizando o software ArcGIS 10. Em cada estação analisada na sub-bacia do rio das Velhas, foi apontado se a tendência verificada para o parâmetro ao longo do tempo foi de elevação, redução ou se não houve tendência. Dessa forma, foi possível identificar, no geral, se a qualidade da água havia melhorado, piorado ou não havia sofrido alteração ao longo do tempo nas estações localizadas ao longo da sub-bacia do rio das Velhas.

O fluxograma dessas análises está apresentado na Figura 5.2.

**Figura 5.2.** Fluxograma da metodologia para estudo das tendências temporais e espaciais.



## 5.3 Resultados

### 5.3.1 Estatística descritiva

A partir do banco de dados consolidado, com suas 16.625 observações, os dados de cada uma das 29 estações foram analisados individualmente, sendo calculadas as medidas da estatística descritiva citadas na metodologia.

O método exploratório da amplitude interquartil utilizado para identificação dos *outliers* sinalizou várias observações que se desviam significativamente dos outros elementos da amostra, ou seja, dos demais valores observados para determinado parâmetro em uma estação de amostragem específica. Foi realizada uma análise individual de cada um desses valores, confrontando os mesmos com os demais parâmetros da mesma coleta - observando a coerência com parâmetros correlacionados, como no caso de SST e Turbidez -, com as coletas realizadas em datas próximas e observando se o período da coleta era seco ou chuvoso. A partir dessa análise, foram determinadas 15 observações, distribuídas em dez estações, correspondentes aos parâmetros Coliformes, Nitrato, OD, SST e Turbidez, que se mostraram muito diferentes das demais observações. Para esses casos, os valores *outliers* foram substituídos pelo valor mediano do parâmetro na estação correspondente. Pelo fato desses parâmetros, com exceção de SST, serem usados para o cálculo do IQA, para as coletas nas quais houve substituição dos *outliers*, o valor de IQA também foi substituído (12 casos) pelo valor mediano desse índice calculado para a estação, totalizando 27 substituições no banco de dados (0,16% do total de dados analisados).

As estatísticas descritivas foram recalculadas, com os valores de *outliers* substituídos, e os resultados se encontram em anexo, no Apêndice II (Tabelas II.1 a II. 11). Uma estatística descritiva geral do banco de dados, contendo os dados de todas as 29 estações juntas é apresentado na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2.** Estatística descritiva do banco de dados, considerando dados das coletas de 2002 a 2011 de 29 estações da sub-bacia do rio das Velhas (SF5).

	As <sub>T</sub> (mg/L)	Coli. term. (NMP/100 ml)	DBO (mg/L)	P <sub>T</sub> (mg/L)	Mn <sub>T</sub> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sub>T</sub> (mg/L)	OD (mg/L)	SST (mg/L)	Turb. (UNT)	IQA
Número de coletas	1435	1636	1636	1608	1168	1682	1192	1684	1264	1684	1636
% dados faltantes	14,79	2,85	2,85	4,51	30,64	0,12	29,22	0,00	24,94	0,00	2,85
% dados válidos	85,21	97,15	97,15	95,49	69,36	99,88	70,78	100,00	75,06	100,00	97,15
% dados censurados	21,95	20,42	41,01	3,30	0,09	1,37	27,27	1,01	0,71	0,00	0,00
Média	0,0200	49693	6	0,24	0,44	0,60	1,86	6,03	155	168	51
Desv. Padrão	0,0275	66114	11	0,33	0,81	0,71	3,82	2,24	376	413	16
Média geométrica	0,0062	5149	4	0,12	0,20	0,75	0,48	5,38	46	43	49
Percentil 10	0,0003	55	2	0,03	0,04	0,07	0,10	2,83	8	7	31
Percentil 25	0,0009	500	2	0,06	0,09	0,15	0,10	4,90	17	14	40
Percentil 50	0,0119	8500	3	0,13	0,20	0,33	0,30	6,50	42	33	50
Percentil 75	0,0269	90000	6	0,28	0,44	0,78	1,60	7,30	115	128	63
Percentil 90	0,0519	160000	13	0,53	0,94	1,53	5,30	8,00	392	455	74
Coefficiente de assimetria	3,56	0,96	5,64	3,87	4,92	2,24	3,37	-0,23	7,73	7,28	0,12
Coefficiente de curtose	24,58	-0,94	43,13	21,00	32,16	5,97	12,45	1,22	101,92	89,04	-0,62
<i>Outlier</i> inferior	-0,0381	-133750	-4	-0,27	-0,43	-0,80	-2,15	1,30	-130	-158	4
<i>Outlier</i> superior	0,0659	224250	12	0,61	0,95	1,73	3,85	10,90	262	300	99
Número de <i>outliers</i>	77	0	182	123	116	136	163	89	183	238	0
% de <i>outliers</i>	5,37	0,00	11,12	7,65	9,93	8,09	13,67	5,29	14,48	14,13	0,00

### 5.3.2 Análise de tendência temporal

As análises de tendência temporal foram realizadas individualmente para cada estação. Os resultados dos testes estatísticos propostos na Metodologia (Correlação de Spearman, Testes de Kruskal-Wallis, de Mann-Kendall e Sazonal de Mann-Kendall) foram organizados em planilhas, por parâmetro, conforme apresentado na Tabela 5.3, para o parâmetro IQA. As tabelas com os resultados dos demais parâmetros estão apresentadas no Apêndice II (Tabelas II.12 a II.21). Esses resultados indicam a tendência temporal do parâmetro, por estação, ao longo da série histórica de dez anos (2002 a 2011).

Os resultados estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ) dos testes de Correlação de Spearman e Mann-Kendall ou Sazonal de Mann-Kendall (valores em negrito) indicam que existe uma tendência do parâmetro ao longo do tempo (entre 2002 e 2011) em determinada estação. Os valores de Tau de Kendall e de S, calculados no teste de Mann-Kendall/Sazonal de Mann-Kendall e relacionados entre si, indicam o sentido da tendência do parâmetro ao longo do tempo, podendo ser tendência de elevação (quando os valores são positivos) ou tendência de redução (quando os valores são negativos). O sinal do coeficiente R indica a mesma tendência, já que corresponde à correlação dos valores do parâmetro com o tempo.

**Tabela 5.3.** Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro IQA, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estação	Corpo d'água	Correlação de Spearman <sup>1</sup>	Teste Kruskal-Wallis <sup>2</sup>	Influência da Sazonalidade	Teste Mann-Kendall <sup>2</sup>	Tau de Kendall <sup>3</sup>	S <sup>3</sup>	Teste Sazonal de Mann-Kendall <sup>2</sup>	Tau de Kendall <sup>3</sup>	S <sup>3</sup>	Tendência
BV013	Rio das Velhas	<b>-0,336</b>	<b>0,000</b>	Sim				0,639	-0,069	-10,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução <sup>4</sup>
BV035	Rio Itabirito	<b>-0,259</b>	<b>0,009</b>	Sim				0,210	-0,175	-25,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV037	Rio das Velhas	<b>-0,273</b>	<b>0,002</b>	Sim				0,210	-0,175	-25,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV062	Ribeirão Água Suja	0,218	<b>0,000</b>	Sim				0,623	0,067	12,0	Sem tendência
BV063	Rio das Velhas	0,099	<b>0,000</b>	Sim				0,754	0,044	8,0	Sem tendência
BV067	Rio das Velhas	-0,019	<b>0,000</b>	Sim				0,837	-0,020	-11,0	Sem tendência
BV076	Ribeirão Sabará	-0,114	0,264	Não	0,388	-0,096	-75,0				Sem tendência
BV083	Rio das Velhas	<b>0,290</b>	0,185	Não	<b>0,015</b>	0,203	462,0				Elevação
BV105	Rio das Velhas	<b>0,304</b>	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,036</b>	0,267	48,0	Elevação
BV130	Ribeirão da Mata	0,152	<b>0,023</b>	Sim				0,591	0,072	13,0	Sem tendência
BV135	Rio Taquaraçu	-0,031	<b>0,007</b>	Sim				0,591	-0,073	-13,0	Sem tendência
BV137	Rio das Velhas	0,162	<b>0,047</b>	Sim				0,128	0,196	35,0	Sem tendência
BV139	Rio das Velhas	-0,068	<b>0,000</b>	Sim				0,210	0,175	25,0	Sem tendência
BV140	Ribeirão Jequitibá	<b>-0,320</b>	<b>0,023</b>	Sim				0,322	-0,139	-20,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV141	Rio das Velhas	-0,110	<b>0,000</b>	Sim				0,958	0,014	2,0	Sem tendência
BV142	Rio das Velhas	-0,223	<b>0,000</b>	Sim				0,876	0,028	4,0	Sem tendência
BV143	Rio Paraúna	-0,003	<b>0,012</b>	Sim				0,639	0,069	10,0	Sem tendência
BV146	Rio das Velhas	-0,192	<b>0,000</b>	Sim				1,000	0,000	0,0	Sem tendência
BV147	Rio Bicudo	<b>-0,476</b>	<b>0,030</b>	Sim				<b>0,007</b>	-0,370	-53,0	Redução
BV148	Rio das Velhas	<b>-0,433</b>	<b>0,008</b>	Sim				<b>0,008</b>	-0,361	-52,0	Redução
BV149	Rio das Velhas	<b>-0,460</b>	<b>0,006</b>	Sim				<b>0,011</b>	-0,347	-50,0	Redução
BV152	Rio das Velhas	<b>-0,377</b>	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,002</b>	-0,420	-60,0	Redução
BV153	Rio das Velhas	<b>0,247</b>	<b>0,009</b>	Sim				<b>0,002</b>	0,389	70,0	Elevação
BV154	Ribeirão do Onça	0,159	<b>0,002</b>	Sim				0,073	0,228	41,0	Sem tendência
BV155	Ribeirão Arrudas	0,251	<b>0,024</b>	Sim				0,067	0,233	42,0	Sem tendência
BV156	Rio das Velhas	0,037	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,011</b>	0,347	50,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV160	Ribeirão das Neves	0,097	0,789	Não	0,514	0,073	57,0				Sem tendência
BV161	Ribeirão Santo Antônio	-0,220	<b>0,000</b>	Sim				0,958	0,014	2,0	Sem tendência
BV162	Rio Cipó	-0,324	<b>0,001</b>	Sim				<b>0,002</b>	-0,410	-59,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução

<sup>1</sup>Valor do coeficiente R de correlação de Spearman. Valores em negrito são estatisticamente significativos (p<0,05).

<sup>2</sup>Valor-p relacionado à estatística do teste. Valores em negrito são estatisticamente significativos (p<0,05).

<sup>3</sup>Valor da estatística do teste.

<sup>4</sup>Os testes Correlação de Spearman e Mann-Kendall/Sazonal de Mann-Kendall não apresentaram o mesmo resultado quanto à significância da tendência.

Na maioria dos casos analisados, os testes de Correlação e Mann-Kendall ou Sazonal de Mann-Kendall foram coincidentes, indicando a existência ou não de tendência. Porém, foram encontradas situações, como para o IQA na estação BV140, indicada na Tabela 5.3, em que os testes não apontaram o mesmo resultado quanto à significância da tendência temporal. Esses

casos foram apontados como inconclusivos, mas com possibilidade de redução ou elevação, de acordo com o resultado do teste significativo.

É interessante observar que, dos 38 casos inconclusivos, considerando todos os parâmetros, 17 deles ocorreram com o teste de correlação fornecendo resultados significativos enquanto os testes de tendência Mann-Kendall/Sazonal de Mann-Kendall forneceram resultados não significativos ( $p > 0,05$ ). Entre os 21 casos restantes, apenas um apresentou resultado significativo para Mann-Kendall e 20 apresentaram resultados significativos para o Sazonal Mann-Kendall, mas não significativos para a correlação. Essa última observação pode ser explicada pela influência da sazonalidade nas análises: enquanto o teste Sazonal de Mann-Kendall consegue verificar a existência de tendência, retirando a interferência da sazonalidade nos dados, a correlação não diferencia uma tendência temporal ao longo dos anos de uma tendência sazonal.

O resultado final das tendências, baseado na análise dos testes estatísticos, foi apresentado na última coluna da Tabela 5.3, podendo ser definida com Redução, Inconclusivo com possibilidade de Redução, Elevação, Inconclusivo com possibilidade de Elevação ou Sem Tendência. A análise final, com a indicação de todas as tendências existentes na sub-bacia do rio das Velhas ao longo dos anos 2002 a 2011, é apresentada na Tabela 5.4.

Pelas tendências temporais, estatisticamente significativas, verificadas na sub-bacia do rio das Velhas, nas 29 estações de monitoramento estudadas, é possível fazer algumas observações.

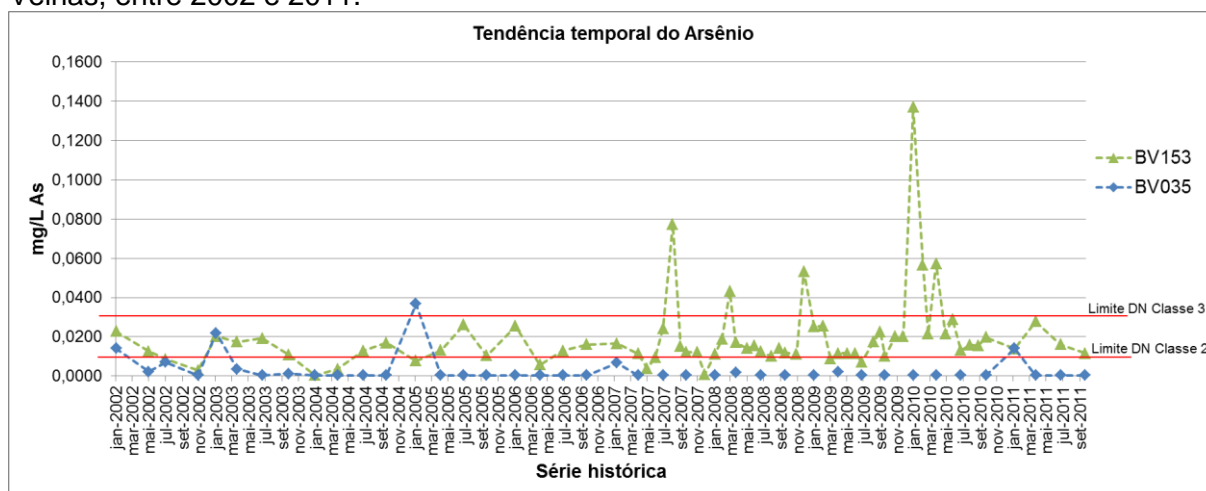
Em relação ao parâmetro Arsênio Total, todas as estações que apresentaram tendência de elevação da concentração ao longo do tempo estão localizadas na calha do rio das Velhas e todas estações que apresentaram redução da concentração estão alocadas em outros cursos d'água (afluentes). Observa-se também que as estações com tendência de elevação já possuem algumas das maiores concentrações desse parâmetro na sub-bacia (Tabela II.1). A Figura 5.3 apresenta a tendência de duas estações ao longo do tempo, com elevação em BV153 (enquadrada como Classe 3) e redução em BV035 (Classe 2). Observa-se que as concentrações em ambas estações ultrapassaram os limites legais estabelecidos pela DN COPAM/CERH nº01/2008 em algumas coletas.

**Tabela 5.4.** Tendência temporal dos parâmetros na sub-bacia do rio das Velhas, nas 29 estações estudadas, com suas respectivas descrições: classe de enquadramento, município e curso d'água. Estações ordenadas de montante para jusante.

Estação	As <sub>T</sub>	Coli. term.	DBO	P <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sub>T</sub>	OD	SST	Turb.	IQA	Classe enquad.	Município	Curso d'água
BV013	-	?↑	-	?↓	?↑	↑	-	-	-	-	?↓	Classe 2	Itabirito	Rio das Velhas
BV035	↓	↑	?↓	-	-	?↑	-	-	-	-	?↓	Classe 2	Itabirito	Rio Itabirito
BV037	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	?↓	Classe 2	Rio Acima	Rio das Velhas
BV139	-	-	-	?↓	-	↑	-	-	-	-	-	Classe 2	Rio Acima	Rio das Velhas
BV062	-	-	-	-	↓	↑	-	-	-	-	-	Classe 2	Nova Lima	Ribeirão Água Suja
BV063	↑	-	-	?↓	?↓	↑	-	-	-	-	-	Classe 2	Nova Lima / Raposos	Rio das Velhas
BV067	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	Classe 2	Sabará	Rio das Velhas
BV076	-	-	-	-	-	-	-	?↓	-	-	-	Classe 3	Sabará	Ribeirão Sabará
BV155	-	↓	↓	-	↓	-	-	-	-	-	-	Classe 3	Sabará	Ribeirão Arrudas
BV083	-	-	?↓	-	-	↑	-	?↑	-	-	↑	Classe 3	Sabará	Rio das Velhas
BV154	-	↓	↓	-	↓	-	-	-	-	-	-	Classe 3	Santa Luzia	Ribeirão do Onça
BV105	-	-	↓	-	-	↑	-	?↑	-	-	↑	Classe 3	Santa Luzia	Rio das Velhas
BV160	↓	-	↓	-	-	?↓	-	-	-	-	-	Classe 2	Pedro Leopoldo	Ribeirão das Neves
BV130	?↓	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	Classe 2	Vespasiano	Ribeirão da Mata
BV153	↑	-	↓	-	-	↑	-	?↑	-	-	↑	Classe 3	Santa Luzia	Rio das Velhas
BV135	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Classe 1	Jaboticatubas / Santa Luzia	Rio Taquaraçu
BV137	-	-	↓	-	?↓	↑	-	?↑	-	-	-	Classe 3	Lagoa Santa	Rio das Velhas
BV156	-	-	?↓	-	?↓	?↑	-	-	-	-	?↑	Classe 2	Baldim	Rio das Velhas
BV140	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	?↓	Classe 2	Jequitibá	Ribeirão Jequitibá
BV141	-	-	-	-	-	?↑	?↓	-	-	-	-	Classe 2	Santana de Pirapama	Rio das Velhas
BV161	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	Classe 2	Inimutaba	Ribeirão Santo Antônio
BV142	?↑	-	-	-	-	?↑	?↓	↑	-	-	-	Classe 2	Inimutaba / Presidente Juscelino	Rio das Velhas
BV162	?↓	↑	-	-	-	-	↓	-	-	-	?↓	Classe 1	Presidente Juscelino	Rio Cipó
BV143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Classe 1	Presidente Juscelino	Rio Paraúna
BV152	↑	↑	-	-	-	-	-	-	?↑	-	↓	Classe 2	Santo Hipólito	Rio das Velhas
BV146	-	?↑	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	Classe 2	Augusto de Lima / Corinto	Rio das Velhas
BV147	-	↑	-	-	-	-	-	?↑	-	-	↓	Classe 1	Corinto	Rio Bicudo
BV148	?↑	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	Classe 2	Várzea da Palma	Rio das Velhas
BV149	-	↑	-	-	-	?↑	-	-	-	?↑	↓	Classe 2	Várzea da Palma	Rio das Velhas

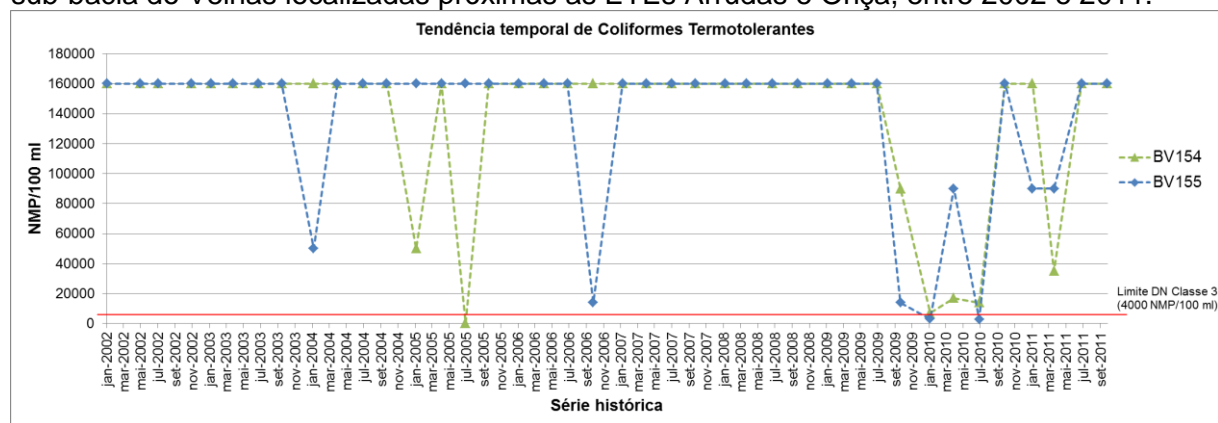
Obs.: ↑ tendência de elevação; ↓ tendência de redução; ?↑ tendência inconclusiva, com possibilidade de elevação; ?↓ tendência inconclusiva, com possibilidade de redução; - sem tendência.

**Figura 5.3.** Tendência temporal do parâmetro Arsênio, em duas estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011.



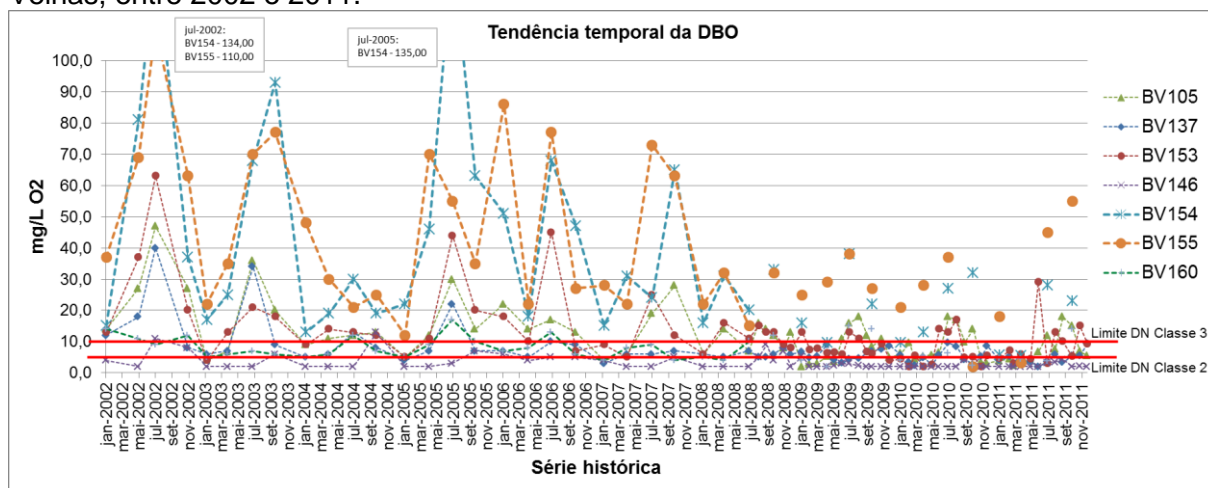
Analisando o parâmetro Coliformes Termotolerantes, das dez estações que apresentaram tendência temporal significativa, apenas duas apontam redução dos valores do parâmetro, sendo elas as estações BV154 e BV155 (Figura 5.4). Elas se localizam a jusante das ETEs Onça e Arrudas, respectivamente, o que pode explicar essa redução observada, apesar de os valores de Coliformes ainda serem bem altos nessas duas estações. As demais estações, com tendência de elevação dos Coliformes, possuem em comum o fato de não se localizarem próximas aos grandes centros urbanos da RMBH. Além disso, essas oito estações com tendência de elevação dos Coliformes (BV035, BV037, BV140, BV162, BV152, BV147, BV148, BV149) estão entre as estações que possuem os melhores IQAs da sub-bacia, incluindo a estação BV162, de melhor IQA da Unidade SF5 (Tabela II.11). Essa constatação aponta um comportamento na sub-bacia do rio das Velhas que merece atenção, em busca das causas da elevação nessas localidades para tomadas de decisão.

**Figura 5.4.** Tendência temporal do parâmetro Coliformes Termotolerantes, nas estações da sub-bacia do Velhas localizadas próximas as ETEs Arrudas e Onça, entre 2002 e 2011.



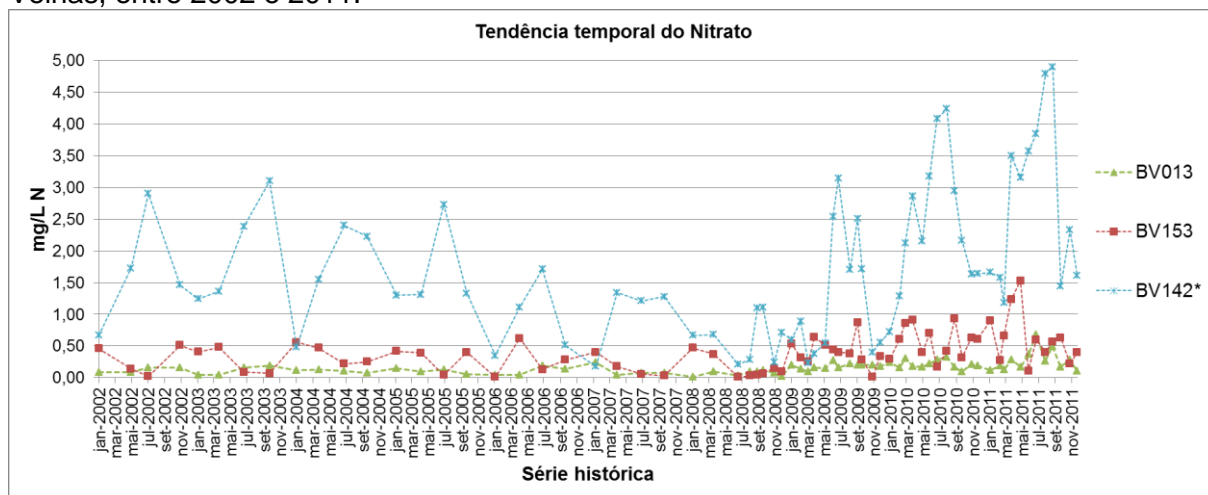
A DBO apresentou apenas tendência de redução, tanto nas estações BV154 e BV155 quanto nas três estações localizadas no rio das Velhas e subsequentes ao encontro do Ribeirão Arrudas com esse rio (BV105, BV153 e BV137), possivelmente pelo mesmo motivo apontado para o parâmetro Coliformes, a instalação das ETEs. Inclusive, a redução da DBO nas estações BV155 e BV105 já foi apontada por Jardim *et al.* (2011) que demonstrou que as concentrações de DBO medidas depois da implantação da ETE Arrudas foram significativamente menores que aquelas medidas antes de 2003 nessas duas estações. As estações BV160 e BV146, essa última mais afastada das demais, também apresentaram tendência de redução. Observa-se pela Figura 5.5 que a redução da DBO é realmente significativa, principalmente ao comparar as concentrações com os limites legais. No gráfico são apresentadas diversas séries de dados, ainda que isso dificulte a visualização, com o intuito de evidenciar o comportamento geral de todas as estações com tendência em relação a esse parâmetro.

**Figura 5.5.** Tendência temporal do parâmetro DBO, em sete estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011.



Em relação ao parâmetro Nitrato, dez estações apresentaram tendência significativa e mais seis apontaram uma possibilidade de tendências. As dez tendências confirmadas indicam elevação da concentração do parâmetro, sendo que nove dessas estações estão localizadas no rio das Velhas, da estação mais a montante da sub-bacia até o Médio Velhas, e concentradas próximas à RMBH. A estação BV160 foi a única com possibilidade de redução e localiza-se no Ribeirão das Neves, próximo a grandes centros urbanos. Apesar de apresentarem apenas uma possibilidade de elevação, as estações BV156, BV141, BV142 e BV149 já possuem algumas das concentrações medianas de Nitrato mais elevadas da sub-bacia (0,74 a 1,51 mg/L N) (Tabela II.6). Pela distribuição das estações com tendência de elevação das concentrações de Nitrato na sub-bacia do rio das Velhas, pode-se dizer que há uma tendência geral de elevação desse parâmetro na Unidade SF5, inclusive se aproximando do limite legal, 10 mg/L N, (Figura 5.6), o que deve ser acompanhado para decisões sobre ações de manejo.

**Figura 5.6.** Tendência temporal do parâmetro Nitrato, em três estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011.

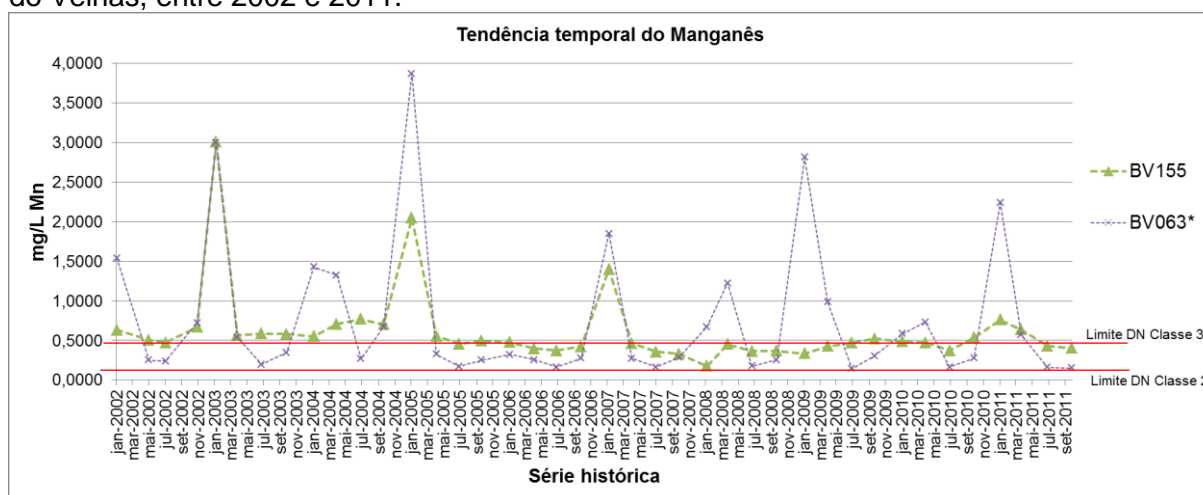


Obs: estação BV142 apresentou resultado inconclusivo para Nitrato, com possibilidade de elevação.



Manganês apresentou tendência de redução em três estações, nos Ribeirões Água Suja (BV062), Arrudas (BV155) e do Onça (BV154), e possíveis reduções em mais três estações, todas no rio das Velhas (Figura 5.7). É interessante observar que as estações BV063, BV137 e BV156, que apresentaram possibilidade de redução, estão entre as estações com maiores concentrações de Manganês (Tabela II.5).

**Figura 5.7.** Tendência temporal do parâmetro Manganês, em duas estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011.



Obs: estação BV063 apresentou resultado inconclusivo para Manganês, com possibilidade de redução.

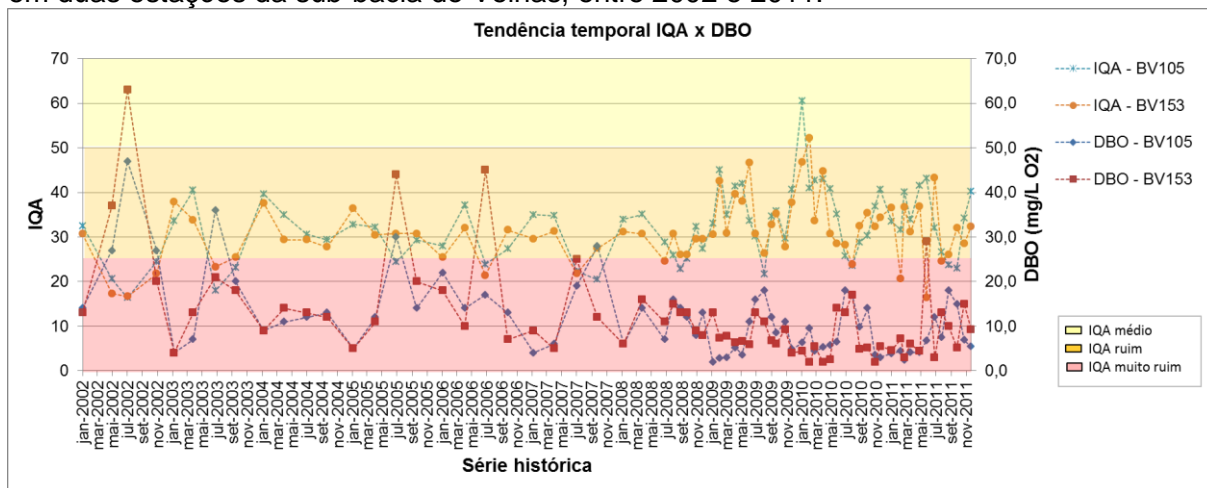
Quanto aos parâmetros Fósforo e Nitrogênio Amoniacal, foram observadas tendências significativas mas pontuais, não sendo possível fazer inferências. Para SST e Turbidez, foi identificada uma única estação com possibilidade de tendência em cada um.

O OD apresentou uma tendência significativa de elevação em BV142 e mais seis possibilidades de tendência, também não sendo possível fazer alguma conclusão sobre esses casos. As estações BV105, BV137 e BV153 apresentaram somente possibilidade de elevação, mas seria uma elevação de grande importância ambiental tendo em vista os baixos valores medianos de OD encontrados nesses pontos (2,05 a 3,15 mg/L O<sub>2</sub>) (Tabela II.8). Apesar dos testes não confirmarem a melhoria desse parâmetro no ponto BV083, Jardim *et al.* (2011) aponta uma elevação da concentração de OD nessa estação após a implantação do tratamento secundário da ETE Arrudas.

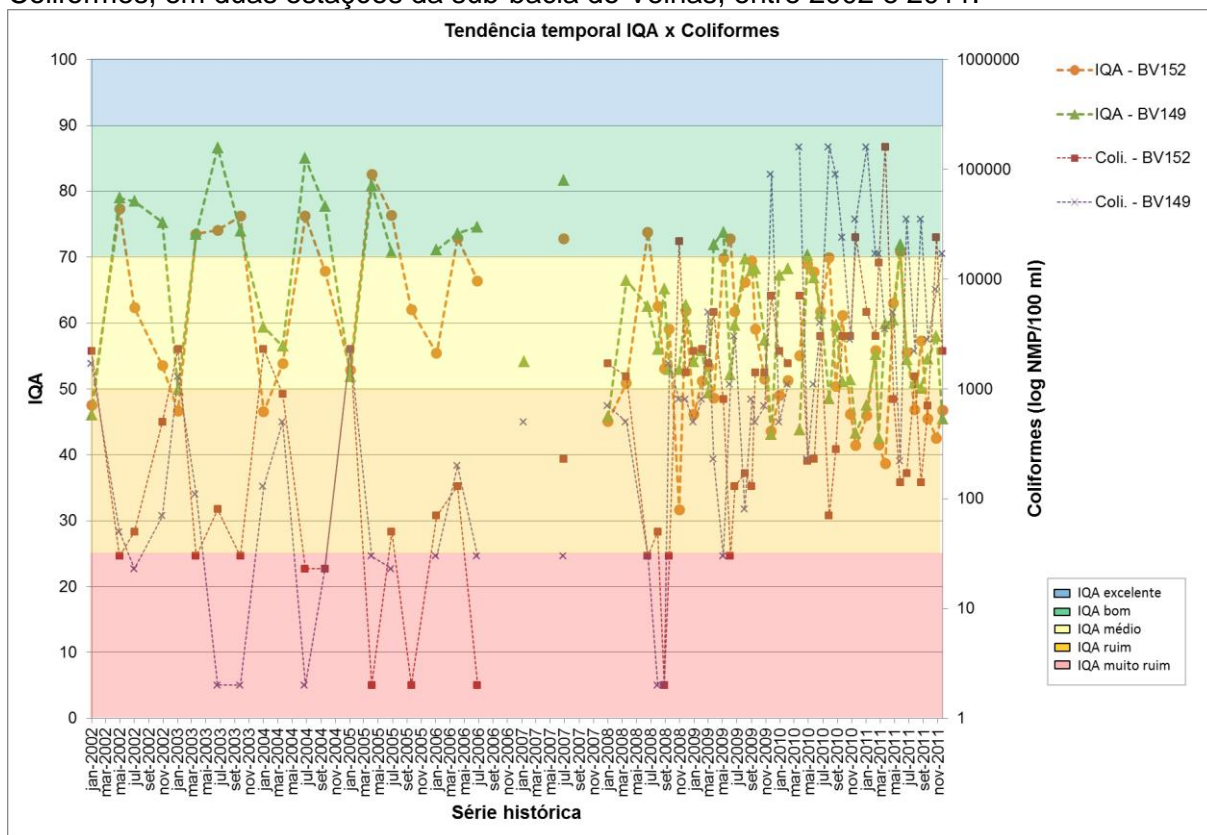
As tendências temporais apresentadas pelo parâmetro IQA podem ser explicadas pelas tendências identificadas para os parâmetros Coliformes e DBO, como pode ser verificado pela Tabela 5.4: se houve um aumento no IQA, houve uma redução do parâmetro DBO (Figura 5.8), sendo que tal situação aconteceu em estações (BV083, BV105 e BV153) localizadas próximas à RMBH (valores de IQA baixos: aproximadamente 31 a 39); se houve uma

redução do IQA, houve um aumento de Coliformes (Figura 5.9), e as estações que demonstraram essas tendências (BV152, BV147, BV148 e BV149) estão localizadas mais a jusante da sub-bacia, com valores de IQA maiores, na faixa de qualidade média (aproximadamente 56 a 69).

**Figura 5.8.** Tendência temporal do parâmetro IQA, comparada com a tendência da DBO, em duas estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011.



**Figura 5.9.** Tendência temporal do parâmetro IQA, comparada com a tendência de Coliformes, em duas estações da sub-bacia do Velhas, entre 2002 e 2011.



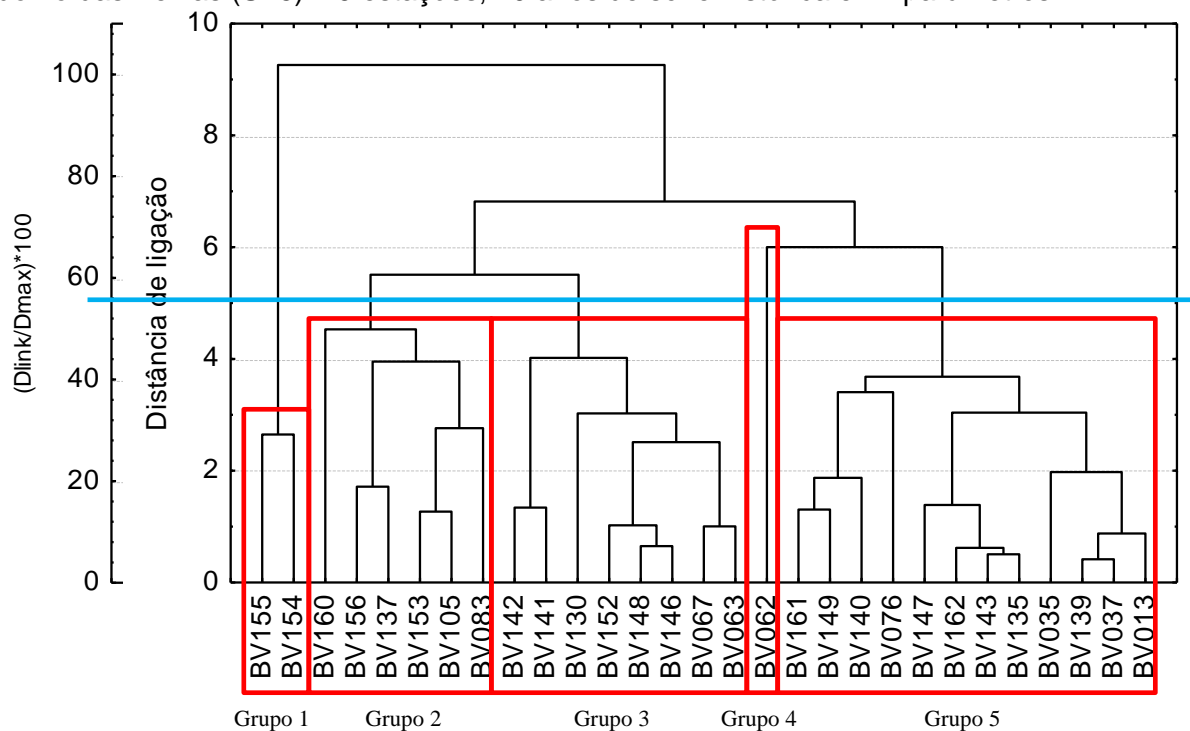
Essa relação entre IQA x DBO/Coliformes também foi observada para os casos com possibilidade de tendência. Apenas para BV035 observou-se uma possível redução do IQA com uma elevação de Coliformes junto com uma possível redução de DBO.

Também é interessante observar que as estações BV154 e BV155, apesar de apresentarem tendência de redução tanto para Coliformes quanto para DBO, não apresentaram tendência significativa para o IQA. Vale lembrar que o IQA é um índice composto por nove parâmetros, com diferentes pesos no cálculo, e que, por tanto, a redução de dois parâmetros não necessariamente implicará em redução do índice como um todo.

### 5.3.3 Análise de tendência espacial

A partir dos valores medianos de cada parâmetro, calculados por estação considerando todas as coletas da mesma, foi elaborada uma planilha (Estação x Parâmetro), para a realização de uma Análise de Cluster. Os dados foram padronizados por parâmetro, com transformação para escala-Z. O dendograma resultante do agrupamento das estações da sub-bacia do rio das Velhas, em função de suas similaridades em relação aos 11 parâmetros estudados, encontra-se apresentado na Figura 5.10.

**Figura 5.10.** Dendograma resultante da AC para agrupamento das estações da sub-bacia do rio das Velhas (SF5): 29 estações, 10 anos de série histórica e 11 parâmetros.



Seguindo novamente as recomendações de Vicini (2005), a linha de corte para estabelecimento do número de grupos formados pela AC foi definida como a Distância Euclidiana de ligação de valor 5,02. Dessa forma, observa-se cinco agrupamentos de estações.

O Grupo 1, formado pelas estações BV154 e BV155, apresenta-se como o mais isolado em relação aos demais grupos. Essas duas estações encontram-se, respectivamente, no Ribeirão do Onça e Ribeirão Arrudas, próximos à foz dos mesmos no rio das Velhas, corpos d'água muito poluídos por estarem próximos a grandes centros urbanos, Contagem e Belo Horizonte. Essas duas estações, inclusive, possuem as menores medianas de IQA entre todas as 29 estações, aproximadamente 23 e 26, respectivamente. Além disso, essas estações de monitoramento possuem como característica comum estarem localizadas após Estações de Tratamento de Esgoto, as ETEs Onça e Arrudas.

O Grupo 2, com exceção da estação BV160, é formado por estações a jusante do encontro dos Ribeirões Onça e Arrudas com o rio das Velhas, recebendo, conseqüentemente, todos os poluentes originados desses cursos d'água. Essas cinco estações (BV083, BV105, BV153, BV137 e BV156) estão todas localizadas na calha do rio das Velhas e em sequência, apresentando IQAs medianos entre 30 e 48 (esse último valor para a estação BV156, mais a jusante entre as cinco). A estação BV160, mais isolada entre as seis do Grupo 2, localiza-se no Ribeirão das Neves, fora da calha do rio das Velhas, próximo à cidade de Pedro Leopoldo. Apesar da localização distinta em relação às demais, possui um IQA mediano muito baixo, com o valor de aproximadamente 39 (Tabela II.11), justificando o seu agrupamento pela AC.

O Grupo 3, com exceção da estação BV130, também é formado por estações de monitoramento localizadas na calha do rio das Velhas. As estações BV063 e BV067 encontram-se no Alto Velhas, antes da foz do Ribeirão Arrudas no rio das Velhas, com valores medianos de IQA correspondentes a aproximadamente 53 e 56, respectivamente. Já as estações BV141, BV142, BV152, BV146 e BV148 encontram-se em sequência, no Médio e Baixo Velhas, com a BV141 a jusante da estação BV156 (Grupo 2), e com IQA mediano variando de 50 a 58, crescente de montante para jusante. A estação BV130 localiza-se no Ribeirão da Mata, próximo de sua foz no rio das Velhas, e, apesar de estar próxima a grandes centros urbanos da Região Metropolitana de Belo Horizonte, como Vespasiano, não se encontra com nível de poluição tão elevado (IQA mediano de 45) como as demais estações localizadas na mesma região, mas na própria calha do Velhas (Grupos 1 e 2).

A estação BV062, isolada de todas as demais 28 estações, formando o Grupo 4, localiza-se no Ribeirão Água Suja, próximo de sua foz no rio das Velhas, no município de Nova Lima. Seu IQA mediano considerando as coletas entre 2002 e 2011 é 43. O isolamento dessa estação pode ser explicado pelo fato de suas medianas dos parâmetros Coliformes, DBO, Fósforo, Nitrogênio Amoniacal e OD estarem próximas dos valores dos Grupos 1 e 2, medianas de SST e Turbidez próximas das medianas do Grupo 5 e ter a maior mediana para o parâmetro Arsênio (0,0607) entre todas as estações, se comportando como uma estação diferente das demais a ponto de não se identificar com um único grupo.

Por último, o Grupo 5 é formado por 12 estações. As estações BV013, BV037 e BV139 localizam-se na calha do rio das Velhas, em sequência, e são as primeiras estações do curso d'água, mais a montante no Alto Velhas, com IQAs medianos entre 57 e 67. As demais estações estão em afluentes do rio das Velhas e estão distribuídas por toda a sub-bacia, Alto, Médio e Baixo Velhas. O IQA mediano dessas estações varia de 47 a 78, com apenas dois valores abaixo de 50, estando, então, a maioria das estações desse grupo com o IQA classificado entre as faixas médio e bom (Tabela II.11).

Tendo o exposto anteriormente em vista, pode-se dizer que a AC dividiu as estações da sub-bacia do rio das Velhas em três grandes grupos, segundo suas qualidades da água, correspondentes aos níveis de alta poluição (Grupos 1, 2 e 4), poluição moderada (Grupo 3) e baixa poluição (Grupo 5). Tal classificação vai de acordo com o que foi constatado por diversos autores, em trabalhos semelhantes (BU *et al.*, 2010; SHRESTHA; KAZAMA, 2007; SINGH *et al.*, 2004; SOJKA *et al.*, 2008).

Usando os resultados identificados nas análises de tendências temporais (Tabela 5.4), foram elaborados mapas para elucidação das tendências espaciais na sub-bacia do rio das Velhas, um para cada parâmetro. Nesses mapas, é possível visualizar como o parâmetro se comportou ao longo da sub-bacia, uma vez que foram representadas as tendências temporais, por estação. Os mapas estão apresentados nas Figuras 5.11 a 5.16.

Figura 5.11. Mapas representando as tendências espaciais dos parâmetros Arsênio e Coliformes ao longo da sub-bacia do rio das Velhas.

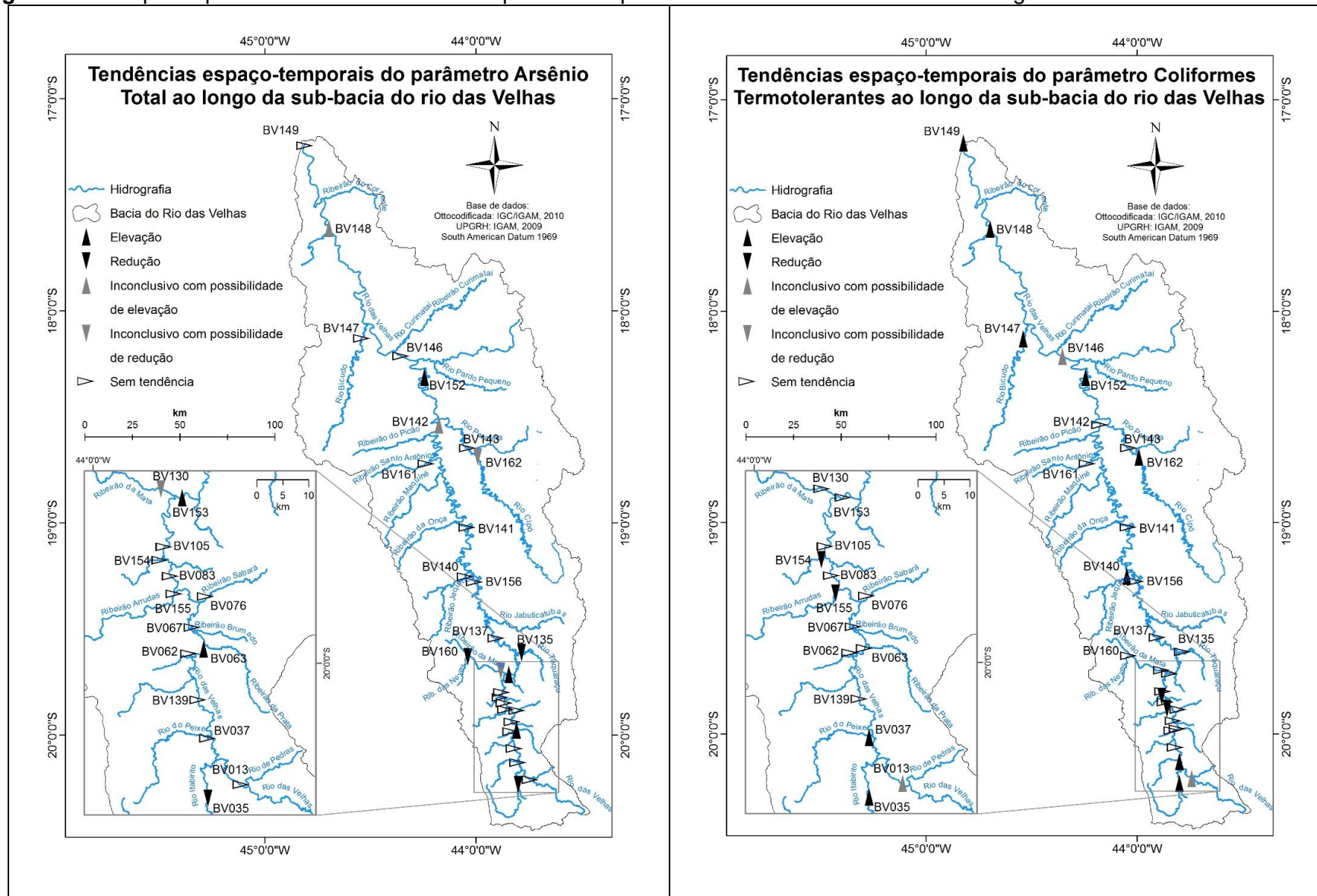


Figura 5.12. Mapas representando as tendências espaciais dos parâmetros DBO e Fósforo ao longo da sub-bacia do rio das Velhas.

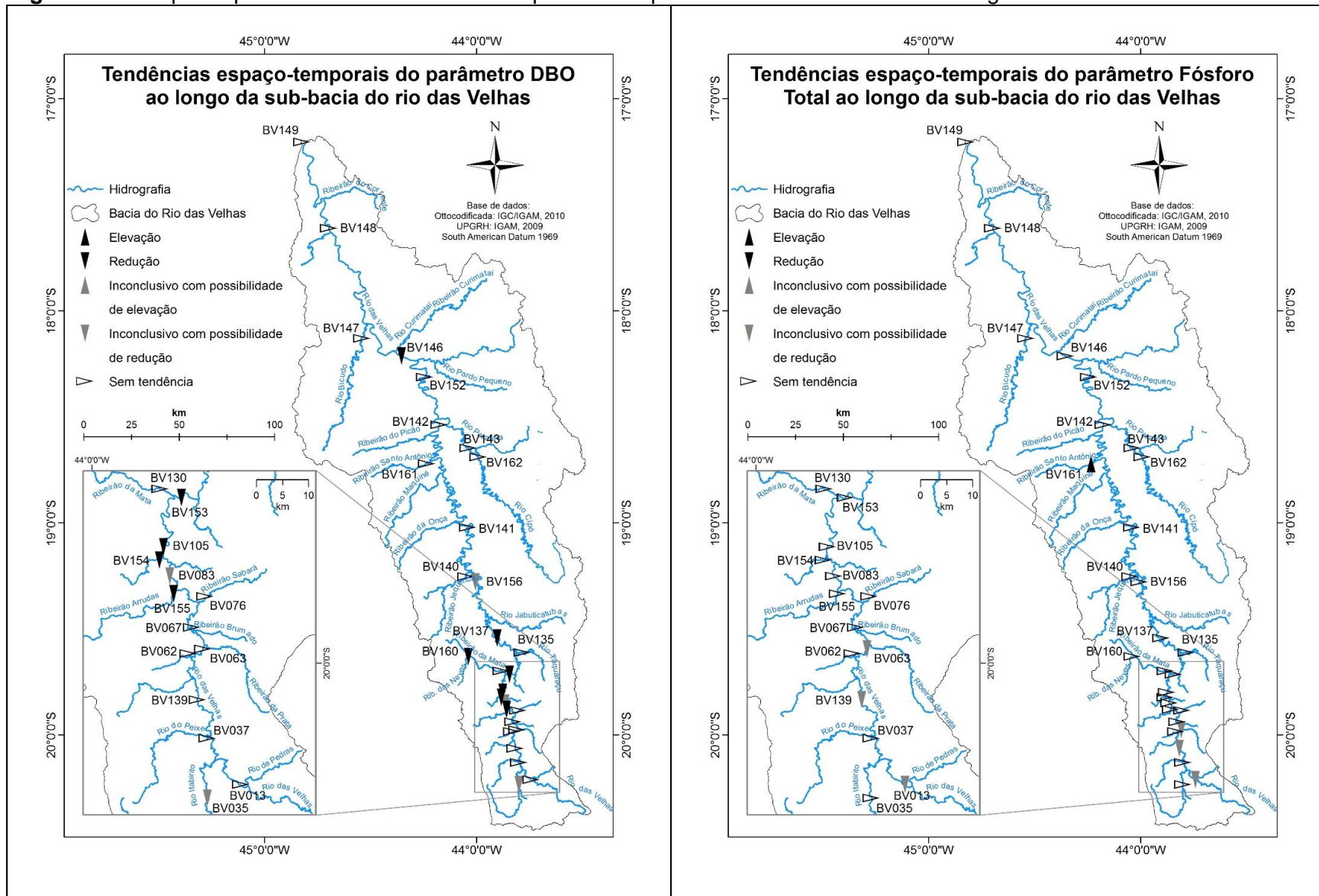
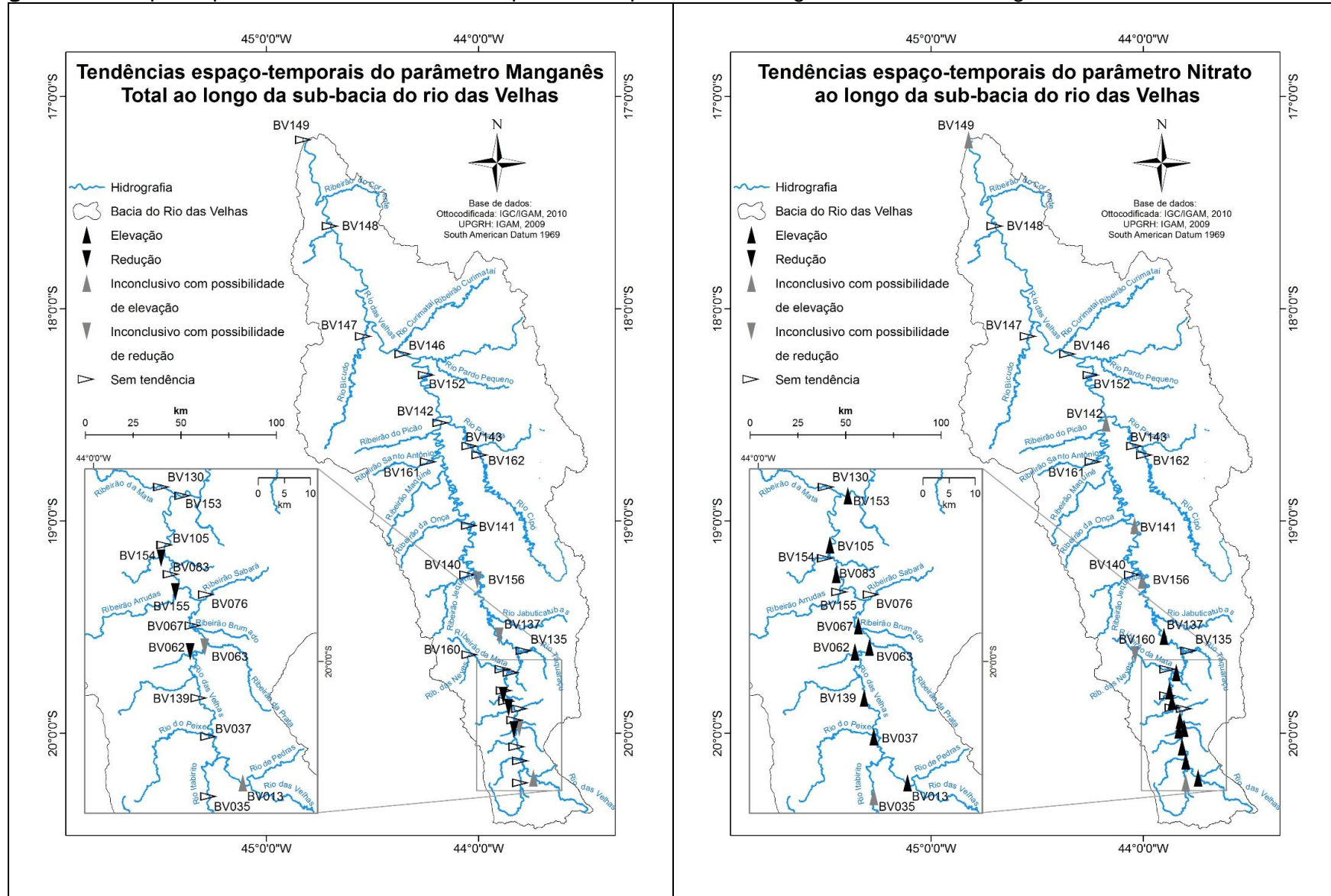
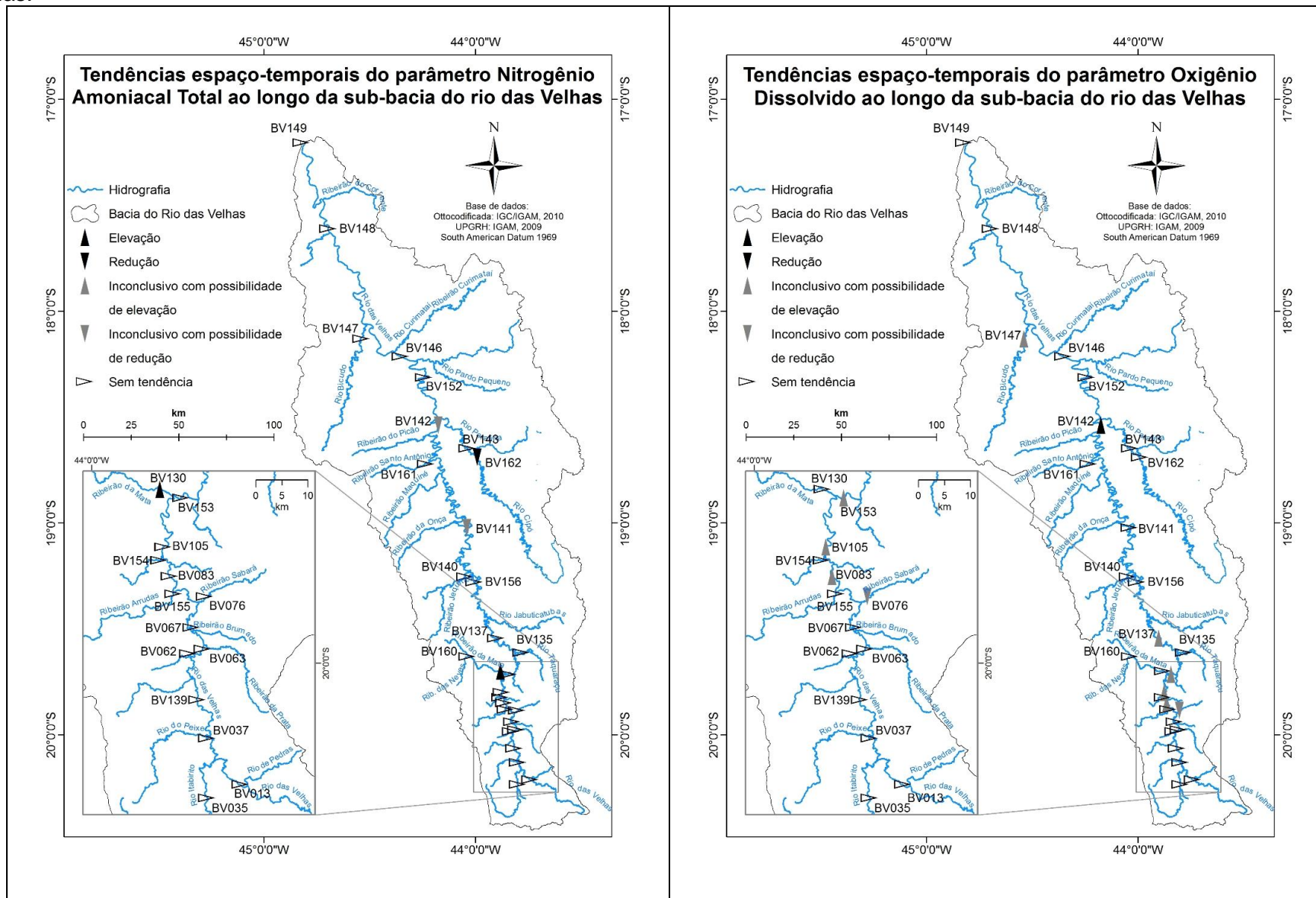


Figura 5.13. Mapas representando as tendências espaciais dos parâmetros Manganês e Nitrato ao longo da sub-bacia do rio das Velhas.

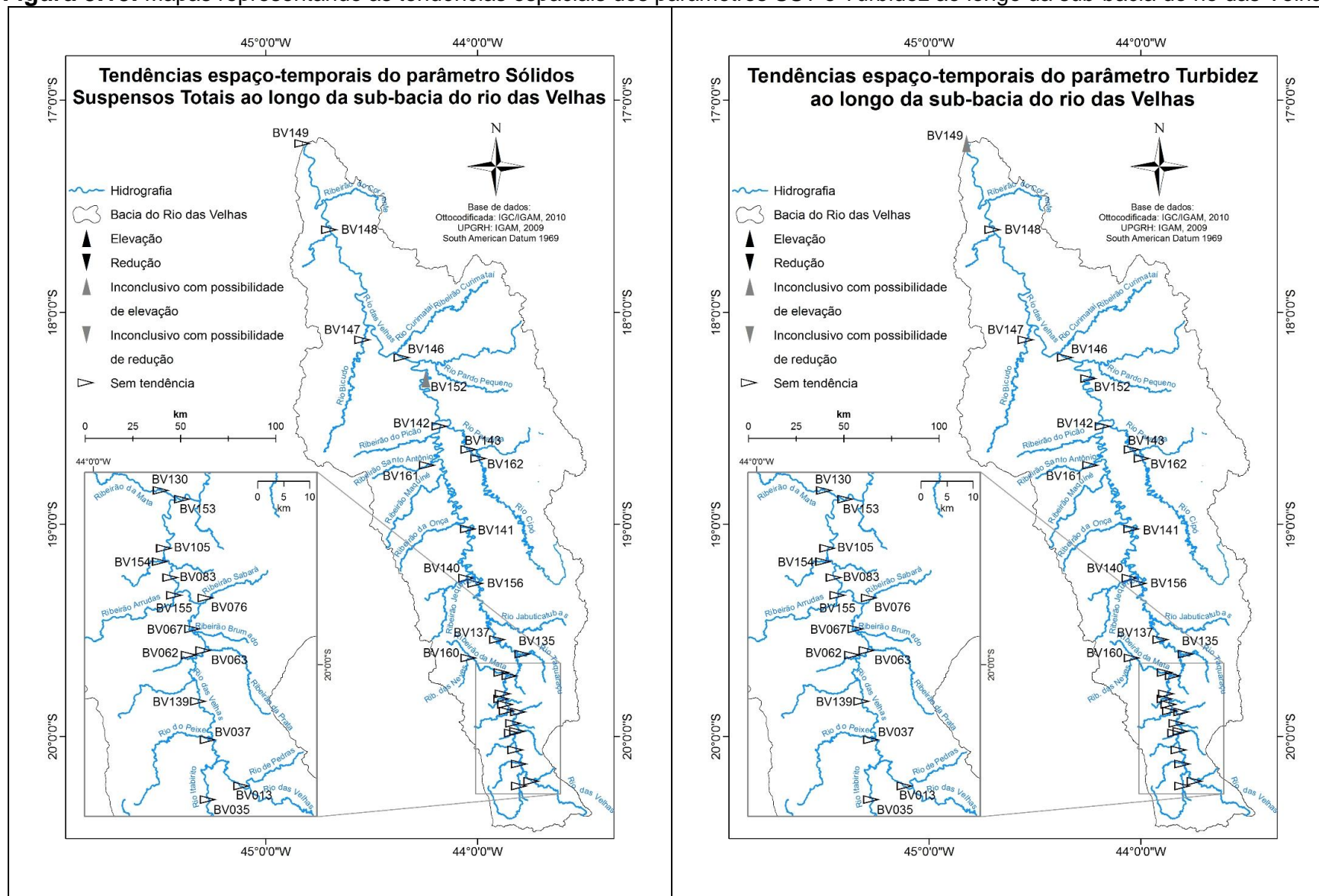




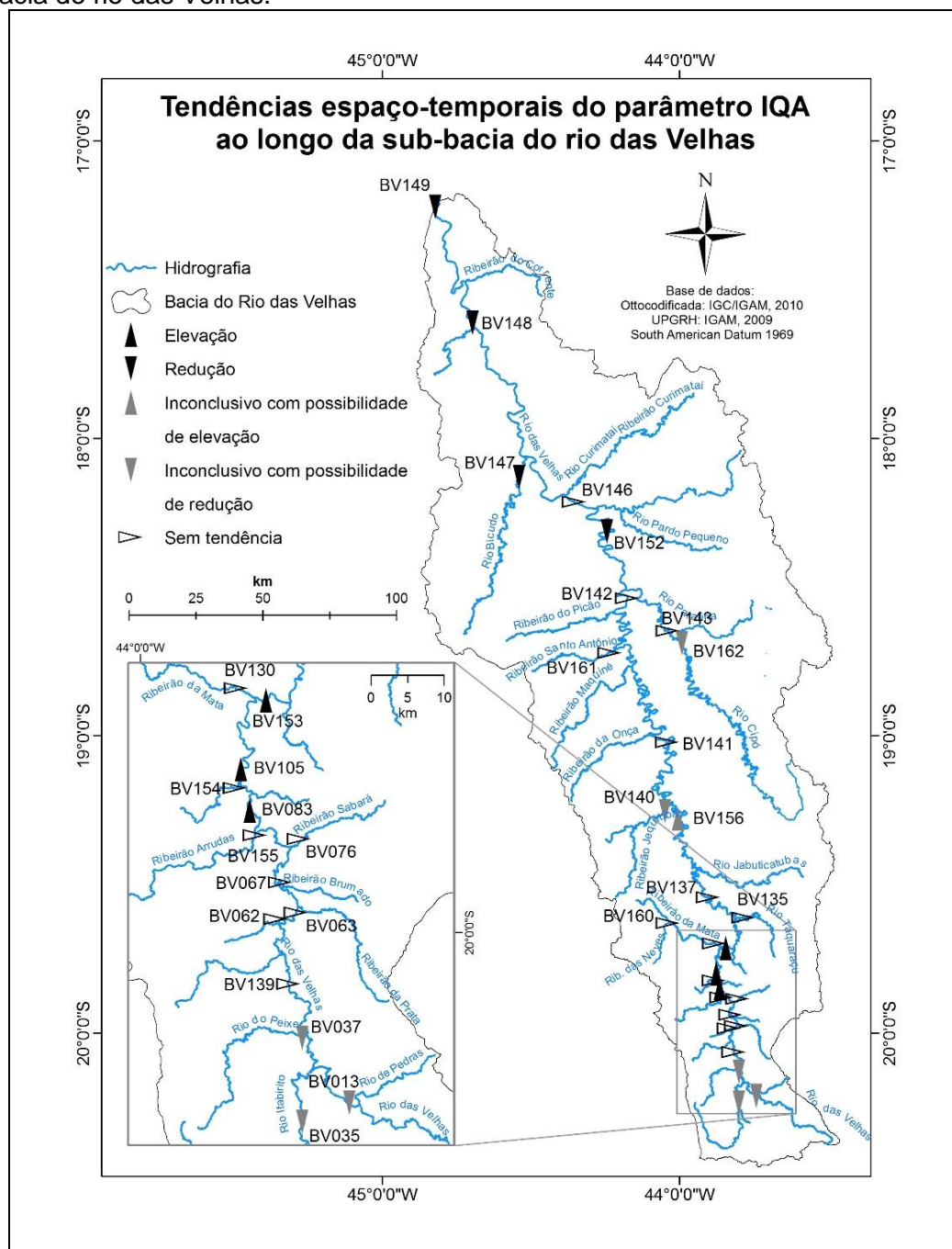
**Figura 5.14.** Mapas representando as tendências espaciais dos parâmetros Nitrogênio Amoniacal e OD ao longo da sub-bacia do rio das Velhas.



**Figura 5.15.** Mapas representando as tendências espaciais dos parâmetros SST e Turbidez ao longo da sub-bacia do rio das Velhas.



**Figura 5.16.** Mapa representando as tendências espaciais do parâmetro IQA ao longo da sub-bacia do rio das Velhas.



Pela visualização dos mapas é possível tirar algumas conclusões sobre a qualidade geral da água na UGRH SF5, a partir dos resultados individuais das estações. Primeiramente, como já mencionado anteriormente, os parâmetro SST e Turbidez não apresentaram nenhuma tendência significativa de comportamento nessa sub-bacia, assim como os parâmetros Fósforo e Nitrogênio Amoniacal só apresentaram mudanças ao longo do tempo em estações pontuais, não indicando a existência de tendência na Unidade.

O Oxigênio Dissolvido apresentou possibilidade de elevação nas estações BV083, BV105, BV153 e BV137, próximas à RMBH, fato já apontado por Jardim *et al.* (2011) como uma tendência de importância ambiental por mostrar uma recuperação da qualidade da água nesses trechos do rio das Velhas, apesar de ser uma tendência não confirmada. Houve também uma possível elevação em BV147 e uma tendência significativa em BV142, mas foram casos pontuais.

O parâmetro Manganês apresentou tendência de redução da concentração em estações localizadas nas proximidades dos maiores centros urbanos da UPGRH SF5 (BV062, BV155 e BV154), ou seja, o comportamento de mudança desse parâmetro foi concentrado em uma região da sub-bacia. As estações BV013, BV137 e BV156, localizadas no rio das Velhas mas mais afastadas da RMBH que as demais, apresentaram apenas possibilidade de tendências.

Pode-se observar que houve uma tendência de redução da DBO nas estações próximas à RMBH, com mudanças concentradas no Alto Velhas e início do Médio Velhas, principalmente nas estações localizadas logo à jusante dos Ribeirões Arrudas e Onça, podendo justificar essa redução pela presença das ETEs. Há também uma redução pontual na estação BV146, no Baixo Velhas.

Já para o Nitrato, houve tendências de elevação desse parâmetro ao longo de toda a sub-bacia, incluindo as tendências não confirmadas, com apenas uma possibilidade de redução na estação BV160. Apesar de aparentemente a elevação do Nitrato ser uma tendência da Unidade, o aumento significativo foi concentrado no Alto rio das Velhas.

O Arsênio apresentou mudanças (ou possibilidade de alterações) ao longo de toda sub-bacia, mas não há um padrão evidente, com estações apresentando elevação e outras redução das concentrações desse parâmetro. Isso pode ser explicado pela própria distribuição do Arsênio no contexto geológico e pelos diferentes processos de disponibilização desse elemento para a água superficial (BORBA, 2004).

As oito estações com tendência de elevação dos Coliformes (BV035, BV037, BV140, BV162, BV152, BV147, BV148 e BV149) compõem os Grupos 3 ou 5 da Análise de Cluster realizada para agrupar as 29 estações (Figura 5.10), caracterizados como os de poluição moderada e baixa, respectivamente. Essas estações localizam-se em pontos distintos da sub-bacia, o que mostra que o comportamento de elevação do parâmetro Coliformes não é específico de apenas uma região da Unidade SF5.

Assim como já mencionado, Coliformes Termotolerantes e IQA apresentaram comportamentos opostos nas estações que possuíram tendência significativa para os dois parâmetros. Para ambos, ocorreram mudanças quanto ao padrão de qualidade da água ao longo de toda a sub-bacia, incluindo estações da calha do rio das Velhas e seus afluentes.

Merece destaque o fato de que as oito estações com tendência de elevação para Coliformes apresentam alguns dos melhores IQAs da sub-bacia (Tabela II.11), apesar de todas apresentarem redução desse IQA (incluindo as possíveis reduções). Sendo assim, uma análise mais aprofundada das causas da elevação de Coliformes, que podem levar à redução do IQA nesses corpos d'água, deve ser realizada e ações de manejo devem ser tomadas para a recuperação da qualidade dessas águas.

No geral, os resultados indicam que a maioria dos cursos d'água da sub-bacia do rio das Velhas apresentou concentrações estáveis dos parâmetros ao longo do período estudado, com maiores alterações associadas a Coliformes, DBO, Nitrito e, conseqüentemente, IQA. Porém, assim como já mencionado, resultados negativos para a existência de tendência não provam a ausência de tendência. Pode-se apenas concluir que as evidências disponíveis não são suficientes para afirmar que existe uma tendência (HELSEL; HIRSCH, 1992).

Além disso, nesse trabalho, foram usadas as medidas de concentração dos parâmetros, e não informações sobre as cargas dos parâmetros. Mudanças das concentrações podem ocorrer devido a mudanças na vazão (JOHNSON *et al.*, 2009), sem necessariamente haver realmente uma tendência temporal ou espacial.

## **5.4 Conclusão**

O estudo das tendências temporais e espaciais dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos monitorados é de grande importância para analisar a evolução da qualidade da água em uma bacia.

A análise estatística descritiva dos dados deve ser interpretada como uma análise preliminar essencial para conhecer o banco de dados estudado e pode fornecer informações úteis para interpretações de resultados. Nesse trabalho, a partir das medianas de cada parâmetro em cada estação, foi possível agrupar os 29 pontos de monitoramento, sendo que os agrupamentos foram condizentes com os níveis de poluição (alto, moderado e baixo) apresentados pelas estações, conclusão obtida a partir da análise dos valores medianos de IQA.

Os testes capazes de verificar a existência de tendência dos parâmetros ao longo do tempo são de aplicação simples e não possuem pré-requisitos quanto à distribuição dos dados. Porém, a metodologia para o estudo das tendências deve ser elaborada levando em consideração a existência de fatores exógenos que podem influenciar o comportamento dos parâmetros, como a sazonalidade. Séries históricas completas e longas fornecem resultados mais confiáveis e facilmente visualizados pelos gráficos de séries temporais.

Os mapas também podem auxiliar na interpretação dos resultados, principalmente em relação às tendências espaciais. Nesse trabalho foi possível observar que, apesar de terem ocorrido alterações da qualidade da água ao longo dos dez anos na Unidade SF5, houve uma concentração de estações apresentando variações em relação aos 11 parâmetros estudados nas proximidades dos grandes centros urbanos, em especial entre Belo Horizonte, Contagem e Santa Luzia. Isso pode ser justificado pelo fato dessa região apresentar o maior contingente populacional da sub-bacia, com uma expressiva atividade econômica.

O aumento de Coliformes e Nitrato ao longo de toda a sub-bacia demonstra uma degradação da qualidade da água, principalmente relacionada ao lançamento de esgotos domésticos, o que merece uma atenção dos órgãos governamentais para ações de manejo. Outra importante constatação foi a piora das condições de qualidade da água no Baixo Velhas, apontada pela tendência de redução do parâmetro IQA em estações localizadas nessa região.

Vale ressaltar que o IQA apresentou tendência significativa apenas em sete das 29 estações. Apesar de essas tendências fornecerem informações importantes, percebe-se que estudar apenas a tendência do índice IQA não é suficiente para apontar elevação ou redução da qualidade da água dos cursos d'água. A análise de diferentes parâmetros em conjunto é importante e possibilita uma melhor interpretação dos resultados. Como exemplo, destaca-se como ponto negativo o aumento das concentrações de Nitrato na região do Alto Velhas, ainda que tenham sido observadas elevações de IQA nessa mesma região.

Dessa forma, o estudo das tendências temporais e espaciais da qualidade da água fornece informações essenciais para o manejo adequado dos recursos hídricos, possibilitando tomadas de decisão de acordo com as necessidades apresentadas pelas análises do comportamento da qualidade da água.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de técnicas estatísticas para avaliação da qualidade das águas superficiais é essencial para se extrair o máximo de informações possível da grande e complexa matriz de dados gerada por programas de monitoramento. Nesse trabalho, os métodos multivariados exploratórios foram fundamentais para revelar características intrínsecas de cada sub-bacia avaliada, evidenciando os principais fatores que caracterizam cada uma das UPGRHs.

Os resultados de todas as técnicas utilizadas foram congruentes e complementares, permitindo a identificação clara da sub-bacia mais impactada por ações antrópicas. Os testes estatísticos inferenciais permitiram esclarecer com mais detalhes os resultados apontados pelos métodos multivariados, uma vez que esses mostram tendências, mas não são conclusivos. O uso de medianas para possibilitar o emprego das técnicas multivariadas pode ter suprimido algumas informações importantes, mas as lacunas foram preenchidas por outras análises.

O grande volume de dados gera também um grande volume de resultados, sendo necessário um conhecimento técnico dos parâmetros físico-químicos e biológicos e da área monitorada para explicação de todas as informações. Um monitoramento bem planejado, com objetivos e metas bem definidas, auxilia nessa interpretação.

Ainda que os resultados das análises estatísticas empregadas nesse trabalho apontem características já conhecidas dos corpos d'água estudados, a utilização de técnicas criteriosas para chegar a conclusões fornece segurança para tomadas de decisão a partir do que os dados indicam, sendo de grande importância para a gestão adequada dos recursos hídricos. Vale destacar que a utilização de outro conjunto de dados, composto por parâmetros distintos dos utilizados nesse estudo, poderia gerar resultados diferentes dos encontrados.

As análises de tendências espaciais e temporais evidenciam o comportamento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos estudados ao longo de toda a sub-bacia mais impactada e apontam com clareza quais os aspectos que merecem mais atenção para a manutenção ou melhoria da qualidade da água.

## 7 RECOMENDAÇÕES

- Primeiramente, nesse trabalho, houve a necessidade de utilizar medianas dos dados para o emprego das técnicas multivariadas. O emprego da mesma metodologia usada aqui em um novo estudo, para comparar outras sub-bacias com o mesmo número de estações de monitoramento e coletas em cada uma delas, permitindo, então, o uso dos dados brutos, comprovaria a importância de utilizar essas técnicas como uma etapa exploratória dos dados para evidenciar as características intrínsecas.
- A ACP/AF foi utilizada para apontar as diferenças entre os agrupamentos obtidos pelas AC. Realizar ACP/AF para cada UPGRH individualmente, com os dados brutos, poderia indicar particularidades interessantes de cada sub-bacia.
- Realização e interpretação da Análise Discriminante, cujo resultado poderia fornecer informações importantes sobre a discriminação dos grupos estudados.
- Proposição de uma otimização da rede de monitoramento estudada a partir dos resultados das análises multivariadas, com redução de parâmetros, estações, frequências de coleta e, conseqüentemente, dos custos envolvidos.
- Realização de análises de tendências de todos os 36 parâmetros selecionados no Capítulo 4 e nas dez UPGRHs, para revelar as mudanças que estão ocorrendo em toda a bacia do rio São Francisco, indicaria se o monitoramento está sendo eficiente para identificar essas mudanças e apontaria possíveis medidas a serem tomadas para a melhoria da qualidade da água.
- Interpretação dos resultados das tendências encontradas com base em outras informações, como evolução do uso e ocupação do solo na região estudada ao longo do tempo. Mapas temáticos poderiam ser de grande utilidade para essas conclusões.
- Refazer todas as análises, avaliando os períodos seco e chuvoso separadamente, procurando investigar se os parâmetros mais relevantes na bacia diferem em razão das características hidrológicas.
- Utilização de cargas, e não de concentrações, dos parâmetros de interesse, principalmente para as análises de tendência.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. *Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012*. Brasília: ANA, 2012. 265 p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. *Portal da Qualidade das Águas*. Disponível em < [http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede\\_avaliacao.aspx](http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede_avaliacao.aspx)>. Acesso em: 01 jul. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande* (versão para discussão na CTC). 2011b. Relatório Síntese. Disponível em: < [http://www.verdegrande.cbh.gov.br/planobacia/20110225\\_PRHVerdeGrandeRelatorioSíntese.pdf](http://www.verdegrande.cbh.gov.br/planobacia/20110225_PRHVerdeGrandeRelatorioSíntese.pdf)>.

ANDRADE, E.M. de; ARAÚJO, L. de F.P.; ROSA, M.F.; DISNEY, W.; ALVES, A.B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.3, p.683-690, set./dez. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162007000400011&lng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000400011&lng=en)>.

BARBOSA, F. A. R. Programa brasileiro para conservação e manejo de águas interiores: síntese das discussões. *Acta Limnologica Brasiliensia*, Botucatu, v. 5, n. 1, p. 211-222, jun. 1994. Disponível em: <[http://www.ablimno.org.br/acta/pdf/acta\\_limnologica\\_contents5E\\_files/Art.17%20Vol%20V.pdf](http://www.ablimno.org.br/acta/pdf/acta_limnologica_contents5E_files/Art.17%20Vol%20V.pdf)>.

BOEDER, Mike; CHANG, Heejun. Multi-scale analysis of oxygen demand trends in an urbanizing Oregon watershed, USA. *Journal of Environmental Management*, v.87, p. 567-581, jan. 2008.

BORBA, Ricardo Perobelli; FIGUEIREDO, Bernardinho Ribeiro; RAWLINS, Barry; MATSCHULLAT, Jorg. Arsenic in water and sediment in the Iron Quadrangle, state of Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 30, v. 3, p. 558-561, set. 2000.

BORBA, Ricardo Perobelli; FIGUEIREDO, Bernardinho Ribeiro; CAVALCANTI, José Adilson. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, n. 57, v. 1, p. 45-51, jan. mar. 2004.

BOYACIOGLU, Hulya e BOYACIOGLU, Hayal. Investigation of Temporal Trends in Hydrochemical Quality of Surface Water in Western Turkey. *Bull Environ Contam Toxicol*, n. 80, p. 469–474, 2008.

BU, Hongmei; TAN, Xiang; LI, Siyue; ZHANG, Quanfa. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, n. 73, p. 907-913, 2010.

CAMARGOS, L. M. M. *Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas: resumo executivo*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2004.

CARLETON, Christian; DAHLGREN, Randy; TATE, Kenneth. A relational database for the monitoring and analysis of watershed hydrologic functions: I. Database design and pertinent queries. *Computers & Geosciences*, Califórnia, v. 31, p.393-402, 2005.

CHANG, Heejun. Spatial analysis of water quality trends in the Hain River basin, South Korea. *Water research*, n. 42, p. 3285-3304, 2008.

CHAPMAN, D. *Water quality assessment – A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. 2. ed. Londres: Publish on behalf of UNESCO, WHO and UNEP, 1992. 609 p.

CHRISTOFARO, Cristiano. *Avaliação probabilística de risco ecológico de metais nas águas superficiais da Bacia do rio das Velhas - MG*. 2009. 274 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

CHRISTOFARO, Cristiano; LEÃO, Mônica Maria Diniz. Caracterização temporal do arsênio nos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, MG, Brasil, ao longo de uma década (1998-2007). *Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Universidade de Taubaté, v.4, n. 3, p 54-66, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – Cetesb. *Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2011*. São Paulo: Cetesb, 2012, 356 p. Série Relatórios – Apêndice C: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade, 36 p.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n. 01, de 05 de maio de 2008*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte: COPAM, 2008.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS – CERH-MG. *Deliberação Normativa CERH-MG n. 06, de 04 de outubro de 2002*. Estabelece as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CERH, 2002.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAL – CPRM: Serviços Geológicos do Brasil. *Quadrilátero Ferrífero*. 2009. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1219&sid=9>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

DRÁPELA, K.; DRÁPELOVÁ, I. Application of Mann-Kendall test and the Sen's slope estimates for trend detection in deposition data from Bílý Kríz (Beskydy Mts., the Czech Republic) 1997-2010. *Beskydy*, Mendelova univerzita v Brne, v.4, n. 2, p. 133-146, 2011.

DIXON, W.; CHISWELL, B. Review of aquatic monitoring program design. *Wat. Res.*, v. 30, issue 9, p. 1935-1948, Sep. 1996.

EPA - UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners*. Washington, DC: Office of Environmental Information, 2006. 190 p. Quality management guidance documents – EPA QA/G-9S (Manual de gestão da qualidade). Disponível em: <<http://www.epa.gov/QUALITY/qs-docs/g9s-final.pdf>>.

ECOPLAN. *Elaboração do Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Verde Grande: Relatório de Qualidade das Águas*. 2009. Versão preliminar. Disponível em: <[http://www.verdegrande.cbh.gov.br/planobacia/20090519\\_Relatorio\\_Preliminar\\_Qualidade\\_Aguas\\_Sedimentos.pdf](http://www.verdegrande.cbh.gov.br/planobacia/20090519_Relatorio_Preliminar_Qualidade_Aguas_Sedimentos.pdf)>.

FRANÇA, Marianne Schaefer; SCAPULATEMPO, Cristovão Vicente; KAVISKI, Eloy; KNAPIK, Heloise Garcia; PORTO, Mônica Ferreira do Amaral. Análise multivariada de dados de monitoramento de qualidade de água: estudo de caso da Bacia do Alto Iguacu. In: XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, Campo Grande, MS. *Anais...* Campo Grande: ABRH, 2009.

GAMBLE, A.; BABBAR-SEBENS, M. On the use of multivariate statistical methods for combining in-stream monitoring data and spatial analysis to characterize water quality conditions in the White River Basin, Indiana, USA. *Environ Monit Assess*, apr. 2011.

- GAUTHIER, Thomas D. Detecting trends using Spearman's Rank Correlation Coefficient. *Environmental Forensics*, v. 2, p. 359-362, 2001.
- GIRÃO, E. G.; ANDRADE, E. M.; ROSA, M. F.; ARAÚJO, L. F. P.; MEIRELES, A. C. M. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibas pelo emprego da análise da componente principal. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 1, p. 17-24, 2007.
- GROPPO, Juliano Daniel. *Estudo de tendências nas series temporais de qualidade de água de rios do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenção antrópica*. 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- HAIR, Jr., Joseph F; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L; BLACK, William C. *Análise Multivariada de Dados*. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.
- HELSEL, D.R.; HIRSCH, R.M. Trend Analysis. In: HELSEL, D.R.; HIRSCH, R.M *Statistical methods in water resources*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1992. Cap. 12, p. 323-355.
- İŞÇEN, Cansu Filik; ALTIN, Arzu; ŞENOĞLU, Birdal; YAVUZ, H. Serhan. Evaluation of surface water quality characteristics by using multivariate statistical techniques: A case study of the Euphrates river basin, Turkey. *Environ Monit Assess*, n. 151, p. 259-264, 2009.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio São Francisco e seus afluentes em 2009*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010a. 287p. : mapas. Relatório anual.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais na sub-bacia do rio das Velhas em 2009*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010b. 206p. : mapas. Relatório anual.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais na sub-bacia do rio Pará em 2009*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010c. 170p. : mapas. Relatório anual.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais na sub-bacia do rio Paraopeba em 2009*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010d. 184p. : mapas. Relatório anual.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2012. 99p. Relatório trimestral – 1º trimestre de 2012.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Qualidade da Água*. Disponível em < <http://www.igam.mg.gov.br/qualidade-das-aguas>>. Acesso em: 01 jul. 2011.
- JARDIM, Bárbara Fernanda M.; MARIA, Mariana Andrada; GOMES, Lenora N. L.; OLIVEIRA, Sílvia Maria. A. C. Impacto da implantação da ETE Arrudas na qualidade da água do rio das Velhas/MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26, 2011, Porto Alegre, R. S. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. *Applied multivariate statistical analysis*. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998 *apud* FRANÇA, Marianne Schaefer; SCAPULATEMPO, Cristovão Vicente; KAVISKI, Eloy; KNAPIK, Heloise Garcia; PORTO, Mônica Ferreira do Amaral. Análise multivariada de dados de monitoramento de qualidade de água: estudo de

- caso da Bacia do Alto Iguaçu. In: XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, Campo Grande, MS. *Anais...* Campo Grande: ABRH, 2009.
- JOHNSON, Heather O.; GUPTA, Satish C.; VECCHIA, Aldo V.; ZVOMUYA, Francis. Assessment of water quality trends in the Minnesota River using non-parametric and parametric methods. *J. Environ. Qual.*, n. 38, p. 1018-1030, 2009.
- LAMPARELLI, Marta Condé. *Grau de Trofia em Corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento*. 2004. 238 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- LATTIN, James; CARROLL, J. Douglas; GREEN, Paul E. *Análise de dados multivariados*. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 455 p.
- LIU, Cheng-Wuing; LIN, Kao-Hung; KUO, Yi-Ming. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *The Science of Total Environment*, n. 313, p. 77-89, 2003.
- LEMONS, Wictor Edney Dajtenko. *Monitoramento e gestão da qualidade da água em reservatórios incorporando processos hidrodinâmicos e climáticos de regiões tropicais semiáridas*. 2011. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: < <http://www.repositorio.ufc.br:8080/ri/handle/123456789/575>>.
- MACHADO, Marcelly Ferreira. *Geodiversidade do estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CPRM, 2010. 131p. Disponível em: < [http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade\\_MG.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade_MG.pdf)>.
- MANLY, Bryan F. J. *Métodos estatísticos multivariados: uma introdução*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229 p.
- MENDIGUCHÍA, C.; MORENO, C.; GALINDO-RIANO, M.D.; GARCÍA-VARGAS, M. Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir river (Spain). *Analytica Chimica Acta*, Amsterdam, v.515, p.143-9, abr., 2004.
- NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.
- NONATO, Eliana A.; VIOLA, Zenilde G. G.; ALMEIDA, Katiane C. B.; SCHOR, Heloiza H. R. Tratamento estatístico dos parâmetros da qualidade das águas da bacia do alto curso do rio das Velhas. *Química Nova*, v. 30, n. 4, p. 797-804, Mar. 2007.
- OUYANG, Ying. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water Research*, n. 39, p. 2621-2635, 2005.
- PARK, Su-Young; CHOI, Jung Hyun; WANG, Sookyun; PARK, Seok Soon. Design of a water quality monitoring network in a large river system using the genetic algorithm. *Ecological Modelling*, v. 199, n. , p. 289-297, Jul. 2006.
- POMPEU, Paulo S; ALVES, Carlos Bernardo M; CALLISTO, Marcos. The effects of urbanization on biodiversity and water quality in the Rio das Velhas basin, Brazil. *American Fisheries Society Symposim*, n. 47, p. 11-22, 2005.
- REIMANN, Clemens; FILZMOSE, Peter; GARRETT, Robert G.; DUTTER, Rudolf. *Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R*. Chichester: Wiley, 2008. 343 p.
- RICHMAN, M. B. Rotation of principal components. *J. Climatol*, n. 6, p. 293-335, 1986 *apud* SINGH, Kunwar P.; MALIK, Amrita; MOHAN, Dinesh; SINHA, Sarita. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) – a case study. *Water Research*, n. 38, p. 3980-3992, 2004.

- SALES, José Wilker de F.; STUDART, Ticiana M.; BECKER, Helena; GOMES, Raimundo B.; SOUZA FILHO, Francisco; SOUSA, Mauro C. B. Indicadores de qualidade de água utilizando técnicas de análise multivariada. In: XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, Campo Grande, MS. *Anais...* Campo Grande: ABRH, 2009.
- SANTOS-ROMÁN, Déborah M.; WARNER, Glenn S.; SCATENA, Frederick. Multivariate analysis of water quality and physical characteristics of selected watersheds in Puerto Rico. *Journal of the American Water Resources Association*, p. 829-839, ago. 2003.
- SHABAN, M.; URBAN, B.; EL SAADI, A.; FAISAL, M. Detection and mapping of water pollution variation in the Nile Delta using multivariate clustering and GIS techniques. *Journal of Environmental Management*, n. 91, p. 1785-1793, 2010.
- SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river, Japan. *Environmental Modeling & software*, n. 22, p. 464-475, 2007.
- SIMEONOV, V.; EINAX, J.; STANIMIROVA, I.; KRAF, J.. Environmental modeling and interpretation of river water monitoring data. *Anal. Bioanal. Chem.* v.374, p.898–905, 2002.
- SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, Th. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Research*, n. 37, p. 4119-4124, 2003.
- SINGH, Kunwar P.; MALIK, Amrita; MOHAN, Dinesh; SINHA, Sarita. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) – a case study. *Water Research*, n. 38, p. 3980-3992, 2004.
- SOJKA, M.; SIEPAK, M.; ZIOLA, A.; FRANKOWSKI, M. Application of multivariate statistical techniques to evaluation of water quality in the Mala Welná River (Western Poland). *Environ Monit Assess*, n. 147, p. 159-170, 2008.
- SUNDARAY, Sanjay Kumar; PANDA, Unmesh Chandra; NAYAK, Binod Bihari; BHATTA, Dinabandhu. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of the Mahanadi river–estuarine system (India)—a case study. *Environmental Geochemistry Health*, v.28, p.317–330, 2006.
- TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.59, p.181-6, 2002.
- TRINDADE, Ana Laura C.; BARBOSA, Pedro E.; OLIVEIRA, Sílvia M. A. C. Comparação das sub-bacias do rio São Francisco utilizando dados de monitoramento de qualidade da água. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 9, 2012, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: 2012. p.4 – 1-3.
- VEGA, Marisol; PARDO, Rafael; BARRADO, Enrique; DEBAË, Luis. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, v.32, p.3581–3592, 1998.
- VIANA, Déborah Tavares. *Construção e tratamento do banco de dados de qualidade da água da UHE Nova Ponte*. 2011. 48f. Monografia (Especialização em Saneamento e Meio Ambiente) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- VICINI, Lorena. *Análise multivariada da teoria à prática*. 2005. 215 f. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- VIDAL, M.; LÓPEZ, A.; SANTOALLA, M.C.; VALLES, V. Factor analysis for the study of water resources contamination due to the use of livestock slurries as fertilizer. *Agricultural WaterManagement*, v.45, p.1-15, 2000.

- VON SPERLING, Marcos. *Princípios do Tratamento Biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto*. v. 1. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996. 243 p.
- XIE, Xudong; NORRA, Stefan; BERNER, Zsolt; STUBEN, Doris. A GIS-supported multivariate statistical analysis of relationships among streamwater chemistry, geology and land use in Baden-Wurttemberg, Germany. *Water, Air, and Soil Pollution*, n. 167, p. 39-57, 2005.
- WANG, Xiao-long; LU, Yong-long; HAN, Jing-yi; HE, Gui-zhen; WANG, Tie-yu. Identification of anthropogenic influences of water quality of rivers in Taihu watershed. *Journal of Environmental Sciences*, n. 19, p. 475-482, 2007.
- WUNDERLIN, Daniel Alberto; DÍAZ, María Del Pilar; AMÉ, María Valeria; PESCE, Silvia Fabiana; HUED, Andrea Cecilia; BISTONI, María de Los Angeles. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquía River Basin (Córdoba-Argentina). *Wat. Res.*, v. 35, n. 12, p. 2881-2894, 2001.
- YENILMEZ, Firdes; KESKIN, Fatih; AKSOY, Aysegul. Water quality trend analysis in Eymir Lake, Ankara. *Physics and Chemistry of the Earth*, n. 36, p. 135-140, 2011.
- ZHANG, Xuan; WANG, Qishan; LIU, Yanfang; WU, Jing; YU, Miao. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. *Environ Monit Assess*, n. 173, p. 17-27, 2011.
- ZHAO, Guangju; GAO, Junfeng; TIAN, Peng; TIAN, Kun; NI, Guangheng. Spatial-temporal characteristics of surface water quality in the Taihu Basin, China. *Environ Earth Sci*, jan. 2011.
- ZHOU, Feng; LIU, Yong; GUO, Huaicheng. Application of Multivariate Statistical Methods to Water Quality Assessment of the Watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong. *Environ Monit Assess*, n. 132, p. 1-13, 2007.

# APÊNDICES

## **APÊNDICE I**

Tabelas com resultados relacionados ao Capítulo 4:

**COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA IDENTIFICAÇÃO DA SUB-BACIA MAIS IMPACTADA NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO**



**Tabela I.1.** Parâmetros excluídos das análises subsequentes e as justificativas das exclusões.

Parâmetro	Critérios para exclusão		
	Percentual de dados faltantes	Correlação de Spearman <sup>1</sup>	Percentual de dados censurados <sup>2</sup>
Alcalinidade de bicarbonato		Com Alcalinidade total (R: 0,99 – 1,00), Cálcio total (R: 0,75 – 0,93) e Condutividade elétrica (R: 0,80 – 0,98)	
Alumínio total	100%		
Amônia não ionizável		Calculado a partir de Nitrogênio amoniacal total (R: 0,18 – 0,71)	
Boro dissolvido	100%		
Boro total			Varia de 96,77% a 100%
Cádmio total			Varia de 98,30 a 100%
Cianeto total	71,59%		
Cobre total	100%		
Coliformes totais		Com Coliformes termotolerantes (R: 0,71 – 0,87)	
Condutividade elétrica em laboratório	100%		
Cromo hexavalente	100%		
Cromo total			Varia de 92,29% a 100%
Cromo trivalente	100%		
Densidade de Cianobactérias	67,94%		
Dureza de Cálcio		Com Dureza total (R <sup>2</sup> : 0,82 – 0,98) e Cálcio total (R <sup>2</sup> : 0,99)	
Dureza de Magnésio		Com Dureza total (R: 0,52 – 0,87) e Magnésio total (R: 0,99)	
Estanho total	100%		
Estreptococos fecais		Com Coliformes termotolerantes. (R: 0,39 – 0,81)	
Feoftina <i>a</i>		Com Clorofila <i>a</i> (R: 0,22 – 0,44)	
Ferro total	95,34%		
Fluoreto ionizado	100%		
Mercúrio total			Varia de 99,68 a 100%
Nitrito		Com Nitrato (R: 0,24 - 0,66)	
Nitrogênio orgânico		Com Nitrogênio amoniacal total (R: 0,25 - 0,56)	

**Tabela I.1.** Parâmetros excluídos para a sequência do desenvolvimento do projeto e as justificativas das exclusões (continuação).

Parâmetro	Critérios para exclusão		
	Percentual de dados faltantes	Correlação de Spearman <sup>1</sup>	Percentual de dados censurados <sup>2</sup>
Óleos e Graxas			Varia de 87,08 a 97,50%
Ortofosfato	100%		
% ODSat		Calculado a partir do valor do Oxigênio dissolvido (R: 0,67 - 0,98)	
pH laboratório	99,45%		
Potássio total	100%		
Profundidade	100%		
Selênio total			Varia de 97,72% a 100%
Sódio total	100%		
Sólidos sedimentáveis	100%		
Sulfeto			Varia de 99,38 a 100%
Temperatura do ar		Com Temperatura da água (R: 0,43- 0,72)	
Ensaio Ecotoxicológico	79,35%		

<sup>1</sup> Apresentados apenas os R significativos estatisticamente. As correlações foram feitas para cada UPGRH separadamente, usando os dados de todas as coletas de cada uma delas, por isso a faixa de valores de R.

<sup>2</sup> Percentual de resultados abaixo do LD (limite de detecção) do parâmetro, considerando todas as coletas de 2008 a 2011, para cada UPGRH.

**Tabela I.2.** Detalhamento do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF1 (Sete estações, 36 parâmetros, 3254 observações).

Parâmetros	Número de coletas	% de dados válidos <sup>1</sup>	% de dados censurados
Alcalinidade total	64	57,14	0,00
Alumínio dissolvido	64	57,14	81,25
Arsênio total	65	58,04	96,92
Bário total	64	57,14	1,56
Cálcio total	64	57,14	0,00
Chumbo total	99	88,39	87,88
Cianeto livre	62	55,36	61,29
Cloreto total	112	100,00	18,75
Clorofila <i>a</i>	109	97,32	15,60
Cobre dissolvido	98	87,50	97,96
Coliformes termotolerantes	111	99,11	0,00
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	112	100,00	0,00
Cor verdadeira	65	58,04	9,23
Demanda Bioquímica de Oxigênio	112	100,00	92,86
Demanda Química de Oxigênio	100	89,29	27,00
Dureza total	64	57,14	0,00
Fenóis totais	112	100,00	76,79
Ferro dissolvido	73	65,18	13,70
Fósforo total	112	100,00	12,50
Magnésio total	57	50,89	3,51
Manganês total	104	92,86	0,00
Níquel total	98	87,50	85,71
Nitrato	112	100,00	5,36
Nitrogênio amoniacal total	112	100,00	75,89
Oxigênio dissolvido	112	100,00	0,00
pH <i>in loco</i>	112	100,00	0,00
Potássio dissolvido	56	50,00	0,00
Sódio dissolvido	56	50,00	0,00
Sólidos dissolvidos totais	59	52,68	0,00
Sólidos em suspensão totais	112	100,00	0,89
Sólidos totais	112	100,00	0,00
Substâncias tensoativas	104	92,86	97,12
Sulfato total	64	57,14	57,81
Temperatura da água	112	100,00	0,00
Turbidez	112	100,00	0,00
Zinco total	98	87,50	29,59

<sup>1</sup> Dados válidos de cada parâmetro em relação ao total de coletas realizadas na UPGRH SF1 (112).

**Tabela I.3.** Detalhamento do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF2 (25 estações, 36 parâmetros, 11860 parâmetros).

Parâmetros	Número de coletas	% de dados válidos <sup>1</sup>	% de dados censurados
Alcalinidade total	224	56,14	0,00
Alumínio dissolvido	224	56,14	79,91
Arsênio total	225	56,39	97,78
Bário total	224	56,14	0,00
Cálcio total	224	56,14	0,00
Chumbo total	391	97,99	90,54
Cianeto livre	239	59,90	48,54
Cloreto total	399	100,00	5,26
Clorofila <i>a</i>	393	98,50	12,72
Cobre dissolvido	368	92,23	97,55
Coliformes termotolerantes	399	100,00	11,53
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	399	100,00	0,00
Cor verdadeira	313	78,45	1,28
Demanda Bioquímica de Oxigênio	399	100,00	71,18
Demanda Química de Oxigênio	355	88,97	15,77
Dureza total	224	56,14	0,00
Fenóis totais	399	100,00	68,42
Ferro dissolvido	375	93,98	0,27
Fósforo total	399	100,00	10,78
Magnésio total	203	50,88	3,45
Manganês total	280	70,18	0,00
Níquel total	399	100,00	92,73
Nitrato	399	100,00	4,26
Nitrogênio amoniacal total	399	100,00	48,12
Oxigênio dissolvido	399	100,00	0,25
pH <i>in loco</i>	399	100,00	0,00
Potássio dissolvido	200	50,13	0,00
Sódio dissolvido	200	50,13	0,00
Sólidos dissolvidos totais	207	51,88	0,00
Sólidos em suspensão totais	399	100,00	0,75
Sólidos totais	399	100,00	0,00
Substâncias tensoativas	399	100,00	84,96
Sulfato total	224	56,14	44,64
Temperatura da água	399	100,00	0,00
Turbidez	399	100,00	0,00
Zinco total	383	95,99	55,09

<sup>1</sup> Dados válidos de cada parâmetro em relação ao total de coletas realizadas na UPGRH SF2 (399).

**Tabela I.4.** Detalhamento do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF3 (30 estações, 36 parâmetros, 13616 observações).

Parâmetros	Número de coletas	% de dados válidos <sup>1</sup>	% de dados censurados
Alcalinidade total	239	49,90	0,00
Alumínio dissolvido	239	49,90	84,52
Arsênio total	279	58,25	88,53
Bário total	256	53,44	1,17
Cálcio total	239	49,90	0,00
Chumbo total	391	81,63	83,89
Cianeto livre	206	43,01	66,02
Cloreto total	479	100,00	2,92
Clorofila <i>a</i>	466	97,29	10,52
Cobre dissolvido	319	66,60	97,49
Coliformes termotolerantes	469	97,91	8,96
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	479	100,00	0,00
Cor verdadeira	479	100,00	2,92
Demanda Bioquímica de Oxigênio	479	100,00	68,27
Demanda Química de Oxigênio	421	87,89	17,34
Dureza total	239	49,90	0,00
Fenóis totais	463	96,66	66,95
Ferro dissolvido	479	100,00	1,25
Fósforo total	479	100,00	9,81
Magnésio total	239	49,90	0,84
Manganês total	479	100,00	0,00
Níquel total	303	63,26	78,55
Nitrato	479	100,00	4,59
Nitrogênio amoniacal total	479	100,00	42,80
Oxigênio dissolvido	479	100,00	0,84
pH <i>in loco</i>	479	100,00	0,00
Potássio dissolvido	239	49,90	0,00
Sódio dissolvido	239	49,90	0,00
Sólidos dissolvidos totais	299	62,42	0,00
Sólidos em suspensão totais	479	100,00	1,25
Sólidos totais	479	100,00	0,00
Substâncias tensoativas	319	66,60	83,39
Sulfato total	239	49,90	29,29
Temperatura da água	479	100,00	0,00
Turbidez	479	100,00	0,00
Zinco total	328	68,48	46,34

<sup>1</sup> Dados válidos de cada parâmetro em relação ao total de coletas realizadas na UPGRH SF3 (479).

**Tabela I.5.** Detalhamento do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF4 (17 estações, 36 parâmetros, 7811 observações).

Parâmetros	Número de coletas	% de dados válidos <sup>1</sup>	% de dados censurados
Alcalinidade total	136	50,37	0,00
Alumínio dissolvido	136	50,37	88,97
Arsênio total	136	50,37	95,59
Bário total	136	50,37	0,00
Cálcio total	136	50,37	0,00
Chumbo total	233	86,30	83,26
Cianeto livre	126	46,67	70,63
Cloreto total	270	100,00	12,96
Clorofila <i>a</i>	251	92,96	14,74
Cobre dissolvido	228	84,44	92,98
Coliformes termotolerantes	267	98,89	7,87
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	270	100,00	0,00
Cor verdadeira	254	94,07	7,09
Demanda Bioquímica de Oxigênio	270	100,00	89,63
Demanda Química de Oxigênio	256	94,81	24,22
Dureza total	136	50,37	0,00
Fenóis totais	270	100,00	78,89
Ferro dissolvido	234	86,67	6,84
Fósforo total	270	100,00	15,93
Magnésio total	136	50,37	0,74
Manganês total	270	100,00	0,00
Níquel total	209	77,41	77,51
Nitrato	270	100,00	4,07
Nitrogênio amoniacal total	270	100,00	59,63
Oxigênio dissolvido	270	100,00	0,74
pH <i>in loco</i>	270	100,00	0,00
Potássio dissolvido	136	50,37	0,00
Sódio dissolvido	136	50,37	0,00
Sólidos dissolvidos totais	136	50,37	0,00
Sólidos em suspensão totais	270	100,00	0,37
Sólidos totais	270	100,00	0,00
Substâncias tensoativas	262	97,04	98,47
Sulfato total	136	50,37	67,65
Temperatura da água	270	100,00	0,00
Turbidez	270	100,00	0,00
Zinco total	215	79,63	47,91

<sup>1</sup> Dados válidos de cada parâmetro em relação ao total de coletas realizadas na UPGRH SF4 (270).

**Tabela I.6.** Detalhamento do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF5 (33 estações, 36 parâmetros, 16606 observações).

Parâmetros	Número de coletas	% de dados válidos <sup>1</sup>	% de dados censurados
Alcalinidade total	337	63,83	0,00
Alumínio dissolvido	288	54,55	91,32
Arsênio total	430	81,44	37,67
Bário total	285	53,98	0,35
Cálcio total	310	58,71	0,00
Chumbo total	491	92,99	75,36
Cianeto livre	223	42,23	69,51
Cloreto total	528	100,00	0,19
Clorofila <i>a</i>	524	99,24	8,40
Cobre dissolvido	478	90,53	97,49
Coliformes termotolerantes	528	100,00	15,53
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	528	100,00	0,00
Cor verdadeira	428	81,06	3,27
Demanda Bioquímica de Oxigênio	528	100,00	52,27
Demanda Química de Oxigênio	513	97,16	12,28
Dureza total	366	69,32	0,00
Fenóis totais	514	97,35	61,28
Ferro dissolvido	479	90,72	8,98
Fósforo total	528	100,00	7,95
Magnésio total	279	52,84	0,36
Manganês total	495	93,75	0,00
Níquel total	421	79,73	59,38
Nitrato	528	100,00	1,89
Nitrogênio amoniacal total	528	100,00	35,98
Oxigênio dissolvido	528	100,00	0,19
pH <i>in loco</i>	528	100,00	0,00
Potássio dissolvido	313	59,28	0,00
Sódio dissolvido	313	59,28	0,00
Sólidos dissolvidos totais	528	100,00	0,00
Sólidos em suspensão totais	528	100,00	0,95
Sólidos totais	528	100,00	0,00
Substâncias tensoativas	438	82,95	76,26
Sulfato total	322	60,98	20,19
Temperatura da água	528	100,00	0,00
Turbidez	528	100,00	0,00
Zinco total	467	88,45	25,70

<sup>1</sup> Dados válidos de cada parâmetro em relação ao total de coletas realizadas na UPGRH SF5 (528).

**Tabela I.7.** Detalhamento do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF6 (quatro estações, 36 parâmetros, 1903 observações).

Parâmetros	Número de coletas	% de dados válidos <sup>1</sup>	% de dados censurados
Alcalinidade total	40	62,50	0,00
Alumínio dissolvido	40	62,50	87,50
Arsênio total	40	62,50	62,50
Bário total	40	62,50	0,00
Cálcio total	40	62,50	0,00
Chumbo total	56	87,50	82,14
Cianeto livre	35	54,69	80,00
Cloreto total	64	100,00	0,00
Clorofila <i>a</i>	64	100,00	18,75
Cobre dissolvido	56	87,50	87,50
Coliformes termotolerantes	56	87,50	7,14
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	64	100,00	0,00
Cor verdadeira	56	87,50	10,71
Demanda Bioquímica de Oxigênio	64	100,00	93,75
Demanda Química de Oxigênio	60	93,75	11,67
Dureza total	40	62,50	0,00
Fenóis totais	56	87,50	80,36
Ferro dissolvido	56	87,50	23,21
Fósforo total	64	100,00	18,75
Magnésio total	32	50,00	0,00
Manganês total	64	100,00	0,00
Níquel total	53	82,81	66,04
Nitrato	64	100,00	3,13
Nitrogênio amoniacal total	64	100,00	53,13
Oxigênio dissolvido	64	100,00	0,00
pH <i>in loco</i>	64	100,00	0,00
Potássio dissolvido	32	50,00	0,00
Sódio dissolvido	32	50,00	0,00
Sólidos dissolvidos totais	38	59,38	0,00
Sólidos em suspensão totais	64	100,00	0,00
Sólidos totais	64	100,00	0,00
Substâncias tensoativas	56	87,50	100,00
Sulfato total	40	62,50	32,50
Temperatura da água	64	100,00	0,00
Turbidez	64	100,00	0,00
Zinco total	53	82,81	18,87

<sup>1</sup> Dados válidos de cada parâmetro em relação ao total de coletas realizadas na UPGRH SF6 (64).



**Tabela I.8.** Detalhamento do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF7 (oito estações, 36 parâmetros, 3600 observações).

Parâmetros	Número de coletas	% de dados válidos <sup>1</sup>	% de dados censurados
Alcalinidade total	72	56,25	0,00
Alumínio dissolvido	72	56,25	77,78
Arsênio total	80	62,50	68,75
Bário total	80	62,50	0,00
Cálcio total	72	56,25	0,00
Chumbo total	75	58,59	82,67
Cianeto livre	58	45,31	77,59
Cloreto total	128	100,00	10,94
Clorofila <i>a</i>	115	89,84	7,83
Cobre dissolvido	75	58,59	89,33
Coliformes termotolerantes	123	96,09	2,44
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	128	100,00	0,00
Cor verdadeira	104	81,25	7,69
Demanda Bioquímica de Oxigênio	128	100,00	93,75
Demanda Química de Oxigênio	116	90,63	24,14
Dureza total	72	56,25	0,00
Fenóis totais	120	93,75	76,67
Ferro dissolvido	93	72,66	5,38
Fósforo total	128	100,00	12,50
Magnésio total	64	50,00	3,13
Manganês total	125	97,66	0,00
Níquel total	90	70,31	73,33
Nitrato	128	100,00	9,38
Nitrogênio amoniacal total	128	100,00	75,78
Oxigênio dissolvido	128	100,00	0,00
pH <i>in loco</i>	128	100,00	0,00
Potássio dissolvido	64	50,00	0,00
Sódio dissolvido	64	50,00	0,00
Sólidos dissolvidos totais	74	57,81	0,00
Sólidos em suspensão totais	128	100,00	1,56
Sólidos totais	128	100,00	0,00
Substâncias tensoativas	104	81,25	99,04
Sulfato total	72	56,25	55,56
Temperatura da água	128	100,00	0,00
Turbidez	128	100,00	0,00
Zinco total	80	62,50	32,50

<sup>1</sup> Dados válidos de cada parâmetro em relação ao total de coletas realizadas na UPGRH SF7 (128).

**Tabela I.9.** Detalhamento do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF8 (12 estações, 36 parâmetros, 5332 observações).

Parâmetros	Número de coletas	% de dados válidos <sup>1</sup>	% de dados censurados
Alcalinidade total	110	57,89	0,00
Alumínio dissolvido	110	57,89	89,09
Arsênio total	125	65,79	88,80
Bário total	110	57,89	1,82
Cálcio total	110	57,89	0,00
Chumbo total	116	61,05	83,62
Cianeto livre	69	36,32	72,46
Cloreto total	190	100,00	35,26
Clorofila <i>a</i>	179	94,21	17,88
Cobre dissolvido	115	60,53	88,70
Coliformes termotolerantes	188	98,95	4,26
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	190	100,00	0,00
Cor verdadeira	142	74,74	4,23
Demanda Bioquímica de Oxigênio	190	100,00	88,95
Demanda Química de Oxigênio	182	95,79	19,78
Dureza total	110	57,89	0,00
Fenóis totais	183	96,32	72,13
Ferro dissolvido	110	57,89	3,64
Fósforo total	190	100,00	17,89
Magnésio total	95	50,00	2,11
Manganês total	166	87,37	0,00
Níquel total	115	60,53	70,43
Nitrato	190	100,00	14,21
Nitrogênio amoniacal total	190	100,00	70,00
Oxigênio dissolvido	190	100,00	0,00
pH <i>in loco</i>	190	100,00	0,00
Potássio dissolvido	95	50,00	0,00
Sódio dissolvido	95	50,00	0,00
Sólidos dissolvidos totais	163	85,79	0,00
Sólidos em suspensão totais	190	100,00	1,05
Sólidos totais	190	100,00	0,00
Substâncias tensoativas	143	75,26	98,60
Sulfato total	111	58,42	66,67
Temperatura da água	190	100,00	0,00
Turbidez	190	100,00	0,00
Zinco total	110	57,89	36,36

<sup>1</sup> Dados válidos de cada parâmetro em relação ao total de coletas realizadas na UPGRH SF8 (190).

**Tabela I.10.** Detalhamento do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF9 (sete estações, 36 parâmetros, 3057 observações).

Parâmetros	Número de coletas	% de dados válidos <sup>1</sup>	% de dados censurados
Alcalinidade total	68	63,55	0,00
Alumínio dissolvido	68	63,55	94,12
Arsênio total	69	64,49	56,52
Bário total	68	63,55	0,00
Cálcio total	68	63,55	0,00
Chumbo total	77	71,96	87,01
Cianeto livre	48	44,86	70,83
Cloreto total	107	100,00	6,54
Clorofila <i>a</i>	105	98,13	18,10
Cobre dissolvido	76	71,03	92,11
Coliformes termotolerantes	107	100,00	3,74
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	107	100,00	0,00
Cor verdadeira	77	71,96	5,19
Demanda Bioquímica de Oxigênio	107	100,00	96,26
Demanda Química de Oxigênio	101	94,39	6,93
Dureza total	68	63,55	0,00
Fenóis totais	77	71,96	77,92
Ferro dissolvido	68	63,55	19,12
Fósforo total	107	100,00	18,69
Magnésio total	52	48,60	1,92
Manganês total	107	100,00	0,00
Níquel total	68	63,55	70,59
Nitrato	107	100,00	9,35
Nitrogênio amoniacal total	107	100,00	81,31
Oxigênio dissolvido	107	100,00	0,00
pH <i>in loco</i>	107	100,00	0,00
Potássio dissolvido	52	48,60	0,00
Sódio dissolvido	52	48,60	0,00
Sólidos dissolvidos totais	64	59,81	0,00
Sólidos em suspensão totais	107	100,00	0,00
Sólidos totais	107	100,00	0,00
Substâncias tensoativas	92	85,98	98,91
Sulfato total	68	63,55	45,59
Temperatura da água	107	100,00	0,00
Turbidez	107	100,00	0,00
Zinco total	73	68,22	30,14

<sup>1</sup> Dados válidos de cada parâmetro em relação ao total de coletas realizadas na UPGRH SF9 (107).

**Tabela I.11.** Detalhamento do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF10 (sete estações, 36 parâmetros, 2905 observações).

Parâmetros	Número de coletas	% de dados válidos <sup>1</sup>	% de dados censurados
Alcalinidade total	52	49,06	0,00
Alumínio dissolvido	52	49,06	82,69
Arsênio total	53	50,00	96,23
Bário total	52	49,06	0,00
Cálcio total	52	49,06	0,00
Chumbo total	57	53,77	91,23
Cianeto livre	45	42,45	55,56
Cloreto total	106	100,00	0,00
Clorofila <i>a</i>	101	95,28	2,97
Cobre dissolvido	67	63,21	79,10
Coliformes termotolerantes	106	100,00	5,66
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	106	100,00	0,00
Cor verdadeira	60	56,60	0,00
Demanda Bioquímica de Oxigênio	106	100,00	67,92
Demanda Química de Oxigênio	93	87,74	2,15
Dureza total	52	49,06	0,00
Fenóis totais	106	100,00	58,49
Ferro dissolvido	83	78,30	22,89
Fósforo total	106	100,00	7,55
Magnésio total	52	49,06	0,00
Manganês total	106	100,00	0,94
Níquel total	74	69,81	77,03
Nitrato	106	100,00	9,43
Nitrogênio amoniacal total	106	100,00	38,68
Oxigênio dissolvido	106	100,00	0,94
pH <i>in loco</i>	106	100,00	0,00
Potássio dissolvido	52	49,06	0,00
Sódio dissolvido	52	49,06	0,00
Sólidos dissolvidos totais	59	55,66	0,00
Sólidos em suspensão totais	106	100,00	1,89
Sólidos totais	106	100,00	0,00
Substâncias tensoativas	91	85,85	83,52
Sulfato total	52	49,06	19,23
Temperatura da água	106	100,00	0,00
Turbidez	106	100,00	0,00
Zinco total	64	60,38	15,63

<sup>1</sup> Dados válidos de cada parâmetro em relação ao total de coletas realizadas na UPGRH SF10 (106).

**Tabela I.12.** Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05, para os parâmetros da UPGRH SF1.

Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value
Alcalinidade total	0,0000	Cor verdadeira	0,0000	Oxigênio dissolvido	0,0000
Alumínio dissolvido	0,0000	Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,0000	pH <i>in loco</i>	0,0012
Arsênio total	0,0000	Demanda Química de Oxigênio	0,0000	Potássio dissolvido	0,00001
Bário total	0,0015	Dureza total	0,0000	Sódio dissolvido	0,0000
Cálcio total	0,0000	Fenóis totais	0,0000	Sólidos dissolvidos totais	0,0000
Chumbo total	0,0000	Ferro dissolvido	0,0000	Sólidos em suspensão totais	0,0000
Cianeto livre	0,0000	Fósforo total	0,0000	Sólidos totais	0,0000
Cloreto total	0,0000	Magnésio total	0,0000	Substâncias tensoativas	0,0000
Clorofila <i>a</i>	0,0000	Manganês total	0,0000	Sulfato total	0,0000
Cobre dissolvido	0,0000	Níquel total	0,0000	Temperatura da água	<u>0,5246</u>
Coliformes termotolerantes	0,0000	Nitrato	0,0000	Turbidez	0,0000
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	0,0000	Nitrogênio amoniacal total	0,0000	Zinco total	0,0000

\* Valores sublinhados apontam dados com distribuição Normal ( $p > 0,05$ )

**Tabela I.13.** Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05, para os parâmetros da UPGRH SF2.

Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value
Alcalinidade total	0,0000	Cor verdadeira	0,0000	Oxigênio dissolvido	0,0000
Alumínio dissolvido	0,0000	Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,0000	pH <i>in loco</i>	0,00002
Arsênio total	0,0000	Demanda Química de Oxigênio	0,0000	Potássio dissolvido	0,0000
Bário total	0,0000	Dureza total	0,0000	Sódio dissolvido	0,0000
Cálcio total	0,0000	Fenóis totais	0,0000	Sólidos dissolvidos totais	0,0000
Chumbo total	0,0000	Ferro dissolvido	0,0000	Sólidos em suspensão totais	0,0000
Cianeto livre	0,0000	Fósforo total	0,0000	Sólidos totais	0,0000
Cloreto total	0,0000	Magnésio total	0,0000	Substâncias tensoativas	0,0000
Clorofila <i>a</i>	0,0000	Manganês total	0,0000	Sulfato total	0,0000
Cobre dissolvido	0,0000	Níquel total	0,0000	Temperatura da água	<u>0,3559</u>
Coliformes termotolerantes	0,0000	Nitrato	0,0000	Turbidez	0,0000
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	0,0000	Nitrogênio amoniacal total	0,0000	Zinco total	0,0000

\* Valores sublinhados apontam dados com distribuição Normal ( $p > 0,05$ )

**Tabela I.14.** Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05, para os parâmetros da UPGRH SF3.

Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value
Alcalinidade total	0,0000	Cor verdadeira	0,0000	Oxigênio dissolvido	0,0000
Alumínio dissolvido	0,0000	Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,0000	pH <i>in loco</i>	0,0000
Arsênio total	0,0000	Demanda Química de Oxigênio	0,0000	Potássio dissolvido	0,0000
Bário total	0,0000	Dureza total	0,0000	Sódio dissolvido	0,0000
Cálcio total	0,0000	Fenóis totais	0,0000	Sólidos dissolvidos totais	0,0000
Chumbo total	0,0000	Ferro dissolvido	0,0000	Sólidos em suspensão totais	0,0000
Cianeto livre	0,0000	Fósforo total	0,0000	Sólidos totais	0,0000
Cloreto total	0,0000	Magnésio total	0,0000	Substâncias tensoativas	0,0000
Clorofila <i>a</i>	0,0000	Manganês total	0,0000	Sulfato total	0,0000
Cobre dissolvido	0,0000	Níquel total	0,0000	Temperatura da água	<u>0,5646</u>
Coliformes termotolerantes	0,0000	Nitrato	0,0000	Turbidez	0,0000
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	0,0000	Nitrogênio amoniacal total	0,0000	Zinco total	0,0000

\* Valores sublinhados apontam dados com distribuição Normal ( $p > 0,05$ )

**Tabela I.15.** Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05, para os parâmetros da UPGRH SF4.

Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value
Alcalinidade total	<u>0,0652</u>	Cor verdadeira	0,0000	Oxigênio dissolvido	0,0000
Alumínio dissolvido	0,0000	Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,0000	pH <i>in loco</i>	0,0116
Arsênio total	0,0000	Demanda Química de Oxigênio	0,0000	Potássio dissolvido	0,0064
Bário total	0,0000	Dureza total	<u>0,2193</u>	Sódio dissolvido	0,00001
Cálcio total	0,0054	Fenóis totais	0,0000	Sólidos dissolvidos totais	0,00005
Chumbo total	0,0000	Ferro dissolvido	0,0000	Sólidos em suspensão totais	0,0000
Cianeto livre	0,0000	Fósforo total	0,0000	Sólidos totais	0,0000
Cloreto total	0,0000	Magnésio total	0,0000	Substâncias tensoativas	0,0000
Clorofila <i>a</i>	0,0000	Manganês total	0,0000	Sulfato total	0,0000
Cobre dissolvido	0,0000	Níquel total	0,0000	Temperatura da água	<u>0,8947</u>
Coliformes termotolerantes	0,0000	Nitrato	0,0000	Turbidez	0,0000
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	0,0003	Nitrogênio amoniacal total	0,0000	Zinco total	0,0000

\* Valores sublinhados apontam dados com distribuição Normal ( $p > 0,05$ )

**Tabela I.16.** Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05, para os parâmetros da UPGRH SF5.

Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value
Alcalinidade total	0,0000	Cor verdadeira	0,0000	Oxigênio dissolvido	0,0000
Alumínio dissolvido	0,0000	Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,0000	pH <i>in loco</i>	0,0000
Arsênio total	0,0000	Demanda Química de Oxigênio	0,0000	Potássio dissolvido	0,0000
Bário total	0,0000	Dureza total	0,0000	Sódio dissolvido	0,0000
Cálcio total	0,0000	Fenóis totais	0,0000	Sólidos dissolvidos totais	0,0000
Chumbo total	0,0000	Ferro dissolvido	0,0000	Sólidos em suspensão totais	0,0000
Cianeto livre	0,0000	Fósforo total	0,0000	Sólidos totais	0,0000
Cloreto total	0,0000	Magnésio total	0,0000	Substâncias tensoativas	0,0000
Clorofila <i>a</i>	0,0000	Manganês total	0,0000	Sulfato total	0,0000
Cobre dissolvido	0,0000	Níquel total	0,0000	Temperatura da água	0,0003
Coliformes termotolerantes	0,0000	Nitrato	0,0000	Turbidez	0,0000
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	0,0000	Nitrogênio amoniacal total	0,0000	Zinco total	0,0000

\* Valores sublinhados apontam dados com distribuição Normal ( $p > 0,05$ )

**Tabela I.17.** Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05, para os parâmetros da UPGRH SF6.

Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value
Alcalinidade total	0,0000	Cor verdadeira	0,0000	Oxigênio dissolvido	<u>0,1610</u>
Alumínio dissolvido	0,0000	Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,0000	pH <i>in loco</i>	<u>0,7921</u>
Arsênio total	0,0000	Demanda Química de Oxigênio	0,0000	Potássio dissolvido	0,00004
Bário total	0,00001	Dureza total	0,0000	Sódio dissolvido	0,0271
Cálcio total	0,0000	Fenóis totais	0,0000	Sólidos dissolvidos totais	0,0003
Chumbo total	0,0000	Ferro dissolvido	0,0000	Sólidos em suspensão totais	0,0000
Cianeto livre	0,0000	Fósforo total	0,0000	Sólidos totais	0,0000
Cloreto total	0,0000	Magnésio total	0,00001	Substâncias tensoativas	0,0000
Clorofila <i>a</i>	0,0000	Manganês total	0,0000	Sulfato total	0,0092
Cobre dissolvido	0,0000	Níquel total	0,0000	Temperatura da água	<u>0,7221</u>
Coliformes termotolerantes	0,0000	Nitrato	0,0000	Turbidez	0,0000
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	0,0000	Nitrogênio amoniacal total	0,0000	Zinco total	0,0000

\* Valores sublinhados apontam dados com distribuição Normal ( $p > 0,05$ )

**Tabela I.18.** Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05, para os parâmetros da UPGRH SF7.

Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value
Alcalinidade total	0,0028	Cor verdadeira	0,0000	Oxigênio dissolvido	<u>0,2529</u>
Alumínio dissolvido	0,0000	Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,0000	pH <i>in loco</i>	<u>0,2211</u>
Arsênio total	0,0000	Demanda Química de Oxigênio	0,0000	Potássio dissolvido	<u>0,9017</u>
Bário total	0,0000	Dureza total	0,0005	Sódio dissolvido	0,0000
Cálcio total	0,0033	Fenóis totais	0,0000	Sólidos dissolvidos totais	<u>0,2430</u>
Chumbo total	0,0000	Ferro dissolvido	0,0000	Sólidos em suspensão totais	0,0000
Cianeto livre	0,0000	Fósforo total	0,0000	Sólidos totais	0,0000
Cloreto total	0,0000	Magnésio total	0,0000	Substâncias tensoativas	0,0000
Clorofila <i>a</i>	0,0000	Manganês total	0,0000	Sulfato total	0,0000
Cobre dissolvido	0,0000	Níquel total	0,0000	Temperatura da água	<u>0,1287</u>
Coliformes termotolerantes	0,0000	Nitrato	0,0000	Turbidez	0,0000
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	0,0000	Nitrogênio amoniacal total	0,0000	Zinco total	0,0000

\* Valores sublinhados apontam dados com distribuição Normal ( $p > 0,05$ )

**Tabela I.19.** Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05, para os parâmetros da UPGRH SF8.

Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value
Alcalinidade total	0,0000	Cor verdadeira	0,0000	Oxigênio dissolvido	<u>0,2982</u>
Alumínio dissolvido	0,0000	Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,0000	pH <i>in loco</i>	0,0244
Arsênio total	0,0000	Demanda Química de Oxigênio	0,0000	Potássio dissolvido	0,0004
Bário total	0,0000	Dureza total	0,0000	Sódio dissolvido	0,0000
Cálcio total	0,0000	Fenóis totais	0,0000	Sólidos dissolvidos totais	0,0000
Chumbo total	0,0000	Ferro dissolvido	0,0000	Sólidos em suspensão totais	0,0000
Cianeto livre	0,0000	Fósforo total	0,0000	Sólidos totais	0,0000
Cloreto total	0,0000	Magnésio total	0,0000	Substâncias tensoativas	0,0000
Clorofila <i>a</i>	0,0000	Manganês total	0,0000	Sulfato total	0,0000
Cobre dissolvido	0,0000	Níquel total	0,0000	Temperatura da água	0,0268
Coliformes termotolerantes	0,0000	Nitrato	0,0000	Turbidez	0,0000
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	0,0000	Nitrogênio amoniacal total	0,0000	Zinco total	0,0000

\* Valores sublinhados apontam dados com distribuição Normal ( $p > 0,05$ )



**Tabela I.20.** Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05, para os parâmetros da UPGRH SF9.

Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value
Alcalinidade total	<u>0,1494</u>	Cor verdadeira	0,0000	Oxigênio dissolvido	<u>0,1786</u>
Alumínio dissolvido	0,0000	Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,0000	pH <i>in loco</i>	0,0000
Arsênio total	0,0000	Demanda Química de Oxigênio	0,00003	Potássio dissolvido	<u>0,2833</u>
Bário total	0,0000	Dureza total	0,0000	Sódio dissolvido	0,0014
Cálcio total	0,0000	Fenóis totais	0,0000	Sólidos dissolvidos totais	0,0182
Chumbo total	0,0000	Ferro dissolvido	0,0000	Sólidos em suspensão totais	0,0000
Cianeto livre	0,0000	Fósforo total	0,0000	Sólidos totais	0,0000
Cloreto total	0,0007	Magnésio total	<u>0,5276</u>	Substâncias tensoativas	0,0000
Clorofila <i>a</i>	0,0000	Manganês total	0,0000	Sulfato total	0,0000
Cobre dissolvido	0,0000	Níquel total	0,0000	Temperatura da água	<u>0,1343</u>
Coliformes termotolerantes	0,0000	Nitrato	0,0000	Turbidez	0,0000
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	<u>0,0749</u>	Nitrogênio amoniacal total	0,0000	Zinco total	0,0000

\* Valores sublinhados apontam dados com distribuição Normal ( $p > 0,05$ )

**Tabela I.21.** Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05, para os parâmetros da UPGRH SF10.

Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value	Parâmetro	p-value
Alcalinidade total	0,00009	Cor verdadeira	0,0000	Oxigênio dissolvido	0,0039
Alumínio dissolvido	0,0000	Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,0000	pH <i>in loco</i>	0,0005
Arsênio total	0,0000	Demanda Química de Oxigênio	0,0000	Potássio dissolvido	0,0000
Bário total	0,0000	Dureza total	<u>0,0683</u>	Sódio dissolvido	0,0000
Cálcio total	0,0331	Fenóis totais	0,0000	Sólidos dissolvidos totais	0,00001
Chumbo total	0,0000	Ferro dissolvido	0,0000	Sólidos em suspensão totais	0,0000
Cianeto livre	0,0000	Fósforo total	0,0000	Sólidos totais	0,0008
Cloreto total	0,0000	Magnésio total	0,0005	Substâncias tensoativas	0,0000
Clorofila <i>a</i>	0,0000	Manganês total	0,0000	Sulfato total	0,0005
Cobre dissolvido	0,0000	Níquel total	0,0000	Temperatura da água	0,0073
Coliformes termotolerantes	0,0000	Nitrato	0,0000	Turbidez	0,0000
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	0,0000	Nitrogênio amoniacal total	0,0000	Zinco total	0,0000

\* Valores sublinhados apontam dados com distribuição Normal ( $p > 0,05$ )

**Tabela I.22.** Estatística Descritiva do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF1 (sete estações, 112 coletas, 36 parâmetros, 3254 observações).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Média geométrica	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de Assimetria	Coefficiente de Curtose
Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	59,43	61,30	40,17	9,43	33,08	38,40	54,15	203,60	2,02	2,77
Alumínio dissolvido (mg/L Al)	0,147	0,156	0,120	0,100	0,100	0,100	0,100	0,161	4,00	17,24
Arsênio total (mg/L As)	0,0004	0,0005	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	7,19	53,85
Bário total (mg/L Ba)	0,0446	0,0263	0,0364	0,0164	0,0238	0,0352	0,0629	0,0816	0,52	-0,76
Cálcio total (mg/L Ca)	18,49	21,39	11,74	2,98	8,75	10,95	14,70	61,78	2,18	3,48
Chumbo total (mg/L Pb)	0,0057	0,0026	0,0054	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0065	5,51	35,93
Cianeto livre (mg/L CN)	0,007	0,003	0,006	0,002	0,004	0,010	0,010	0,010	-0,63	-1,49
Cloreto total (mg/L Cl)	1,41	1,45	0,96	0,30	0,50	0,89	1,76	2,83	2,44	7,17
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	5,731	9,009	1,397	0,006	1,250	2,400	6,473	15,382	3,28	12,61
Cobre dissolvido (mg/L Cu)	0,0040	0,0001	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	6,89	46,42
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	5209	16380	926	80	210	900	3000	13000	7,97	73,76
Condutividade elétrica <i>in loco</i> (µmho/cm)	116,76	117,35	76,86	16,30	60,20	72,85	122,75	369,70	1,71	1,53
Cor verdadeira (mg/L Pt)	75,6	127,6	33,1	10,0	12,0	28,0	63,0	167,6	3,12	10,08
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	2,1	0,4	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	5,44	31,68
Demanda Química de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	11,0	7,2	9,2	5,0	5,0	7,9	14,0	22,0	1,43	1,58
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	56,50	62,58	37,28	10,54	27,75	34,75	45,03	193,40	2,09	3,02
Fenóis totais (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	4,31	29,41
Ferro dissolvido (mg/L Fe)	0,197	0,327	0,113	0,030	0,068	0,100	0,175	0,388	4,50	23,82
Fósforo total (mg/L P)	0,05	0,05	0,04	0,01	0,02	0,03	0,06	0,11	1,90	3,82
Magnésio total (mg/L Mg)	2,61	3,34	1,61	0,52	0,70	1,90	2,50	5,56	3,76	17,78
Manganês total (mg/L Mn)	0,0920	0,0761	0,0666	0,0263	0,0368	0,0679	0,1121	0,1960	1,55	2,16
Níquel total (mg/L Ni)	0,0050	0,0044	0,0045	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0060	7,48	64,09
Nitrato (mg/L N)	0,26	0,36	0,14	0,05	0,08	0,12	0,26	0,62	3,46	14,87
Nitrogênio amoniacal total (mg/L Ni)	0,12	0,05	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,14	4,68	24,12
Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	6,74	1,03	6,65	5,50	6,30	6,90	7,40	7,70	-1,42	3,11
pH <i>in loco</i>	6,64	0,48	6,62	6,10	6,30	6,60	6,93	7,40	0,52	-0,52
Potássio dissolvido (mg/L K)	1,059	0,688	0,867	0,348	0,703	0,860	1,285	2,024	1,61	3,84
Sódio dissolvido (mg/L Na)	2,33	1,69	1,89	0,93	1,26	1,76	2,59	4,53	1,72	2,99
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	84,68	61,51	68,09	24,60	53,50	62,00	88,50	215,40	1,59	1,55
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	78,27	105,57	35,68	4,10	18,75	42,50	86,75	202,80	3,04	12,18
Sólidos totais (mg/L)	165,12	115,07	128,93	31,40	97,75	136,50	227,25	280,70	2,01	7,37
Substâncias tensoativas (mg/L LAS)	0,06	0,02	0,06	0,05	0,05	0,05	0,08	0,10	1,14	-0,69
Sulfato total (mg/L SO <sub>4</sub> )	3,08	3,58	2,06	1,00	1,00	1,45	5,00	5,00	3,12	11,73
Temperatura da água (°C)	24,5	3,0	24,3	20,7	22,3	24,6	26,4	28,2	0,10	-0,44
Turbidez (UNT)	87,55	153,09	30,15	3,12	9,40	34,80	81,80	242,30	3,50	15,07
Zinco total (mg/L Zn)	0,039	0,027	0,033	0,020	0,020	0,032	0,045	0,063	2,71	8,89

**Tabela I.23.** Estatística Descritiva do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF2 (25 estações, 399 coletas, 36 parâmetros, 11860 observações).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Média geométrica	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de Assimetria	Coefficiente de Curtose
Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	35,07	27,12	27,77	13,26	17,10	23,85	41,85	81,16	1,66	2,21
Alumínio dissolvido (mg/L Al)	0,192	0,323	0,130	0,100	0,100	0,100	0,100	0,321	5,30	32,76
Arsênio total (mg/L As)	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	10,34	111,45
Bário total (mg/L Ba)	0,0530	0,0340	0,0451	0,0240	0,0322	0,0404	0,0640	0,0974	2,07	6,09
Cálcio total (mg/L Ca)	6,94	6,83	5,06	2,30	2,98	4,30	7,53	15,69	2,22	4,47
Chumbo total (mg/L Pb)	0,0060	0,0059	0,0054	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	10,64	139,05
Cianeto livre (mg/L CN)	0,015	0,037	0,008	0,003	0,004	0,010	0,010	0,020	6,43	45,02
Cloreto total (mg/L Cl)	5,17	18,25	1,97	0,58	0,97	1,68	3,25	8,52	9,51	103,37
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	7,601	24,496	**	0,006	1,070	2,640	5,980	14,134	9,41	103,26
Cobre dissolvido (mg/L Cu)	0,0041	0,0009	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	17,89	332,96
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	28861	53170	3229	140	500	2800	160000	1,89	1,89	1,89
Condutividade elétrica <i>in loco</i> (µmho/cm)	89,13	120,91	63,48	28,60	37,25	54,40	102,50	175,00	7,38	75,84
Cor verdadeira (mg/L Pt)	97,1	134,9	56,6	15,0	27,0	55,0	111,0	211,0	4,13	22,71
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	4,5	8,1	2,8	2,0	2,0	2,0	2,2	8,7	5,58	41,53
Demanda Química de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	20,8	25,8	13,7	5,0	7,0	12,0	22,0	47,0	3,44	15,18
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	24,29	19,98	18,90	8,43	12,13	16,45	27,80	52,51	1,85	2,87
Fenóis totais (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	5,01	35,30
Ferro dissolvido (mg/L Fe)	0,467	0,601	0,279	0,090	0,150	0,260	0,478	1,218	2,76	8,52
Fósforo total (mg/L P)	0,13	0,21	0,06	0,02	0,03	0,05	0,13	0,33	3,22	11,67
Magnésio total (mg/L Mg)	1,66	1,34	1,28	0,50	0,80	1,40	2,00	3,10	3,17	18,36
Manganês total (mg/L Mn)	0,1027	0,1252	0,0696	0,0254	0,0402	0,0651	0,1125	0,1944	3,90	19,01
Níquel total (mg/L Ni)	0,0055	0,0133	0,0044	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	14,79	239,75
Nitrato (mg/L N)	0,28	0,37	0,15	0,03	0,07	0,15	0,35	0,65	4,09	23,82
Nitrogênio amoniacal total (mg/L Ni)	1,06	2,60	0,25	0,10	0,10	0,10	0,35	2,88	3,38	11,33
Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	6,48	1,73	6,03	4,36	6,30	7,00	7,50	7,90	-1,88	3,07
pH <i>in loco</i>	6,44	0,47	6,43	5,90	6,10	6,40	6,80	7,10	0,29	-0,55
Potássio dissolvido (mg/L K)	2,037	1,377	1,731	0,885	1,258	1,629	2,153	3,509	2,22	5,48
Sódio dissolvido (mg/L Na)	7,75	17,23	4,52	2,04	2,77	3,69	5,57	16,94	8,67	92,19
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	73,44	59,57	64,19	40,00	48,00	59,00	86,50	118,00	7,27	73,17
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	66,27	213,56	26,99	7,00	13,50	26,00	49,50	116,60	11,67	166,21
Sólidos totais (mg/L)	141,55	232,91	104,78	54,00	69,00	94,00	138,50	223,40	10,23	135,73
Substâncias tensoativas (mg/L LAS)	0,12	0,29	0,07	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	6,96	54,91
Sulfato total (mg/L SO <sub>4</sub> )	4,87	13,03	2,66	1,00	1,00	2,35	5,00	8,12	10,80	134,30
Temperatura da água (°C)	23,8	3,6	23,5	19,1	21,4	23,9	26,3	28,3	-0,04	-0,31
Turbidez (UNT)	69,13	239,62	29,69	9,51	15,95	25,70	46,55	96,90	12,30	186,17
Zinco total (mg/L Zn)	0,030	0,025	0,026	0,020	0,020	0,020	0,030	0,050	6,39	58,00

\*\* Média geométrica não calculada devido presença de amostragem com valor zero.

**Tabela I.24.** Estatística Descritiva do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF3 (30 estações, 479 coletas, 36 parâmetros, 13616 observações).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Média geométrica	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de Assimetria	Coefficiente de Curtose
Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	38,56	35,33	29,41	14,20	19,05	24,10	43,20	70,84	2,31	5,00
Alumínio dissolvido (mg/L Al)	0,121	0,124	0,109	0,100	0,100	0,100	0,100	0,120	8,47	77,01
Arsênio total (mg/L As)	0,0008	0,0020	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0011	6,19	49,13
Bário total (mg/L Ba)	0,0559	0,0417	0,0418	0,0156	0,0222	0,0480	0,0771	0,1122	1,27	1,70
Cálcio total (mg/L Ca)	7,84	6,08	6,17	2,68	4,05	5,70	9,00	16,92	1,60	1,89
Chumbo total (mg/L Pb)	0,0066	0,0055	0,0058	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0110	6,38	58,61
Cianeto livre (mg/L CN)	0,009	0,009	0,007	0,002	0,003	0,010	0,010	0,010	5,43	39,54
Cloreto total (mg/L Cl)	7,80	16,99	3,11	0,65	1,30	2,90	6,12	16,32	6,55	66,50
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	12,282	43,059	2,324	0,006	1,527	3,505	7,540	21,360	11,31	167,30
Cobre dissolvido (mg/L Cu)	0,0041	0,0006	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	15,33	252,55
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	30213	49738	4451	110	1100	5000	30000	160000	1,88	2,16
Condutividade elétrica <i>in loco</i> (µmho/cm)	111,13	132,43	76,76	31,10	42,75	69,20	118,50	227,40	4,16	28,01
Cor verdadeira (mg/L Pt)	125,9	201,7	57,4	13,0	21,0	57,0	123,0	335,4	3,69	17,99
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	4,0	7,4	2,7	2,0	2,0	2,0	2,6	5,3	5,89	43,08
Demanda Química de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	18,7	22,7	13,0	5,0	6,9	13,0	22,0	33,0	4,46	27,36
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	27,68	18,34	23,14	11,68	16,10	21,30	31,85	53,82	1,55	1,84
Fenóis totais (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	4,68	28,16
Ferro dissolvido (mg/L Fe)	0,241	0,224	0,181	0,078	0,110	0,180	0,282	0,450	3,05	12,54
Fósforo total (mg/L P)	0,16	0,36	0,07	0,02	0,03	0,06	0,12	0,30	4,55	23,40
Magnésio total (mg/L Mg)	1,96	1,28	1,58	0,70	1,20	1,80	2,40	3,20	2,52	12,53
Manganês total (mg/L Mn)	0,2823	0,3959	0,1531	0,0430	0,0748	0,1420	0,2740	0,7256	3,05	10,78
Níquel total (mg/L Ni)	0,0061	0,0056	0,0050	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0113	3,32	11,76
Nitrato (mg/L N)	0,37	0,46	0,21	0,05	0,10	0,21	0,50	0,84	3,33	16,84
Nitrogênio amoniacal total (mg/L Ni)	1,03	3,15	0,23	0,10	0,10	0,12	0,30	1,58	4,54	21,00
Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	6,33	1,77	5,82	3,38	6,05	6,90	7,40	7,80	-1,72	2,44
pH <i>in loco</i>	6,59	0,44	6,58	6,10	6,30	6,50	6,90	7,20	0,64	0,63
Potássio dissolvido (mg/L K)	2,242	2,025	1,729	0,810	1,115	1,670	2,272	4,220	2,59	6,97
Sódio dissolvido (mg/L Na)	10,57	16,53	5,98	2,16	3,00	5,27	9,14	27,02	4,40	26,33
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	92,71	65,03	76,65	36,00	52,50	71,00	113,50	181,20	2,14	6,45
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	84,84	181,60	32,19	6,00	14,00	34,00	68,50	195,00	6,17	54,20
Sólidos totais (mg/L)	168,49	202,32	118,22	47,80	72,00	109,00	183,00	337,40	5,30	44,29
Substâncias tensoativas (mg/L LAS)	0,14	0,32	0,08	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	5,43	31,40
Sulfato total (mg/L SO <sub>4</sub> )	6,30	10,62	3,70	1,00	1,70	4,00	6,85	12,86	7,66	79,23
Temperatura da água (°C)	24,7	3,1	24,5	20,6	22,5	24,7	26,8	28,7	0,04	-0,22
Turbidez (UNT)	88,50	189,35	33,32	7,56	14,00	30,30	64,85	246,00	6,29	61,84
Zinco total (mg/L Zn)	0,040	0,043	0,031	0,020	0,020	0,023	0,042	0,080	4,94	31,46

**Tabela I.25.** Estatística Descritiva do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF4 (17 estações, 270 coletas, 36 parâmetros, 7811 observações).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Média geométrica	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de Assimetria	Coefficiente de Curtose
Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	25,12	12,48	20,96	7,95	16,60	24,75	35,30	39,75	0,20	-0,36
Alumínio dissolvido (mg/L Al)	0,174	0,320	0,117	0,100	0,100	0,100	0,100	0,112	4,51	19,06
Arsênio total (mg/L As)	0,0004	0,0009	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	9,15	92,58
Bário total (mg/L Ba)	0,0539	0,0731	0,0329	0,0108	0,0168	0,0292	0,0577	0,1198	3,53	14,70
Cálcio total (mg/L Ca)	5,55	2,92	4,60	1,65	3,38	5,60	7,80	9,25	0,50	0,79
Chumbo total (mg/L Pb)	0,0072	0,0066	0,0060	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0118	3,60	13,45
Cianeto livre (mg/L CN)	0,008	0,004	0,006	0,002	0,003	0,010	0,010	0,010	-0,16	-0,05
Cloreto total (mg/L Cl)	1,15	0,91	0,92	0,36	0,56	0,94	1,44	2,01	3,12	15,33
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	6,875	21,451	**	0,006	1,070	3,420	6,000	11,440	10,41	123,60
Cobre dissolvido (mg/L Cu)	0,0042	0,0014	0,0041	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	9,21	89,62
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	13093	35577	1018	50	170	1300	5000	28000	3,57	11,78
Condutividade elétrica <i>in loco</i> (µmho/cm)	48,89	23,79	41,50	17,09	32,38	49,25	66,68	75,55	0,36	0,57
Cor verdadeira (mg/L Pt)	195,0	475,6	50,7	10,0	17,0	38,0	127,8	461,9	4,15	18,19
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	2,1	0,6	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	6,05	39,73
Demanda Química de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	14,3	13,7	10,6	5,0	5,0	9,6	16,0	28,0	2,67	8,33
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	21,41	10,07	18,47	7,20	14,53	21,40	28,20	34,00	0,28	-0,10
Fenóis totais (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	3,25	16,69
Ferro dissolvido (mg/L Fe)	0,272	0,417	0,140	0,039	0,060	0,120	0,251	0,705	3,41	13,88
Fósforo total (mg/L P)	0,07	0,10	0,04	0,01	0,02	0,04	0,08	0,17	3,64	17,33
Magnésio total (mg/L Mg)	1,84	1,09	1,54	0,65	1,18	1,70	2,23	3,10	1,95	8,19
Manganês total (mg/L Mn)	0,1338	0,2193	0,0649	0,0168	0,0281	0,0591	0,1259	0,2893	3,77	16,82
Níquel total (mg/L Ni)	0,0071	0,0087	0,0053	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0138	3,48	13,06
Nitrato (mg/L N)	0,14	0,13	0,09	0,02	0,06	0,11	0,17	0,31	2,07	5,32
Nitrogênio amoniacal total (mg/L Ni)	0,17	0,18	0,14	0,10	0,10	0,10	0,18	0,30	4,97	29,94
Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	6,71	1,48	6,44	4,00	6,30	7,10	7,70	8,10	-1,61	2,77
pH <i>in loco</i>	6,39	0,55	6,36	5,70	6,00	6,40	6,80	7,10	-0,25	-0,32
Potássio dissolvido (mg/L K)	1,450	0,618	1,287	0,531	1,077	1,504	1,840	2,242	0,00	-0,40
Sódio dissolvido (mg/L Na)	2,43	1,23	2,09	0,75	1,61	2,42	3,00	4,04	0,80	1,34
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	50,88	18,25	47,34	27,50	42,75	50,00	61,00	67,50	0,77	2,79
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	135,49	333,61	28,79	5,00	10,00	20,00	75,50	314,20	4,30	21,97
Sólidos totais (mg/L)	194,36	356,41	99,04	41,00	55,00	72,50	137,00	427,90	4,10	19,93
Substâncias tensoativas (mg/L LAS)	0,06	0,02	0,06	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	1,20	-0,40
Sulfato total (mg/L SO <sub>4</sub> )	2,50	2,30	1,84	1,00	1,00	1,30	5,00	5,00	2,18	6,38
Temperatura da água (°C)	24,1	3,7	23,9	19,6	21,6	24,0	26,7	28,5	-0,02	-0,20
Turbidez (UNT)	208,75	506,38	38,64	6,35	11,83	27,40	92,33	579,20	3,65	14,06
Zinco total (mg/L Zn)	0,038	0,032	0,031	0,020	0,020	0,024	0,040	0,075	2,87	9,99

\*\* Média geométrica não calculada devido presença de amostragem com valor zero.

**Tabela I.26.** Estatística Descritiva do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF5 (33 estações, 528 coletas, 36 parâmetros, 16106 observações).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Média geométrica	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de Assimetria	Coefficiente de Curtose
Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	55,42	40,95	42,90	18,08	23,90	46,40	73,20	113,40	1,39	1,73
Alumínio dissolvido (mg/L Al)	0,106	0,039	0,104	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	8,56	77,14
Arsênio total (mg/L As)	0,0150	0,0212	0,0034	0,0003	0,0003	0,0073	0,0220	0,0422	2,26	6,34
Bário total (mg/L Ba)	0,0658	0,0659	0,0430	0,0120	0,0195	0,0490	0,0902	0,1428	2,77	11,99
Cálcio total (mg/L Ca)	16,69	11,42	12,85	4,38	7,20	14,85	23,30	32,11	1,08	1,36
Chumbo total (mg/L Pb)	0,0073	0,0066	0,0062	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0139	5,53	42,10
Cianeto livre (mg/L CN)	0,010	0,022	0,007	0,002	0,003	0,010	0,010	0,010	13,57	195,54
Cloreto total (mg/L Cl)	7,72	10,32	3,70	0,86	1,25	3,62	9,75	20,23	2,60	7,98
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	25,244	82,308	3,774	0,539	2,310	4,575	11,300	41,219	6,79	58,11
Cobre dissolvido (mg/L Cu)	0,0040	0,0005	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	15,04	248,50
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	41784	61815	4975	110	500	7000	50000	160000	1,25	-0,23
Condutividade elétrica <i>in loco</i> (µmho/cm)	154,75	123,83	114,56	41,99	60,58	117,50	218,50	299,30	1,63	3,06
Cor verdadeira (mg/L Pt)	101,9	219,8	47,3	13,0	20,0	40,0	98,5	222,5	7,84	81,06
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	5,0	6,5	3,4	2,0	2,0	2,0	5,0	11,0	3,65	16,23
Demanda Química de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	23,5	23,7	16,5	5,0	9,0	16,0	28,0	45,0	2,59	7,50
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	51,47	31,91	42,04	17,35	25,83	46,15	68,68	95,20	1,04	1,11
Fenóis totais (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004	5,57	45,54
Ferro dissolvido (mg/L Fe)	0,151	0,166	0,108	0,030	0,065	0,107	0,175	0,301	4,53	30,70
Fósforo total (mg/L P)	0,21	0,33	0,10	0,02	0,04	0,10	0,25	0,48	3,68	17,30
Magnésio total (mg/L Mg)	2,71	1,63	2,25	1,10	1,60	2,40	3,50	4,80	1,49	3,94
Manganês total (mg/L Mn)	0,3836	0,6603	0,1698	0,0318	0,0757	0,1710	0,3875	0,8724	4,45	26,70
Níquel total (mg/L Ni)	0,0109	0,0203	0,0067	0,0040	0,0040	0,0040	0,0092	0,0240	8,07	89,89
Nitrato (mg/L N)	0,59	0,74	0,30	0,06	0,13	0,28	0,75	1,55	2,22	5,22
Nitrogênio amoniacal total (mg/L Ni)	1,62	3,67	0,37	0,10	0,10	0,19	1,09	4,67	3,65	14,46
Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	6,25	1,96	5,79	3,50	5,28	6,70	7,40	8,20	-0,62	0,89
pH <i>in loco</i>	6,80	0,52	6,78	6,20	6,50	6,70	7,00	7,33	1,30	4,05
Potássio dissolvido (mg/L K)	2,009	1,990	1,442	0,636	0,799	1,188	2,470	4,026	2,60	8,14
Sódio dissolvido (mg/L Na)	7,91	9,52	4,71	1,68	2,27	3,41	10,37	19,84	2,49	7,09
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	103,27	60,51	87,86	41,00	54,00	88,00	140,00	183,00	1,18	1,25
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	176,70	471,85	48,07	7,00	17,00	44,00	129,50	368,80	7,98	92,59
Sólidos totais (mg/L)	279,96	477,46	173,09	57,00	88,00	170,50	280,00	484,60	7,77	88,98
Substâncias tensoativas (mg/L LAS)	0,15	0,34	0,08	0,05	0,05	0,05	0,10	0,23	6,19	45,89
Sulfato total (mg/L SO <sub>4</sub> )	8,49	6,63	5,92	1,10	3,43	6,90	12,05	18,28	1,14	1,22
Temperatura da água (°C)	24,8	3,2	24,6	20,2	23,2	24,9	27,0	28,9	-0,33	-0,01
Turbidez (UNT)	167,36	487,94	42,08	6,50	13,68	31,50	115,25	393,00	9,23	121,34
Zinco total (mg/L Zn)	0,051	0,050	0,040	0,020	0,020	0,037	0,061	0,097	4,37	28,86

**Tabela I.27.** Estatística Descritiva do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF6 (quatro estações, 64 coletas, 36 parâmetros, 1903 observações).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Média geométrica	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de Assimetria	Coefficiente de Curtose
Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	56,03	43,16	43,91	21,16	27,50	36,05	73,50	138,00	1,23	-0,03
Alumínio dissolvido (mg/L Al)	0,127	0,115	0,112	0,100	0,100	0,100	0,100	0,143	5,73	34,48
Arsênio total (mg/L As)	0,0032	0,0053	0,0009	0,0003	0,0003	0,0003	0,0043	0,0099	2,14	4,39
Bário total (mg/L Ba)	0,0513	0,0360	0,0422	0,0195	0,0243	0,0426	0,0695	0,0958	1,86	4,50
Cálcio total (mg/L Ca)	18,75	15,58	13,99	5,99	9,10	10,50	28,28	47,10	1,20	-0,06
Chumbo total (mg/L Pb)	0,0064	0,0038	0,0058	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0099	2,90	7,58
Cianeto livre (mg/L CN)	0,008	0,007	0,006	0,002	0,003	0,010	0,010	0,010	3,37	16,54
Cloreto total (mg/L Cl)	1,99	0,82	1,86	1,21	1,44	1,82	2,34	2,92	1,80	4,37
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	9,323	19,953	1,401	0,006	1,040	3,340	7,478	19,091	4,12	19,29
Cobre dissolvido (mg/L Cu)	0,0043	0,0011	0,0042	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0049	4,23	19,06
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	18229	45338	1601	95	265	1700	8750	29000	2,84	6,54
Condutividade elétrica <i>in loco</i> (µmho/cm)	123,14	78,65	102,25	53,38	63,93	79,90	178,50	257,70	0,89	-0,75
Cor verdadeira (mg/L Pt)	135,7	197,2	56,5	10,0	17,8	53,0	140,3	409,5	2,68	9,29
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	2,0	0,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	6,75	47,69
Demanda Química de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	19,1	16,9	15,1	5,0	10,6	14,0	24,0	33,0	4,34	26,21
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	57,52	43,82	45,25	24,20	28,28	33,80	85,05	132,46	1,16	-0,26
Fenóis totais (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	1,37	0,99
Ferro dissolvido (mg/L Fe)	0,111	0,113	0,077	0,030	0,039	0,075	0,126	0,251	2,36	6,20
Fósforo total (mg/L P)	0,05	0,05	0,03	0,01	0,02	0,03	0,07	0,12	1,86	3,78
Magnésio total (mg/L Mg)	2,87	2,10	2,38	1,12	1,50	2,35	3,53	4,88	2,47	8,15
Manganês total (mg/L Mn)	0,1731	0,3392	0,0791	0,0234	0,0310	0,0572	0,1875	0,3566	4,69	24,77
Níquel total (mg/L Ni)	0,0073	0,0059	0,0058	0,0040	0,0040	0,0040	0,0068	0,0176	1,63	1,16
Nitrato (mg/L N)	0,16	0,12	0,12	0,04	0,08	0,13	0,18	0,35	1,50	1,81
Nitrogênio amoniacal total (mg/L Ni)	0,15	0,09	0,13	0,10	0,10	0,10	0,15	0,27	2,22	4,22
Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	7,20	0,80	7,16	6,20	6,60	7,30	7,73	8,17	0,15	-0,74
pH <i>in loco</i>	7,13	0,51	7,11	6,50	6,80	7,10	7,50	7,70	0,11	0,36
Potássio dissolvido (mg/L K)	1,878	0,757	1,762	1,096	1,561	1,781	2,000	2,480	2,29	8,31
Sódio dissolvido (mg/L Na)	3,04	1,16	2,85	1,75	2,24	2,78	3,71	4,78	0,94	0,46
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	101,74	49,52	91,83	54,00	64,50	83,50	117,00	178,30	1,14	0,72
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	205,02	400,25	60,12	12,00	15,75	39,00	247,25	550,40	3,64	14,83
Sólidos totais (mg/L)	311,89	459,82	192,17	71,60	104,00	167,00	334,50	661,50	3,93	17,54
Substâncias tensoativas (mg/L LAS)	0,06	0,02	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,10	1,19	-0,61
Sulfato total (mg/L SO <sub>4</sub> )	3,75	1,72	3,21	1,00	2,95	4,00	5,00	5,34	-0,32	-0,77
Temperatura da água (°C)	25,3	2,3	25,2	22,5	24,2	25,2	26,7	28,1	0,29	0,66
Turbidez (UNT)	270,31	594,91	58,04	7,07	13,10	40,00	261,00	677,10	4,39	22,91
Zinco total (mg/L Zn)	0,046	0,030	0,039	0,020	0,025	0,037	0,055	0,073	2,32	7,23

**Tabela I.28.** Estatística Descritiva do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF7 (oito estações, 128 coletas, 36 parâmetros, 3600 observações).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Média geométrica	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de Assimetria	Coefficiente de Curtose
Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	35,49	20,44	29,56	11,34	19,05	31,75	46,78	62,85	0,77	0,23
Alumínio dissolvido (mg/L Al)	0,138	0,105	0,121	0,100	0,100	0,100	0,100	0,224	3,95	18,45
Arsênio total (mg/L As)	0,0047	0,0094	0,0008	0,0003	0,0003	0,0003	0,0017	0,0246	2,05	2,87
Bário total (mg/L Ba)	0,0669	0,0579	0,0482	0,0189	0,0242	0,0373	0,1051	0,1381	1,76	4,33
Cálcio total (mg/L Ca)	9,48	5,23	8,00	3,14	5,03	8,65	13,10	17,43	0,66	-0,18
Chumbo total (mg/L Pb)	0,0069	0,0054	0,0060	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0109	3,37	12,39
Cianeto livre (mg/L CN)	0,007	0,004	0,006	0,002	0,002	0,010	0,010	0,010	-0,44	-1,80
Cloreto total (mg/L Cl)	1,22	1,60	0,80	0,37	0,49	0,67	0,96	3,55	2,74	7,04
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	7,878	8,834	3,112	0,836	2,400	4,450	9,165	21,288	1,87	3,77
Cobre dissolvido (mg/L Cu)	0,0043	0,0013	0,0042	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0046	5,85	39,06
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	5362	16743	678	50	140	700	1950	16400	7,02	60,68
Condutividade elétrica <i>in loco</i> (µmho/cm)	74,09	47,34	60,08	23,08	35,98	65,30	92,58	132,40	1,12	1,02
Cor verdadeira (mg/L Pt)	186,8	304,7	59,4	10,0	18,0	42,5	179,3	625,4	2,51	7,82
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	2,1	0,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	5,84	35,67
Demanda Química de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	14,3	9,8	11,5	5,0	5,3	12,0	20,3	28,0	1,27	2,26
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	35,73	20,86	29,91	11,58	20,75	31,20	43,83	64,04	0,98	0,71
Fenóis totais (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	1,97	4,13
Ferro dissolvido (mg/L Fe)	0,140	0,115	0,108	0,040	0,070	0,100	0,172	0,280	2,46	9,30
Fósforo total (mg/L P)	0,06	0,05	0,04	0,02	0,02	0,04	0,08	0,14	1,40	1,43
Magnésio total (mg/L Mg)	2,99	2,32	2,17	0,73	1,53	2,55	3,43	6,75	1,37	1,47
Manganês total (mg/L Mn)	0,1015	0,1283	0,0580	0,0189	0,0260	0,0449	0,1419	0,2368	2,82	10,06
Níquel total (mg/L Ni)	0,0074	0,0073	0,0056	0,0040	0,0040	0,0040	0,0061	0,0202	2,40	5,45
Nitrato (mg/L N)	0,21	0,45	0,09	0,02	0,04	0,09	0,14	0,50	4,50	23,18
Nitrogênio amoniacal total (mg/L Ni)	0,12	0,05	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,16	3,37	12,83
Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	7,35	0,76	7,31	6,50	6,80	7,30	7,90	8,40	0,24	-0,08
pH <i>in loco</i>	6,91	0,42	6,90	6,40	6,60	6,90	7,20	7,50	0,03	-0,30
Potássio dissolvido (mg/L K)	1,251	0,378	1,191	0,793	1,007	1,219	1,495	1,729	0,29	-0,04
Sódio dissolvido (mg/L Na)	2,07	1,44	1,78	1,02	1,35	1,69	1,95	3,69	2,52	6,54
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	70,85	23,81	66,74	39,90	54,50	69,00	87,75	106,10	0,33	-0,39
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	124,22	200,83	39,83	6,00	13,75	27,00	174,50	367,60	2,97	11,91
Sólidos totais (mg/L)	193,52	210,04	131,18	50,00	75,00	107,00	248,25	484,20	2,72	9,94
Substâncias tensoativas (mg/L LAS)	0,06	0,02	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,10	1,17	-0,64
Sulfato total (mg/L SO <sub>4</sub> )	2,42	1,68	1,94	1,00	1,00	1,60	5,00	5,00	0,84	-1,02
Temperatura da água (°C)	25,5	3,1	25,3	21,7	23,6	25,7	27,6	28,6	-0,30	1,16
Turbidez (UNT)	165,09	253,41	47,00	7,16	13,48	24,05	237,50	519,40	2,27	6,49
Zinco total (mg/L Zn)	0,041	0,025	0,035	0,020	0,020	0,031	0,053	0,070	1,48	2,13



**Tabela I.29.** Estatística Descritiva do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF8 (12 estações, 190 coletas, 36 parâmetros, 5332 observações).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Média geométrica	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de Assimetria	Coefficiente de Curtose
Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	20,09	15,81	15,62	6,00	9,05	15,75	26,75	34,96	2,15	6,37
Alumínio dissolvido (mg/L Al)	0,108	0,035	0,105	0,100	0,100	0,100	0,100	0,104	6,44	45,76
Arsênio total (mg/L As)	0,0010	0,0023	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0010	3,75	14,36
Bário total (mg/L Ba)	0,0517	0,0542	0,0347	0,0117	0,0190	0,0323	0,0669	0,1198	3,41	19,16
Cálcio total (mg/L Ca)	5,88	4,98	4,38	1,49	2,58	4,60	8,08	11,24	2,39	7,73
Chumbo total (mg/L Pb)	0,0066	0,0047	0,0059	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0113	3,60	13,38
Cianeto livre (mg/L CN)	0,007	0,004	0,006	0,002	0,003	0,010	0,010	0,010	-0,43	-1,82
Cloreto total (mg/L Cl)	0,68	0,54	0,55	0,30	0,30	0,50	0,76	1,30	2,32	5,26
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	5,049	10,317	1,078	0,006	0,980	2,430	5,160	10,680	5,46	33,96
Cobre dissolvido (mg/L Cu)	0,0043	0,0010	0,0042	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0050	4,81	25,62
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	10533	27822	849	50	125	750	5000	24000	4,03	17,30
Condutividade elétrica <i>in loco</i> (µmho/cm)	37,45	29,76	29,56	13,08	17,73	27,35	46,60	72,33	2,18	5,96
Cor verdadeira (mg/L Pt)	131,7	199,6	58,6	12,0	24,3	50,0	149,8	346,6	2,63	7,09
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	2,2	0,8	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	4,74	23,92
Demanda Química de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	14,3	10,1	11,6	5,0	6,0	12,0	20,0	26,0	2,07	7,49
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	20,93	15,74	16,76	7,29	10,53	18,10	26,78	33,93	2,43	8,13
Fenóis totais (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	1,67	2,49
Ferro dissolvido (mg/L Fe)	0,106	0,065	0,090	0,040	0,060	0,092	0,130	0,195	1,94	6,42
Fósforo total (mg/L P)	0,05	0,06	0,03	0,01	0,02	0,03	0,07	0,13	2,48	6,70
Magnésio total (mg/L Mg)	1,57	1,14	1,23	0,50	0,70	1,40	2,10	3,16	1,56	3,18
Manganês total (mg/L Mn)	0,0904	0,1194	0,0520	0,0160	0,0223	0,0438	0,1164	0,2049	3,10	11,46
Níquel total (mg/L Ni)	0,0069	0,0058	0,0055	0,0040	0,0040	0,0040	0,0062	0,0146	2,16	3,86
Nitrato (mg/L N)	0,08	0,08	0,05	0,01	0,02	0,05	0,10	0,17	2,37	6,96
Nitrogênio amoniacal total (mg/L Ni)	0,12	0,05	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,19	3,18	11,59
Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	7,20	0,68	7,16	6,40	6,73	7,20	7,60	8,10	0,17	0,14
pH <i>in loco</i>	6,60	0,48	6,58	5,90	6,30	6,60	6,90	7,30	-0,03	-0,63
Potássio dissolvido (mg/L K)	0,872	0,448	0,754	0,334	0,538	0,780	1,159	1,573	0,56	-0,65
Sódio dissolvido (mg/L Na)	1,35	0,65	1,22	0,68	0,98	1,26	1,47	1,95	1,92	5,14
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	50,64	22,98	46,45	28,00	34,00	46,00	61,00	80,00	1,85	6,56
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	137,87	304,78	35,73	5,00	11,00	26,00	146,00	330,40	4,78	27,30
Sólidos totais (mg/L)	189,53	315,91	103,66	35,00	50,00	80,00	198,25	396,40	4,68	26,82
Substâncias tensoativas (mg/L LAS)	0,06	0,02	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,10	1,18	-0,59
Sulfato total (mg/L SO <sub>4</sub> )	2,18	1,70	1,69	1,00	1,00	1,10	4,20	5,00	0,99	-0,90
Temperatura da água (°C)	26,1	2,4	26,0	23,4	24,6	25,9	27,4	28,9	0,32	0,75
Turbidez (UNT)	159,25	290,99	43,04	6,28	10,10	30,50	201,50	438,50	3,95	22,86
Zinco total (mg/L Zn)	0,036	0,022	0,031	0,020	0,020	0,028	0,042	0,061	1,65	2,17

**Tabela I.30.** Estatística Descritiva do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF9 (sete estações, 107 coletas, 36 parâmetros, 3057 observações).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Média geométrica	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de Assimetria	Coefficiente de Curtose
Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	27,84	5,79	27,21	20,19	23,28	27,25	32,80	34,60	-0,17	-0,86
Alumínio dissolvido (mg/L Al)	0,103	0,019	0,102	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	6,10	37,93
Arsênio total (mg/L As)	0,0021	0,0036	0,0008	0,0003	0,0003	0,0003	0,0022	0,0060	2,99	10,42
Bário total (mg/L Ba)	0,0651	0,0473	0,0518	0,0229	0,0296	0,0442	0,0919	0,1241	1,58	3,47
Cálcio total (mg/L Ca)	8,58	5,35	7,91	5,71	6,60	7,75	9,30	10,69	6,36	47,50
Chumbo total (mg/L Pb)	0,0063	0,0039	0,0057	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0072	3,16	8,96
Cianeto livre (mg/L CN)	0,007	0,004	0,006	0,002	0,003	0,010	0,010	0,010	-0,53	-1,71
Cloreto total (mg/L Cl)	1,31	0,73	1,08	0,39	0,69	1,24	1,87	2,28	0,41	-0,72
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	11,921	16,627	1,800	0,006	1,250	3,750	18,690	35,586	1,69	2,22
Cobre dissolvido (mg/L Cu)	0,0044	0,0020	0,0042	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	6,76	50,05
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	7109	24218	634	42	140	500	2800	11000	5,33	30,22
Condutividade elétrica <i>in loco</i> (µmho/cm)	57,80	15,39	55,38	41,18	45,00	58,80	69,40	77,38	-0,23	-0,03
Cor verdadeira (mg/L Pt)	133,9	208,8	53,6	10,0	20,0	45,0	153,0	422,6	2,55	6,79
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	2,0	0,4	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	10,30	106,44
Demanda Química de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	14,5	7,5	12,7	5,7	9,1	13,0	19,0	26,0	0,90	0,35
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	30,40	13,07	28,82	20,30	24,50	29,50	33,73	37,56	5,18	36,44
Fenóis totais (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	1,51	2,00
Ferro dissolvido (mg/L Fe)	0,084	0,064	0,068	0,030	0,040	0,070	0,101	0,157	2,75	11,82
Fósforo total (mg/L P)	0,06	0,08	0,03	0,01	0,02	0,03	0,06	0,11	3,73	16,47
Magnésio total (mg/L Mg)	2,27	0,94	2,02	1,20	1,70	2,25	2,80	3,40	0,46	0,85
Manganês total (mg/L Mn)	0,1022	0,0961	0,0663	0,0167	0,0360	0,0695	0,1449	0,2520	1,52	1,94
Níquel total (mg/L Ni)	0,0065	0,0052	0,0054	0,0040	0,0040	0,0040	0,0076	0,0124	2,43	5,62
Nitrato (mg/L N)	0,14	0,13	0,08	0,02	0,04	0,10	0,21	0,27	1,77	4,69
Nitrogênio amoniacal total (mg/L Ni)	0,12	0,07	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	3,03	8,10
Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	7,42	0,82	7,37	6,40	6,85	7,40	7,90	8,64	0,00	-0,40
pH <i>in loco</i>	7,03	0,50	7,02	6,50	6,80	7,00	7,20	7,60	1,43	4,86
Potássio dissolvido (mg/L K)	1,484	0,414	1,424	0,942	1,320	1,469	1,706	2,048	0,24	0,25
Sódio dissolvido (mg/L Na)	1,88	1,18	1,46	0,47	0,67	1,81	2,94	3,58	0,26	-1,27
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	64,03	18,47	61,56	42,60	50,75	59,00	77,25	86,70	0,74	0,23
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	159,43	339,50	57,06	8,00	24,00	57,00	198,00	339,80	6,52	52,14
Sólidos totais (mg/L)	223,94	346,33	144,79	60,40	76,50	107,00	273,50	424,60	6,23	48,61
Substâncias tensoativas (mg/L LAS)	0,06	0,02	0,06	0,05	0,05	0,05	0,09	0,10	1,13	-0,72
Sulfato total (mg/L SO <sub>4</sub> )	2,85	1,59	2,38	1,00	1,18	2,60	5,00	5,00	0,26	-1,47
Temperatura da água (°C)	26,8	2,9	26,6	23,2	25,0	26,7	28,4	30,5	0,51	0,48
Turbidez (UNT)	168,99	280,76	54,20	7,03	21,05	34,90	276,00	462,20	3,44	16,13
Zinco total (mg/L Zn)	0,040	0,025	0,034	0,020	0,020	0,030	0,051	0,076	1,53	2,18

**Tabela I.31.** Estatística Descritiva do Banco de Dados Rede Básica 2008-2011 trimestral, UPGRH SF10 (sete estações, 106 coletas, 36 parâmetros, 2905 observações).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Média geométrica	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de Assimetria	Coefficiente de Curtose
Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	151,95	96,09	126,38	47,65	80,53	131,00	189,60	261,50	1,47	2,78
Alumínio dissolvido (mg/L Al)	0,114	0,045	0,109	0,100	0,100	0,100	0,100	0,123	3,62	12,37
Arsênio total (mg/L As)	0,0004	0,0007	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	5,16	26,19
Bário total (mg/L Ba)	0,0565	0,0373	0,0476	0,0242	0,0328	0,0439	0,0677	0,1039	1,83	3,74
Cálcio total (mg/L Ca)	42,81	24,90	33,84	9,35	19,08	42,75	64,03	78,14	0,21	-1,02
Chumbo total (mg/L Pb)	0,0054	0,0013	0,0053	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	3,82	14,75
Cianeto livre (mg/L CN)	0,011	0,017	0,008	0,002	0,004	0,010	0,010	0,018	5,92	37,79
Cloreto total (mg/L Cl)	26,76	26,45	16,65	3,12	7,70	22,25	35,78	55,30	2,07	5,37
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	23,827	53,931	8,838	2,670	4,960	10,430	19,140	38,980	5,09	27,99
Cobre dissolvido (mg/L Cu)	0,0046	0,0017	0,0045	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0069	3,58	15,63
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	14588	40257	1132	80	220	800	5000	29000	3,24	9,06
Condutividade elétrica <i>in loco</i> (µmho/cm)	392,52	250,90	324,72	131,00	219,00	331,00	498,00	708,00	1,38	1,93
Cor verdadeira (mg/L Pt)	117,1	246,9	55,2	14,9	26,8	51,0	92,3	240,9	5,76	38,34
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	3,8	6,3	2,7	2,0	2,0	2,0	2,7	6,8	6,66	53,17
Demanda Química de Oxigênio (mg/L O <sub>2</sub> )	26,2	20,9	20,7	9,5	14,0	20,0	33,0	49,8	2,32	6,50
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	136,70	68,67	116,19	40,32	75,30	139,00	194,00	224,90	0,13	-0,92
Fenóis totais (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	2,31	7,26
Ferro dissolvido (mg/L Fe)	0,136	0,146	0,090	0,030	0,043	0,090	0,157	0,338	2,16	4,55
Fósforo total (mg/L P)	0,23	0,55	0,08	0,02	0,03	0,07	0,15	0,40	4,85	26,29
Magnésio total (mg/L Mg)	7,24	3,23	6,63	3,73	5,10	6,75	8,30	11,20	1,23	1,54
Manganês total (mg/L Mn)	0,1103	0,1039	0,0734	0,0224	0,0364	0,0739	0,1572	0,2290	2,08	6,44
Níquel total (mg/L Ni)	0,0057	0,0045	0,0049	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0101	3,89	18,37
Nitrato (mg/L N)	0,83	2,95	0,16	0,02	0,05	0,16	0,45	1,68	8,07	72,87
Nitrogênio amoniacal total (mg/L Ni)	2,44	6,31	0,28	0,10	0,10	0,12	0,29	9,71	2,95	7,90
Oxigênio dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	4,99	2,74	4,02	1,25	2,90	5,20	6,70	8,25	0,58	1,25
pH <i>in loco</i>	7,20	0,56	7,18	6,30	6,80	7,30	7,60	7,80	-0,29	-0,47
Potássio dissolvido (mg/L K)	5,814	3,699	5,071	3,115	3,560	4,585	6,173	11,924	2,04	3,53
Sódio dissolvido (mg/L Na)	26,90	29,51	18,53	7,57	9,75	15,34	30,70	57,46	2,68	7,88
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	236,95	132,09	206,44	92,00	168,00	212,00	262,00	415,00	1,58	3,15
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	46,95	86,52	20,71	4,00	10,00	21,50	40,75	103,00	4,31	20,76
Sólidos totais (mg/L)	289,75	148,48	250,72	97,00	191,25	274,50	377,00	472,50	0,81	0,77
Substâncias tensoativas (mg/L LAS)	0,09	0,15	0,07	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	6,33	43,36
Sulfato total (mg/L SO <sub>4</sub> )	14,05	11,48	8,31	1,00	3,95	13,35	22,30	26,22	0,65	-0,21
Temperatura da água (°C)	26,0	3,3	25,8	21,9	24,1	26,1	27,8	29,3	0,40	2,14
Turbidez (UNT)	64,56	150,97	19,87	3,70	6,85	14,70	51,10	161,00	5,42	37,14
Zinco total (mg/L Zn)	0,082	0,096	0,056	0,020	0,030	0,051	0,083	0,179	3,42	15,13

**Tabela I.32.** Médias e medianas de cada parâmetro, por UPGRH. Os valores destacados correspondem às medianas mais altas encontradas para cada parâmetro (para Oxigênio Dissolvido foram destacados os valores mais baixos).

Parâmetro	SF1		SF2		SF3		SF4		SF5		SF6		SF7		SF8		SF9		SF10	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
Alcalinidade total	59,43	38,40	35,07	23,85	38,56	24,10	25,12	24,75	55,42	46,40	56,03	36,05	35,49	31,75	20,09	15,75	27,84	27,25	151,95	<b>131,00</b>
Alumínio dissolvido	0,147	0,100	0,192	0,100	0,121	0,100	0,174	0,100	0,106	0,100	0,127	0,100	0,138	0,100	0,108	0,100	0,103	0,100	0,114	0,100
Arsênio total	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0008	0,0003	0,0004	0,0003	0,0150	<b>0,0073</b>	0,0032	0,0003	0,0047	0,0003	0,0010	0,0003	0,0021	0,0003	0,0004	0,0003
Bário total	0,0446	0,0352	0,0530	0,0404	0,0559	0,0480	0,0539	0,0292	0,0658	<b>0,0490</b>	0,0513	0,0426	0,0669	0,0373	0,0517	0,0323	0,0651	0,0442	0,0565	0,0439
Cálcio total	18,49	10,95	6,94	4,30	7,84	5,70	5,55	5,60	16,69	14,85	18,75	10,50	9,48	8,65	5,88	4,60	8,58	7,75	42,81	<b>42,75</b>
Chumbo total	0,0057	0,0050	0,0060	0,0050	0,0066	0,0050	0,0072	0,0050	0,0073	0,0050	0,0064	0,0050	0,0069	0,0050	0,0066	0,0050	0,0063	0,0050	0,0054	0,0050
Cianeto livre	0,007	0,010	0,015	0,010	0,009	0,010	0,008	0,010	0,010	0,010	0,008	0,010	0,007	0,010	0,007	0,010	0,007	0,010	0,011	0,010
Cloreto total	1,41	0,89	5,17	1,68	7,80	2,90	1,15	0,94	7,72	3,62	1,99	1,82	1,22	0,67	0,68	0,50	1,31	1,24	26,76	<b>22,25</b>
Clorofila <i>a</i>	5,731	2,400	7,601	2,640	12,282	3,505	6,875	3,420	25,244	4,575	9,323	3,340	7,878	4,450	5,049	2,430	11,921	3,750	23,827	<b>10,430</b>
Cobre dissolvido	0,0040	0,0040	0,0041	0,0040	0,0041	0,0040	0,0042	0,0040	0,0040	0,0040	0,0043	0,0040	0,0043	0,0040	0,0043	0,0040	0,0044	0,0040	0,0046	0,0040
Coliformes termotolerantes	5209	900	28861	2800	30213	5000	13093	1300	41784	<b>7000</b>	18229	1700	5362	700	10533	750	7109	500	14588	800
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	116,76	72,85	89,13	54,40	111,13	69,20	48,89	49,25	154,75	117,50	123,14	79,90	74,09	65,30	37,45	27,35	57,80	58,80	392,52	<b>331,00</b>
Cor verdadeira	75,6	28,0	97,1	55,0	125,9	<b>57,0</b>	195,0	38,0	101,9	40,0	135,7	53,0	186,8	42,5	131,7	50,0	133,9	45,0	117,1	51,0
Demanda Bioquímica de Oxigênio	2,1	2,0	4,5	2,0	4,0	2,0	2,1	2,0	5,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0	2,2	2,0	2,0	2,0	3,8	2,0
Demanda Química de Oxigênio	11,0	7,9	20,8	12,0	18,7	13,0	14,3	9,6	23,5	16,0	19,1	14,0	14,3	12,0	14,3	12,0	14,5	13,0	26,2	<b>20,0</b>
Dureza total	56,50	34,75	24,29	16,45	27,68	21,30	21,41	21,40	51,47	46,15	57,52	33,80	35,73	31,20	20,93	18,10	30,40	29,50	136,70	<b>139,00</b>
Fenóis totais	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
Ferro dissolvido	0,197	0,100	0,467	<b>0,260</b>	0,241	0,180	0,272	0,120	0,151	0,107	0,111	0,075	0,140	0,100	0,106	0,092	0,084	0,070	0,136	0,090
Fósforo total	0,05	0,03	0,13	0,05	0,16	0,06	0,07	0,04	0,21	<b>0,10</b>	0,05	0,03	0,06	0,04	0,05	0,03	0,06	0,03	0,23	0,07
Magnésio total	2,61	1,90	1,66	1,40	1,96	1,80	1,84	1,70	2,71	2,40	2,87	2,35	2,99	2,55	1,57	1,40	2,27	2,25	7,24	<b>6,75</b>
Manganês total	0,0920	0,0679	0,1027	0,0651	0,2823	0,1420	0,1338	0,0591	0,3836	<b>0,1710</b>	0,1731	0,0572	0,1015	0,0449	0,0904	0,0438	0,1022	0,0695	0,1103	0,0739
Níquel total	0,0050	0,0040	0,0055	0,0040	0,0061	0,0040	0,0071	0,0040	0,0109	0,0040	0,0073	0,0040	0,0074	0,0040	0,0069	0,0040	0,0065	0,0040	0,0057	0,0040

**Tabela I.32.** Médias e medianas de cada parâmetro, por UPGRH. Os valores destacados correspondem às medianas mais altas encontradas para cada parâmetro (para Oxigênio Dissolvido foram destacados os valores mais baixos) (continuação).

Parâmetro	SF1		SF2		SF3		SF4		SF5		SF6		SF7		SF8		SF9		SF10	
	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana	Média	Mediana
Nitrato	0,26	0,12	0,28	0,15	0,37	0,21	0,14	0,11	0,59	<b>0,28</b>	0,16	0,13	0,21	0,09	0,08	0,05	0,14	0,10	0,83	0,16
Nitrogênio amoniacal total	0,12	0,10	1,06	0,10	1,03	0,12	0,17	0,10	1,62	<b>0,19</b>	0,15	0,10	0,12	0,10	0,12	0,10	0,12	0,10	2,44	0,12
Oxigênio dissolvido	6,74	6,90	6,48	7,00	6,33	6,90	6,71	7,10	6,25	6,70	7,20	7,30	7,35	7,30	7,20	7,20	7,42	7,40	4,99	<b>5,20</b>
pH <i>in loco</i>	6,64	6,60	6,44	6,40	6,59	6,50	6,39	6,40	6,80	6,70	7,13	7,10	6,91	6,90	6,60	6,60	7,03	7,00	7,20	<b>7,30</b>
Potássio dissolvido	1,059	0,860	2,037	1,629	2,242	1,670	1,450	1,504	2,009	1,188	1,878	1,781	1,251	1,219	0,872	0,780	1,484	1,469	5,814	<b>4,585</b>
Sódio dissolvido	2,33	1,76	7,75	3,69	10,57	5,27	2,43	2,42	7,91	3,41	3,04	2,78	2,07	1,69	1,35	1,26	1,88	1,81	26,90	<b>15,34</b>
Sólidos dissolvidos totais	84,68	62,00	73,44	59,00	92,71	71,00	50,88	50,00	103,27	88,00	101,74	83,50	70,85	69,00	50,64	46,00	64,03	59,00	236,95	<b>212,00</b>
Sólidos em suspensão totais	78,27	42,50	66,27	26,00	84,84	34,00	135,49	20,00	176,70	44,00	205,02	39,00	124,22	27,00	137,87	26,00	159,43	<b>57,00</b>	46,95	21,50
Sólidos totais	165,12	136,50	141,55	94,00	168,49	109,00	194,36	72,50	279,96	170,50	311,89	167,00	193,52	107,00	189,53	80,00	223,94	107,00	289,75	<b>274,50</b>
Substâncias tensoativas	0,06	0,05	0,12	0,05	0,14	0,05	0,06	0,05	0,15	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,09	0,05
Sulfato total	3,08	1,45	4,87	2,35	6,30	4,00	2,50	1,30	8,49	6,90	3,75	4,00	2,42	1,60	2,18	1,10	2,85	2,60	14,05	<b>13,35</b>
Temperatura da água	24,5	24,6	23,8	23,9	24,7	24,7	24,1	24,0	24,8	24,9	25,3	25,2	25,5	25,7	26,1	25,9	26,8	<b>26,7</b>	26,0	26,1
Turbidez	87,55	34,80	69,13	25,70	88,50	30,30	208,75	27,40	167,36	31,50	270,31	<b>40,00</b>	165,09	24,05	159,25	30,50	168,99	34,90	64,56	14,70
Zinco total	0,039	0,032	0,030	0,020	0,040	0,023	0,038	0,024	0,051	0,037	0,046	0,037	0,041	0,031	0,036	0,028	0,040	0,030	0,082	<b>0,051</b>

**Tabela I.33.** Limites legais estabelecidos pela DN COPAM/CERH 01/08, por classe de enquadramento, para água doce.

Parâmetro	Unidade	Valores máximos permitidos		
		Classe 1	Classe 2	Classe 3
Alcalinidade total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	- <sup>1</sup>	-	-
Alumínio dissolvido	mg/L Al	0,1	0,1	0,2
Arsênio total	mg/L As	0,01	0,01	0,033
Bário total	mg/L Ba	0,7	0,7	1,0
Cálcio total	mg/L Ca	-	-	-
Chumbo total	mg/L Pb	0,01	0,01	0,033
Cianeto livre	mg/L CN	0,005	0,005	0,022
Cloreto total	mg/L Cl	250	250	250
Clorofila <i>a</i>	µg/L	10	30	60
Cobre dissolvido	mg/L Cu	0,009	0,009	0,013
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	200	1000	4000
Condutividade elétrica <i>in loco</i>	µmho/cm	-	-	-
Cor verdadeira	mg/L Pt	-	75	75
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L O <sub>2</sub>	3	5	10
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O <sub>2</sub>	-	-	-
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	-	-	-
Fenóis totais	mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	0,003	0,003	0,01
Ferro dissolvido	mg/L Fe	0,3	0,3	5,0
Fósforo total	mg/L P	0,1	0,1	0,15
Magnésio total	mg/L Mg	-	-	-
Manganês total	mg/L Mn	0,1	0,1	0,5
Níquel total	mg/L Ni	0,025	0,025	0,025
Nitrato	mg/L N	10,0	10,0	10,0
Nitrogênio amoniacal total	mg/L N	3,7: pH ≤ 7,5 2,0: 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0: 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5: pH > 8,5	3,7: pH ≤ 7,5 2,0: 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0: 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5: pH > 8,5	13,3: pH ≤ 7,5 5,6: 7,5 < pH ≤ 8,0 2,2: 8,0 < pH ≤ 8,5 1,0: pH > 8,5
Oxigênio dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>	6	5	4
pH <i>in loco</i>		6 - 9	6 - 9	6 - 9
Potássio dissolvido	mg/L K	-	-	-
Sódio dissolvido	mg/L Na	-	-	-
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500	500	500
Sólidos em suspensão totais	mg/L	50	100	100
Sólidos totais	mg/L	-	-	-
Substâncias tensoativas	mg/L LAS	0,5	0,5	0,5
Sulfato total	mg/L SO <sub>4</sub>	250	250	250
Temperatura da água	°C	-	-	-
Turbidez	UNT	40	100	100
Zinco total	mg/L Zn	0,18	0,18	5

OBS: <sup>1</sup> Parâmetro sem limite legal estabelecido pela legislação.

## **APÊNDICE II**

Tabelas com resultados relacionados ao Capítulo 5:

### **ESTUDO DAS TENDÊNCIAS TEMPORAIS E ESPACIAIS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DA SUB-BACIA DO RIO DAS VELHAS**

**Tabela II.1.** Resultados da estatística descritiva do parâmetro Arsênio Total (mg/L As), em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estações	Número de coletas	% dados faltantes	% dados válidos	% dados censurados	Média	Desv. padrão	Média geom.	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose	Outlier inferior	Outlier superior	Número de outliers	% de outliers
BV013	62	8,82	91,18	51,61	0,0042	0,0084	0,0011	0,0003	0,0003	0,0004	0,0040	0,0120	3,76	17,45	-0,0052	0,00951	8,00	12,90
BV035	40	41,18	58,82	72,50	0,0030	0,0071	0,0007	0,0003	0,0003	0,0003	0,0013	0,0077	3,51	13,49	-0,0012	0,0029	7,00	17,50
BV037	68	0,00	100,00	60,29	0,0062	0,0168	0,0010	0,0003	0,0003	0,0003	0,0031	0,0191	5,24	33,14	-0,0039	0,0073	12,00	17,65
BV062	78	0,00	100,00	1,28	0,0697	0,0533	0,0506	0,0220	0,0395	0,0607	0,0928	0,1150	2,72	12,18	-0,0406	0,1729	2,00	2,56
BV063	78	0,00	100,00	2,56	0,0137	0,0140	0,0093	0,0032	0,0075	0,0116	0,0158	0,0242	4,87	33,12	-0,0049	0,0282	5,00	6,41
BV067	68	0,00	100,00	1,47	0,0105	0,0109	0,0077	0,0040	0,0061	0,0081	0,0105	0,0187	4,17	22,17	-0,0007	0,0173	9,00	13,24
BV076	20	50,00	50,00	35,00	0,0059	0,0104	0,0017	0,0003	0,0003	0,0019	0,0074	0,0115	2,63	6,82	-0,0103	0,0180	2,00	10,00
BV083	57	16,18	83,82	7,02	0,0117	0,0143	0,0067	0,0018	0,0050	0,0071	0,0119	0,0262	3,21	13,03	-0,0054	0,0223	8,00	14,04
BV105	57	16,18	83,82	1,75	0,0178	0,0117	0,0144	0,0081	0,0109	0,0142	0,0198	0,0323	1,91	4,42	-0,0025	0,0332	5,00	8,77
BV130	20	50,00	50,00	60,00	0,0016	0,0027	0,0006	0,0003	0,0003	0,0003	0,0007	0,0058	2,32	4,95	-0,0003	0,0012	4,00	20,00
BV135	20	50,00	50,00	60,00	0,0015	0,0030	0,0006	0,0003	0,0003	0,0003	0,0010	0,0033	2,95	8,40	-0,0007	0,0019	3,00	15,00
BV137	68	0,00	100,00	0,00	0,0310	0,0205	0,0253	0,0136	0,0189	0,0276	0,0351	0,0562	2,39	9,92	-0,0052	0,0592	6,00	8,82
BV139	68	0,00	100,00	54,41	0,0024	0,0040	0,0008	0,0003	0,0003	0,0003	0,0030	0,0062	2,47	5,96	-0,0038	0,0071	7,00	10,29
BV140	27	32,50	67,50	59,26	0,0014	0,0023	0,0006	0,0003	0,0003	0,0003	0,0010	0,0038	2,65	6,92	-0,0007	0,0020	5,00	18,52
BV141	68	0,00	100,00	0,00	0,0420	0,0302	0,0337	0,0181	0,0251	0,0342	0,0497	0,0712	2,31	6,90	-0,0118	0,0866	4,00	5,88
BV142	68	0,00	100,00	1,47	0,0454	0,0327	0,0342	0,0128	0,0257	0,0360	0,0581	0,0836	1,76	4,42	-0,0229	0,1067	4,00	5,88
BV143	20	50,00	50,00	80,00	0,0006	0,0007	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0013	2,97	9,20	0,0003	0,0003	4,00	20,00
BV146	68	0,00	100,00	1,47	0,0247	0,0203	0,0187	0,0102	0,0141	0,0188	0,0301	0,0475	2,88	11,66	-0,0098	0,0540	4,00	5,88
BV147	20	50,00	50,00	80,00	0,0008	0,0014	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0013	2,95	7,92	0,0003	0,0003	4,00	20,00
BV148	68	0,00	100,00	1,47	0,0192	0,0126	0,0145	0,0080	0,0129	0,0164	0,0255	0,0323	2,02	7,19	-0,0060	0,0444	3,00	4,41
BV149	68	0,00	100,00	1,47	0,0170	0,0125	0,0131	0,0066	0,0108	0,0141	0,0200	0,0287	2,39	7,65	-0,0031	0,0338	4,00	5,88
BV152	68	0,00	100,00	2,94	0,0308	0,0227	0,0223	0,0083	0,0180	0,0261	0,0341	0,0642	1,69	3,18	-0,0063	0,0584	9,00	13,24
BV153	68	0,00	100,00	1,47	0,0195	0,0196	0,0142	0,0075	0,0113	0,0146	0,0206	0,0281	3,93	19,79	-0,0027	0,0346	6,00	8,82
BV154	20	50,00	50,00	70,00	0,0014	0,0036	0,0005	0,0003	0,0003	0,0003	0,0012	0,0017	4,30	18,89	-0,0010	0,0024	1,00	5,00
BV155	20	50,00	50,00	60,00	0,0015	0,0023	0,0007	0,0003	0,0003	0,0003	0,0013	0,0043	2,27	5,22	-0,0012	0,0029	4,00	20,00
BV156	68	0,00	100,00	1,47	0,0411	0,0268	0,0306	0,0123	0,0252	0,0360	0,0522	0,0691	1,37	2,77	-0,0154	0,0928	4,00	5,88
BV160	20	50,00	50,00	65,00	0,0017	0,0038	0,0006	0,0003	0,0003	0,0003	0,0011	0,0029	3,96	16,59	-0,0009	0,0023	4,00	20,00
BV161	40	0,00	100,00	67,50	0,0013	0,0033	0,0005	0,0003	0,0003	0,0003	0,0007	0,0024	5,33	30,74	-0,0003	0,0014	6,00	15,00
BV162	20	50,00	50,00	70,00	0,0006	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0005	0,0012	2,15	4,66	-0,0001	0,0009	5,00	25,00



**Tabela II.2.** Resultados da estatística descritiva do parâmetro Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml), em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estações	Número de coletas	% dados faltantes	% dados válidos	% dados censurados	Média	Desv. Padrão	Média geom.	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose	Outlier inferior	Outlier superior	Número de outliers	% de outliers
BV013	67	1,47	98,53	5,97	11461	27555	842	30	100	1300	6000	30000	3,58	14,31	-8750	14850	11,00	16,42
BV035	66	2,94	97,06	31,82	97308	62438	41373	990	50000	90000	160000	160000	-0,31	-1,47	-115000	325000	0,00	0,00
BV037	67	1,47	98,53	2,99	25448	39350	9019	2060	5000	11000	27000	66000	2,63	6,35	-28000	60000	7,00	10,45
BV062	77	1,28	98,72	58,44	119960	61238	70932	15800	90000	160000	160000	160000	-1,03	-0,71	-15000	265000	0,00	0,00
BV063	78	0,00	100,00	5,13	46998	53163	21166	5000	8750	28000	50000	160000	1,39	0,49	-53125	111875	12,00	15,38
BV067	68	0,00	100,00	4,41	33614	48056	12912	1610	7000	13000	30000	111000	1,95	2,52	-27500	64500	11,00	16,18
BV076	40	0,00	100,00	32,50	124482	52963	100438	24000	90000	160000	160000	160000	-1,11	-0,27	-15000	265000	0,00	0,00
BV083	68	0,00	100,00	61,76	126009	57826	90752	17000	90000	160000	160000	160000	-1,28	-0,13	-15000	265000	0,00	0,00
BV105	68	0,00	100,00	55,88	122807	58962	77190	20500	90000	160000	160000	160000	-1,12	-0,48	-15000	265000	0,00	0,00
BV130	40	0,00	100,00	7,50	30941	47945	10492	1660	4500	12000	25500	97000	2,11	3,23	-27000	57000	6,00	15,00
BV135	40	0,00	100,00	7,50	2628	5143	385	50	88	300	2225	7400	2,81	8,26	-3119	5431	5,00	12,50
BV137	68	0,00	100,00	17,65	51987	64640	15180	1295	7000	15500	107500	160000	1,02	-0,82	-143750	258250	0,00	0,00
BV139	67	1,47	98,53	4,48	23849	35481	8824	1100	5000	13000	24000	50000	2,88	8,32	-23500	52500	6,00	8,96
BV140	39	2,50	97,50	0,00	1192	2092	326	50	100	220	950	3400	2,27	4,31	-1175	2225	7,00	17,95
BV141	67	1,47	98,53	8,96	12442	34583	828	23	95	1100	5000	26400	3,79	13,79	-7263	12358	10,00	14,93
BV142	65	4,41	95,59	4,62	4868	11281	405	23	50	300	2300	14600	3,23	10,35	-3325	5675	13,00	20,00
BV143	37	7,50	92,50	2,70	1388	4397	166	23	40	130	500	1940	4,52	21,30	-650	1190	6,00	16,22
BV146	61	10,29	89,71	1,64	5961	21783	572	30	130	700	1700	7000	6,27	43,27	-2225	4055	9,00	14,75
BV147	36	10,00	90,00	5,56	11619	37203	382	30	50	255	1100	17500	3,82	13,91	-1525	2675	7,00	19,44
BV148	63	7,35	92,65	11,11	12061	34637	516	9	30	800	5000	23600	3,89	14,63	-7425	12455	12,00	19,05
BV149	63	7,35	92,65	7,94	14219	37152	654	23	75	800	3750	35000	3,27	10,12	-5438	9263	12,00	19,05
BV152	63	7,35	92,65	7,94	5019	20514	432	30	70	800	2300	6600	7,21	54,77	-3275	5645	7,00	11,11
BV153	68	0,00	100,00	51,47	115259	61584	75241	23800	50000	160000	160000	160000	-0,78	-1,20	-115000	325000	0,00	0,00
BV154	40	0,00	100,00	70,00	137329	51338	102243	33200	160000	160000	160000	160000	-1,97	2,20	160000	160000	7,00	17,50
BV155	40	0,00	100,00	75,00	136845	49961	107833	46400	160000	160000	160000	160000	-1,97	2,42	160000	160000	8,00	20,00
BV156	66	2,94	97,06	7,58	19244	43385	1821	95	300	1700	11000	50000	2,74	6,36	-15750	27050	10,00	15,15
BV160	40	0,00	100,00	30,00	113139	60692	57288	880	80000	160000	160000	160000	-0,83	-0,86	-40000	280000	0,00	0,00
BV161	38	5,00	95,00	2,63	5765	26183	296	58	80	230	500	5000	5,85	35,04	-550	1130	7,00	18,42
BV162	36	10,00	90,00	0,00	513	782	172	30	50	110	700	1500	2,11	4,19	-925	1675	4,00	11,11

**Tabela II.3.** Resultados da estatística descritiva do parâmetro DBO (mg/L O<sub>2</sub>), em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estações	Número de coletas	% dados faltantes	% dados válidos	% dados censurados	Média	Desv. Padrão	Média geom.	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose	Outlier inferior	Outlier superior	Número de outliers	% de outliers
BV013	68	0,00	100,00	88,24	2,0	0,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	6,56	44,70	2,0	2,0	2,00	2,94
BV035	68	0,00	100,00	25,00	3,1	1,2	2,9	2,0	2,0	3,0	4,0	5,0	0,81	-0,35	-1,0	7,0	0,00	0,00
BV037	68	0,00	100,00	73,53	2,2	0,5	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,4	3,85	15,61	2,0	2,0	11,00	16,18
BV062	40	48,72	51,28	0,00	10,9	5,0	9,9	5,9	7,8	10,0	13,3	17,0	0,95	0,92	-0,5	21,5	2,00	5,00
BV063	68	12,82	87,18	42,65	2,4	0,8	2,3	2,0	2,0	2,0	2,7	3,0	2,49	6,61	0,9	3,8	4,00	5,88
BV067	68	0,00	100,00	66,18	2,1	0,4	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	3,45	13,24	2,0	2,0	12,00	17,65
BV076	40	0,00	100,00	2,50	5,7	2,3	5,2	3,0	4,0	6,0	7,0	9,0	0,52	-0,20	-0,6	11,5	0,00	0,00
BV083	68	0,00	100,00	4,41	10,1	9,4	7,8	3,3	4,8	7,6	13,0	18,3	3,83	20,84	-7,6	25,3	3,00	4,41
BV105	68	0,00	100,00	1,47	11,7	8,5	9,2	3,8	5,3	10,4	14,3	20,6	1,72	4,04	-8,2	27,7	4,00	5,88
BV130	40	0,00	100,00	2,50	5,6	2,5	5,2	3,9	4,0	5,0	6,0	9,0	1,55	2,69	1,0	9,0	4,00	10,00
BV135	40	0,00	100,00	80,00	2,4	1,6	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	5,76	34,79	2,0	2,0	6,00	15,00
BV137	68	0,00	100,00	1,47	7,3	6,2	6,1	3,3	4,6	6,0	8,0	9,7	3,74	16,10	-0,6	13,1	4,00	5,88
BV139	68	0,00	100,00	88,24	2,1	0,7	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	7,44	58,29	2,0	2,0	4,00	5,88
BV140	40	0,00	100,00	70,00	2,4	1,0	2,3	2,0	2,0	2,0	2,1	3,4	3,05	10,58	1,8	2,3	10,00	25,00
BV141	68	0,00	100,00	27,94	5,5	6,7	4,0	2,0	2,0	3,9	6,3	9,2	4,74	27,97	-4,5	12,8	4,00	5,88
BV142	68	0,00	100,00	50,00	3,4	2,6	2,9	2,0	2,0	2,0	4,0	6,0	3,04	11,96	-1,0	7,0	5,00	7,35
BV143	40	0,00	100,00	87,50	2,0	0,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	6,32	40,00	2,0	2,0	1,00	2,50
BV146	68	0,00	100,00	57,35	3,3	2,3	2,8	2,0	2,0	2,0	4,0	6,0	2,38	6,20	-1,0	7,0	4,00	5,88
BV147	40	0,00	100,00	90,00	2,1	0,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	4,29	17,29	2,0	2,0	2,00	5,00
BV148	68	0,00	100,00	55,88	2,9	2,0	2,6	2,0	2,0	2,0	3,0	4,3	2,99	9,04	0,5	4,5	7,00	10,29
BV149	68	0,00	100,00	57,35	2,7	1,2	2,5	2,0	2,0	2,0	3,0	4,1	2,17	4,53	0,5	4,5	5,00	7,35
BV152	68	0,00	100,00	47,06	3,3	2,8	2,8	2,0	2,0	2,0	3,4	5,3	4,40	24,75	-0,1	5,6	7,00	10,29
BV153	68	0,00	100,00	4,41	12,1	10,7	9,2	4,0	5,5	9,3	13,3	20,3	2,64	8,57	-6,2	24,9	6,00	8,82
BV154	40	0,00	100,00	0,00	36,6	30,9	27,5	12,7	16,8	26,0	46,3	69,3	1,86	3,47	-27,5	90,5	3,00	7,50
BV155	40	0,00	100,00	2,50	40,2	24,4	32,0	17,7	22,0	32,0	57,0	73,4	0,87	0,29	-30,5	109,5	1,00	2,50
BV156	68	0,00	100,00	8,82	6,4	4,9	5,2	2,3	3,8	5,0	7,3	10,3	2,48	6,82	-1,5	12,6	5,00	7,35
BV160	40	0,00	100,00	2,50	7,8	3,9	6,9	4,0	4,9	6,7	10,3	14,0	0,67	-0,55	-3,1	18,3	0,00	0,00
BV161	40	0,00	100,00	62,50	2,6	1,3	2,4	2,0	2,0	2,0	2,2	4,0	2,83	8,71	1,7	2,6	10,00	25,00
BV162	40	0,00	100,00	87,50	2,0	0,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	6,23	39,15	2,0	2,0	2,00	5,00

**Tabela II.4.** Resultados da estatística descritiva do parâmetro Fósforo Total (mg/L P), em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estações	Número de coletas	% dados faltantes	% dados válidos	% dados censurados	Média	Desv. Padrão	Média geom.	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose	Outlier inferior	Outlier superior	Número de outliers	% de outliers
BV013	68	0,00	100,00	22,06	0,05	0,07	0,03	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08	3,16	10,90	-0,03	0,10	6,00	8,82
BV035	40	41,18	58,82	0,00	0,16	0,12	0,13	0,07	0,10	0,13	0,17	0,33	1,87	2,81	-0,01	0,28	5,00	12,50
BV037	68	0,00	100,00	1,47	0,10	0,17	0,06	0,03	0,04	0,05	0,08	0,20	4,94	29,49	-0,02	0,14	11,00	16,18
BV062	40	48,72	51,28	0,00	0,36	0,17	0,30	0,16	0,25	0,36	0,46	0,53	0,24	0,07	-0,07	0,78	0,00	0,00
BV063	68	12,82	87,18	0,00	0,10	0,08	0,08	0,04	0,06	0,08	0,11	0,17	2,58	7,86	-0,02	0,19	5,00	7,35
BV067	68	0,00	100,00	0,00	0,10	0,09	0,07	0,03	0,05	0,06	0,11	0,19	2,47	6,73	-0,04	0,19	7,00	10,29
BV076	40	0,00	100,00	0,00	0,18	0,08	0,16	0,09	0,12	0,17	0,22	0,30	0,51	-0,20	-0,03	0,37	1,00	2,50
BV083	68	0,00	100,00	0,00	0,40	0,27	0,31	0,11	0,20	0,33	0,53	0,74	1,34	2,92	-0,30	1,03	1,00	1,47
BV105	68	0,00	100,00	0,00	0,52	0,32	0,40	0,16	0,26	0,48	0,70	0,99	0,58	-0,52	-0,40	1,36	0,00	0,00
BV130	40	0,00	100,00	0,00	0,20	0,09	0,17	0,09	0,15	0,19	0,27	0,30	-0,04	-0,33	-0,04	0,45	0,00	0,00
BV135	40	0,00	100,00	7,50	0,04	0,03	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05	0,08	1,41	2,05	-0,03	0,10	2,00	5,00
BV137	68	0,00	100,00	1,47	0,39	0,25	0,30	0,12	0,23	0,32	0,54	0,76	0,99	0,72	-0,25	1,02	1,00	1,47
BV139	68	0,00	100,00	4,41	0,06	0,07	0,04	0,02	0,03	0,04	0,07	0,11	4,13	22,19	-0,03	0,13	7,00	10,29
BV140	40	0,00	100,00	0,00	0,18	0,08	0,16	0,09	0,12	0,16	0,24	0,28	0,74	0,22	-0,07	0,43	0,00	0,00
BV141	68	0,00	100,00	0,00	0,27	0,18	0,22	0,12	0,18	0,24	0,30	0,38	2,92	12,21	-0,01	0,48	5,00	7,35
BV142	68	0,00	100,00	0,00	0,22	0,14	0,19	0,11	0,14	0,19	0,25	0,42	2,38	7,52	-0,03	0,42	7,00	10,29
BV143	40	0,00	100,00	20,00	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01	0,03	0,04	0,07	3,33	14,85	-0,04	0,09	1,00	2,50
BV146	40	0,00	100,00	1,47	0,12	0,06	0,11	0,06	0,08	0,11	0,15	0,20	0,80	0,94	-0,03	0,26	1,00	1,47
BV147	40	0,00	100,00	22,50	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,05	0,08	1,49	2,14	-0,05	0,11	2,00	5,00
BV148	68	0,00	100,00	0,00	0,10	0,05	0,09	0,05	0,07	0,08	0,11	0,14	2,18	6,18	0,01	0,17	6,00	8,82
BV149	68	0,00	100,00	0,00	0,08	0,05	0,07	0,04	0,05	0,06	0,10	0,14	1,87	4,14	-0,03	0,18	4,00	5,88
BV152	68	0,00	100,00	0,00	0,16	0,12	0,13	0,07	0,10	0,14	0,18	0,27	3,67	18,76	-0,03	0,30	6,00	8,82
BV153	68	0,00	100,00	1,47	0,44	0,30	0,35	0,18	0,26	0,35	0,60	1,01	1,18	0,65	-0,26	1,11	3,00	4,41
BV154	40	0,00	100,00	0,00	1,20	0,81	0,92	0,39	0,53	0,99	1,63	2,33	0,84	-0,02	-1,12	3,27	1,00	2,50
BV155	40	0,00	100,00	0,00	0,97	0,69	0,73	0,26	0,41	0,79	1,39	2,01	0,82	-0,20	-1,07	2,87	0,00	0,00
BV156	68	0,00	100,00	2,94	0,29	0,15	0,23	0,14	0,20	0,29	0,37	0,46	0,51	1,51	-0,06	0,63	1,00	1,47
BV160	40	0,00	100,00	2,50	0,21	0,10	0,17	0,08	0,13	0,21	0,29	0,33	-0,16	-0,92	-0,12	0,54	0,00	0,00
BV161	40	0,00	100,00	2,50	0,08	0,04	0,07	0,05	0,06	0,07	0,10	0,13	1,46	3,42	-0,01	0,16	1,00	2,50
BV162	40	0,00	100,00	17,50	0,04	0,05	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,13	2,21	3,78	-0,02	0,06	6,00	15,00

**Tabela II.5.** Resultados da estatística descritiva do parâmetro Manganês Total (mg/L Mn), em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estações	Número de coletas	% dados faltantes	% dados válidos	% dados censurados	Média	Dev. Padrão	Média geom.	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose	Outlier inferior	Outlier superior	Número de outliers	% de outliers
BV013	40	41,18	58,82	0,00	0,5036	0,6437	0,2654	0,0718	0,1058	0,2000	0,5855	1,4928	2,02	3,83	-0,6139	1,3051	6,00	15,00
BV035	68	0,00	100,00	0,00	0,9181	1,7252	0,3932	0,1460	0,1685	0,2515	0,6278	1,9219	3,17	10,06	-0,5205	1,3167	10,00	14,71
BV037	40	41,18	58,82	0,00	0,8565	1,6563	0,3037	0,0900	0,1300	0,1856	0,4838	2,3700	2,84	7,79	-0,4006	1,0144	7,00	17,50
BV062	40	48,72	51,28	0,00	0,4205	0,4769	0,3476	0,2042	0,2538	0,3270	0,4073	0,5059	5,68	34,37	0,0235	0,6375	3,00	7,50
BV063	40	48,72	51,28	0,00	0,7545	0,8839	0,4593	0,1629	0,2483	0,3140	0,7950	1,8887	2,05	3,92	-0,5719	1,6151	5,00	12,50
BV067	40	41,18	58,82	0,00	0,6697	0,8459	0,3927	0,1324	0,2115	0,2785	0,6163	1,6955	2,13	3,85	-0,3956	1,2234	8,00	20,00
BV076	40	0,00	100,00	0,00	0,1450	0,1261	0,1205	0,0718	0,0815	0,1090	0,1516	0,2083	3,71	16,15	-0,0236	0,2567	4,00	10,00
BV083	40	41,18	58,82	0,00	0,8415	1,0287	0,5087	0,2140	0,2703	0,3785	0,7483	2,3883	2,00	3,08	-0,4468	1,4653	7,00	17,50
BV105	40	41,18	58,82	0,00	0,8147	1,1537	0,5148	0,2762	0,3100	0,4110	0,4760	1,8356	3,50	14,35	0,0610	0,7250	9,00	22,50
BV130	40	0,00	100,00	0,00	0,1781	0,0841	0,1645	0,0990	0,1298	0,1581	0,2005	0,2691	2,61	10,00	0,0236	0,3066	2,00	5,00
BV135	40	0,00	100,00	0,00	0,0915	0,0802	0,0757	0,0399	0,0568	0,0695	0,0925	0,1434	4,07	20,32	0,0032	0,1461	4,00	10,00
BV137	40	41,18	58,82	0,00	0,7923	0,7978	0,5668	0,2060	0,3660	0,5120	0,9028	1,8421	2,58	7,99	-0,4391	1,7079	5,00	12,50
BV139	40	41,18	58,82	0,00	0,4899	0,8259	0,2523	0,0951	0,1273	0,1970	0,3673	0,9829	3,34	12,16	-0,2328	0,7273	5,00	12,50
BV140	40	0,00	100,00	0,00	0,0958	0,0976	0,0662	0,0269	0,0370	0,0635	0,1184	0,1927	2,56	8,19	-0,0851	0,2405	4,00	10,00
BV141	40	41,18	58,82	0,00	0,5989	0,7198	0,3106	0,0766	0,1121	0,2990	0,8445	1,4822	2,22	6,36	-0,9866	1,9432	1,00	2,50
BV142	40	41,18	58,82	0,00	0,5109	0,5610	0,2392	0,0423	0,0805	0,1780	0,7493	1,4922	1,10	-0,08	-0,9226	1,7524	2,00	5,00
BV143	40	0,00	100,00	0,00	0,0572	0,0537	0,0441	0,0237	0,0261	0,0410	0,0583	0,1127	3,32	13,77	-0,0223	0,1066	5,00	12,50
BV146	40	41,18	58,82	0,00	0,2686	0,3146	0,1412	0,0344	0,0498	0,1040	0,3433	0,7463	1,65	1,91	-0,3904	0,7834	4,00	10,00
BV147	20	50,00	50,00	0,00	0,0541	0,0576	0,0336	0,0118	0,0159	0,0236	0,0803	0,1043	1,99	4,90	-0,0808	0,1770	1,00	5,00
BV148	40	41,18	58,82	0,00	0,1676	0,2123	0,0922	0,0279	0,0508	0,0700	0,1666	0,4143	2,11	4,26	-0,1230	0,3403	8,00	20,00
BV149	40	41,18	58,82	0,00	0,1309	0,1636	0,0784	0,0303	0,0419	0,0685	0,1175	0,2641	2,26	4,33	-0,0715	0,2309	6,00	15,00
BV152	40	41,18	58,82	0,00	0,3375	0,3880	0,1685	0,0408	0,0700	0,1205	0,4590	0,9685	1,50	1,62	-0,5135	1,0425	3,00	7,50
BV153	40	41,18	58,82	0,00	0,7168	0,9992	0,5020	0,2818	0,3128	0,4415	0,5428	1,2703	4,34	21,39	-0,0323	0,8878	7,00	17,50
BV154	40	0,00	100,00	0,00	0,1925	0,0560	0,1849	0,1214	0,1657	0,1830	0,2183	0,2529	0,89	1,83	0,0868	0,2972	2,00	5,00
BV155	40	0,00	100,00	0,00	0,6178	0,4948	0,5308	0,3613	0,4160	0,4800	0,5968	0,7600	3,74	15,39	0,1449	0,8679	3,00	7,50
BV156	40	41,18	58,82	0,00	0,7466	0,7834	0,4610	0,1322	0,2455	0,4615	0,8475	2,1312	1,69	2,09	-0,6575	1,7505	6,00	15,00
BV160	40	0,00	100,00	0,00	0,2310	0,1320	0,2035	0,1178	0,1474	0,1815	0,2690	0,4095	1,60	2,09	-0,0350	0,4514	3,00	7,50
BV161	40	0,00	100,00	0,00	0,0917	0,0706	0,0716	0,0316	0,0390	0,0751	0,1215	0,1666	1,87	4,43	-0,0848	0,2453	2,00	5,00
BV162	40	0,00	100,00	2,50	0,0497	0,0505	0,0340	0,0138	0,0189	0,0310	0,0565	0,1131	1,97	3,53	-0,0376	0,1129	5,00	12,50

**Tabela II.6.** Resultados da estatística descritiva do parâmetro Nitrito (mg/L N), em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estações	Número de coletas	% dados faltantes	% dados válidos	% dados censurados	Média	Desv. Padrão	Média geom.	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose	Outlier inferior	Outlier superior	Número de outliers	% de outliers
BV013	42	0,00	100,00	0,00	0,20	0,14	0,16	0,10	0,10	0,15	0,23	0,30	2,52	7,94	-0,09	0,42	2,00	4,76
BV035	68	0,00	100,00	5,88	0,14	0,12	0,10	0,03	0,06	0,14	0,17	0,24	3,07	13,15	-0,11	0,34	2,00	2,94
BV037	68	0,00	100,00	0,00	0,17	0,10	0,14	0,06	0,12	0,17	0,22	0,28	1,10	2,37	-0,04	0,37	4,00	5,88
BV062	78	0,00	100,00	0,00	0,48	0,50	0,34	0,11	0,17	0,38	0,63	0,86	4,36	27,79	-0,52	1,33	1,00	1,28
BV063	78	0,00	100,00	3,85	0,23	0,14	0,18	0,08	0,12	0,22	0,31	0,42	0,75	0,44	-0,16	0,59	2,00	2,56
BV067	68	0,00	100,00	1,47	0,29	0,15	0,25	0,12	0,18	0,26	0,37	0,48	1,28	2,09	-0,11	0,66	2,00	2,94
BV076	40	0,00	100,00	0,00	0,70	0,37	0,60	0,29	0,46	0,65	0,85	1,14	1,03	1,53	-0,12	1,43	1,00	2,50
BV083	68	0,00	100,00	0,00	0,45	0,28	0,37	0,16	0,27	0,42	0,58	0,79	1,15	1,68	-0,20	1,04	3,00	4,41
BV105	68	0,00	100,00	2,94	0,38	0,26	0,26	0,06	0,23	0,33	0,52	0,73	1,01	1,54	-0,21	0,96	2,00	2,94
BV130	40	0,00	100,00	0,00	0,81	0,40	0,71	0,40	0,58	0,75	1,05	1,45	0,81	0,33	-0,11	1,74	1,00	2,50
BV135	40	0,00	100,00	0,00	0,13	0,08	0,10	0,03	0,08	0,12	0,15	0,19	1,45	2,84	-0,04	0,27	3,00	7,50
BV137	68	0,00	100,00	0,00	0,52	0,51	0,31	0,06	0,14	0,47	0,76	0,99	2,40	9,72	-0,80	1,69	2,00	2,94
BV139	68	0,00	100,00	0,00	0,22	0,17	0,18	0,08	0,10	0,18	0,28	0,42	2,68	11,83	-0,17	0,56	1,00	1,47
BV140	40	0,00	100,00	0,00	1,46	0,96	1,04	0,32	0,82	1,27	2,08	3,02	0,53	-0,58	-1,07	3,96	0,00	0,00
BV141	68	0,00	100,00	0,00	1,48	1,00	1,02	0,28	0,70	1,37	2,04	2,93	0,70	0,18	-1,32	4,06	1,00	1,47
BV142	68	0,00	100,00	0,00	1,75	1,17	1,33	0,39	0,72	1,51	2,43	3,28	0,81	0,08	-1,85	4,99	0,00	0,00
BV143	40	0,00	100,00	2,50	0,15	0,08	0,13	0,06	0,10	0,15	0,19	0,27	0,75	0,60	-0,04	0,32	1,00	2,50
BV146	68	0,00	100,00	0,00	0,96	0,72	0,68	0,20	0,40	0,70	1,37	2,01	0,88	-0,06	-1,05	2,81	1,00	1,47
BV147	40	0,00	100,00	2,50	0,13	0,08	0,11	0,04	0,07	0,12	0,16	0,25	1,01	0,89	-0,07	0,30	1,00	2,50
BV148	68	0,00	100,00	1,47	0,88	0,67	0,59	0,17	0,28	0,77	1,21	1,95	0,76	-0,42	-1,10	2,59	0,00	0,00
BV149	68	0,00	100,00	1,47	0,82	0,63	0,56	0,17	0,32	0,74	1,08	1,81	0,91	-0,06	-0,82	2,22	4,00	5,88
BV152	68	0,00	100,00	0,00	1,16	0,85	0,87	0,32	0,52	0,93	1,80	2,42	1,15	0,91	-1,40	3,72	1,00	1,47
BV153	68	0,00	100,00	4,41	0,40	0,30	0,26	0,04	0,17	0,40	0,56	0,75	1,15	2,26	-0,43	1,16	1,00	1,47
BV154	39	2,50	97,50	2,56	0,30	0,38	0,11	0,01	0,03	0,15	0,48	0,76	1,52	1,64	-0,65	1,16	2,00	5,13
BV155	40	0,00	100,00	7,50	0,65	0,79	0,25	0,03	0,08	0,34	0,85	1,80	1,72	2,75	-1,08	2,01	3,00	7,50
BV156	68	0,00	100,00	0,00	0,95	0,69	0,65	0,19	0,39	0,86	1,33	1,83	0,84	0,25	-1,03	2,75	1,00	1,47
BV160	39	2,50	97,50	0,00	0,43	0,34	0,27	0,05	0,14	0,37	0,64	0,87	0,71	-0,16	-0,61	1,39	0,00	0,00
BV161	40	0,00	100,00	0,00	0,91	0,89	0,56	0,10	0,30	0,75	1,19	2,15	1,88	4,10	-1,04	2,52	3,00	7,50
BV162	40	0,00	100,00	5,00	0,14	0,16	0,10	0,03	0,07	0,11	0,16	0,20	4,66	25,69	-0,07	0,30	2,00	5,00

**Tabela II.7.** Resultados da estatística descritiva do parâmetro Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L N), em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estações	Número de coletas	% dados faltantes	% dados válidos	% dados censurados	Média	Desv. Padrão	Média geom.	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose	Outlier inferior	Outlier superior	Número de outliers	% de outliers
BV013	42	38,24	61,76	38,10	0,20	0,14	0,16	0,10	0,10	0,15	0,23	0,30	2,52	7,94	-0,09	0,42	2,00	4,76
BV035	40	41,18	58,82	5,00	0,50	0,25	0,43	0,20	0,33	0,50	0,61	0,80	0,90	1,59	-0,09	1,03	1,00	2,50
BV037	42	38,24	61,76	42,86	0,20	0,14	0,17	0,10	0,10	0,12	0,29	0,40	1,68	3,21	-0,18	0,56	1,00	2,38
BV062	40	48,72	51,28	0,00	1,92	1,23	1,55	0,78	1,00	1,50	2,71	3,61	0,92	0,18	-1,58	5,28	0,00	0,00
BV063	42	46,15	53,85	16,67	0,41	0,35	0,30	0,10	0,19	0,30	0,50	0,99	1,65	2,49	-0,29	0,97	5,00	11,90
BV067	42	38,24	61,76	30,95	0,26	0,30	0,19	0,10	0,10	0,19	0,26	0,50	3,31	11,55	-0,13	0,49	6,00	14,29
BV076	40	0,00	100,00	7,50	0,64	0,42	0,49	0,20	0,28	0,60	1,00	1,20	0,68	-0,12	-0,81	2,09	0,00	0,00
BV083	42	38,24	61,76	4,76	2,83	2,78	1,67	0,29	0,95	2,20	4,08	5,87	2,15	6,44	-3,75	8,77	2,00	4,76
BV105	42	38,24	61,76	0,00	4,53	3,58	3,29	1,08	1,74	3,68	6,35	8,98	1,32	1,76	-5,18	13,27	1,00	2,38
BV130	40	0,00	100,00	0,00	1,61	1,28	1,16	0,40	0,59	1,09	2,41	3,26	0,85	-0,38	-2,13	5,13	0,00	0,00
BV135	40	0,00	100,00	52,50	0,19	0,19	0,15	0,10	0,10	0,10	0,20	0,40	2,61	6,63	-0,05	0,35	5,00	12,50
BV137	42	38,24	61,76	0,00	3,78	3,15	2,45	0,50	1,09	3,25	6,00	7,68	1,02	0,74	-6,27	13,36	0,00	0,00
BV139	42	38,24	61,76	54,76	0,27	0,44	0,16	0,10	0,10	0,10	0,20	0,30	3,31	10,03	-0,05	0,35	4,00	9,52
BV140	40	0,00	100,00	40,00	0,19	0,13	0,17	0,10	0,10	0,18	0,22	0,30	2,73	10,22	-0,08	0,40	2,00	5,00
BV141	42	38,24	61,76	16,67	1,07	1,23	0,50	0,10	0,20	0,30	1,89	2,69	1,41	1,95	-2,33	4,42	1,00	2,38
BV142	42	38,24	61,76	30,95	0,35	0,45	0,22	0,10	0,10	0,20	0,32	0,73	2,78	7,88	-0,23	0,66	6,00	14,29
BV143	40	0,00	100,00	55,00	0,17	0,13	0,14	0,10	0,10	0,10	0,20	0,30	2,67	8,18	-0,05	0,35	3,00	7,50
BV146	42	38,24	61,76	47,62	0,26	0,54	0,16	0,10	0,10	0,10	0,20	0,30	6,06	38,17	-0,05	0,35	3,00	7,14
BV147	40	0,00	100,00	67,50	0,18	0,27	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	4,68	23,04	0,10	0,10	9,00	22,50
BV148	42	38,24	61,76	64,29	0,19	0,24	0,14	0,10	0,10	0,10	0,18	0,29	3,74	15,36	-0,02	0,31	4,00	9,52
BV149	42	38,24	61,76	61,90	0,14	0,10	0,13	0,10	0,10	0,10	0,11	0,29	2,97	9,99	0,09	0,13	10,00	23,81
BV152	42	38,24	61,76	47,62	0,22	0,25	0,16	0,10	0,10	0,11	0,20	0,40	3,66	14,40	-0,05	0,35	6,00	14,29
BV153	42	38,24	61,76	2,38	4,62	4,35	2,75	0,55	1,20	3,25	7,32	10,34	1,36	1,88	-7,98	16,49	1,00	2,38
BV154	40	0,00	100,00	0,00	12,49	6,62	10,39	3,98	7,39	11,00	17,15	21,85	0,19	-1,08	-7,25	31,79	0,00	0,00
BV155	40	0,00	100,00	0,00	11,80	6,81	9,15	3,09	5,75	12,30	16,05	20,81	0,14	-0,94	-9,70	31,50	0,00	0,00
BV156	42	38,24	61,76	7,14	2,28	2,04	1,19	0,18	0,31	2,09	3,50	5,02	0,87	0,52	-4,47	8,28	1,00	2,38
BV160	40	0,00	100,00	2,50	2,58	2,09	1,75	0,50	0,93	1,99	3,75	5,64	0,93	-0,13	-3,30	7,97	0,00	0,00
BV161	40	0,00	100,00	35,00	0,40	0,69	0,22	0,10	0,10	0,20	0,30	0,80	4,07	18,89	-0,20	0,60	5,00	12,50
BV162	40	0,00	100,00	57,50	0,21	0,25	0,15	0,10	0,10	0,10	0,20	0,32	2,94	8,51	-0,05	0,35	4,00	10,00

**Tabela II.8.** Resultados da estatística descritiva do parâmetro OD (mg/L O<sub>2</sub>), em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estações	Número de coletas	% dados faltantes	% dados válidos	% dados censurados	Média	Desv. Padrão	Média geom.	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose	Outlier inferior	Outlier superior	Número de outliers	% de outliers
BV013	68	0,00	100,00	0,00	7,40	0,42	7,39	6,97	7,10	7,40	7,70	7,80	0,11	1,48	6,20	8,60	1,00	1,47
BV035	68	0,00	100,00	0,00	7,07	0,59	7,04	6,27	6,70	7,10	7,53	7,80	-0,74	0,81	5,46	8,76	1,00	1,47
BV037	68	0,00	100,00	0,00	7,94	0,56	7,92	7,40	7,70	7,95	8,30	8,56	-1,99	9,68	6,80	9,20	1,00	1,47
BV062	78	0,00	100,00	0,00	5,14	1,16	4,99	3,50	4,33	5,30	6,00	6,43	-0,36	-0,51	1,81	8,51	0,00	0,00
BV063	78	0,00	100,00	0,00	7,25	0,55	7,23	6,70	6,90	7,20	7,60	8,03	0,30	0,22	5,85	8,65	1,00	1,28
BV067	68	0,00	100,00	0,00	7,26	0,63	7,23	6,54	6,90	7,20	7,60	8,09	0,21	0,37	5,85	8,65	3,00	4,41
BV076	40	0,00	100,00	0,00	6,63	0,81	6,57	5,69	6,28	6,70	7,03	7,41	-0,93	2,67	5,15	8,15	3,00	7,50
BV083	68	0,00	100,00	0,00	5,96	0,91	5,88	4,64	5,48	6,20	6,60	6,90	-0,80	-0,04	3,79	8,29	1,00	1,47
BV105	68	0,00	100,00	5,88	2,99	1,87	2,29	0,67	1,18	2,70	4,70	5,60	0,17	-1,43	-4,11	9,99	0,00	0,00
BV130	40	0,00	100,00	0,00	4,72	0,67	4,67	3,70	4,30	4,85	5,20	5,50	-0,54	-0,63	2,95	6,55	0,00	0,00
BV135	40	0,00	100,00	0,00	7,17	0,57	7,15	6,50	6,80	7,10	7,50	8,01	0,63	0,10	5,75	8,55	1,00	2,50
BV137	68	0,00	100,00	2,94	2,97	1,05	2,69	1,17	2,50	3,15	3,73	4,06	-0,76	-0,01	0,66	5,56	3,00	4,41
BV139	68	0,00	100,00	0,00	7,50	0,53	7,48	6,80	7,18	7,50	7,80	8,30	0,43	-0,28	6,24	8,74	1,00	1,47
BV140	40	0,00	100,00	0,00	6,51	0,67	6,47	5,69	6,00	6,45	6,93	7,43	0,36	-0,34	4,61	8,31	0,00	0,00
BV141	68	0,00	100,00	0,00	5,90	2,17	5,53	3,57	5,08	5,70	6,40	7,67	1,39	3,74	3,09	8,39	12,00	17,65
BV142	68	0,00	100,00	0,00	6,64	2,18	6,33	4,81	5,58	6,30	7,10	8,68	1,55	3,63	3,29	9,39	9,00	13,24
BV143	40	0,00	100,00	0,00	7,22	0,56	7,19	6,59	6,80	7,20	7,50	7,91	0,32	0,06	5,75	8,55	0,00	0,00
BV146	68	0,00	100,00	0,00	7,81	2,36	7,49	5,74	6,48	7,00	8,93	11,73	1,09	1,07	2,80	12,60	6,00	8,82
BV147	40	0,00	100,00	0,00	6,98	0,71	6,94	6,20	6,48	6,80	7,33	7,91	0,63	0,17	5,20	8,60	1,00	2,50
BV148	68	0,00	100,00	0,00	7,61	1,88	7,43	6,00	6,50	6,90	8,33	10,03	1,85	4,82	3,76	11,06	3,00	4,41
BV149	68	0,00	100,00	0,00	7,49	2,11	7,25	5,77	6,10	6,60	8,00	10,73	1,65	2,40	3,25	10,85	5,00	7,35
BV152	68	0,00	100,00	0,00	7,65	2,12	7,38	5,60	6,28	6,80	8,55	10,89	0,76	-0,23	2,86	11,96	4,00	5,88
BV153	68	0,00	100,00	5,88	2,49	1,65	1,96	0,67	1,18	2,05	3,75	4,56	0,78	-0,01	-2,69	7,61	0,00	0,00
BV154	40	0,00	100,00	15,00	2,35	1,87	1,66	0,50	0,85	1,40	4,30	4,90	0,74	-0,87	-4,33	9,48	0,00	0,00
BV155	40	0,00	100,00	0,00	2,98	1,83	2,36	0,80	1,10	3,00	4,13	5,45	0,36	-0,99	-3,44	8,66	0,00	0,00
BV156	68	0,00	100,00	1,47	3,84	1,19	3,58	2,22	3,18	4,05	4,60	5,00	-0,53	0,73	1,04	6,74	2,00	2,94
BV160	40	0,00	100,00	0,00	5,07	0,91	4,98	3,60	4,60	5,30	5,83	6,00	-0,90	-0,32	2,76	7,66	0,00	0,00
BV161	40	0,00	100,00	0,00	5,56	1,20	5,40	3,77	4,70	6,00	6,40	6,71	-0,97	0,09	2,15	8,95	0,00	0,00
BV162	40	0,00	100,00	0,00	6,86	0,53	6,84	6,29	6,48	6,75	7,20	7,62	0,67	-0,21	5,39	8,29	0,00	0,00

**Tabela II.9.** Resultados da estatística descritiva do parâmetro SST (mg/L), em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estações	Número de coletas	% dados faltantes	% dados válidos	% dados censurados	Média	Desv. Padrão	Média geom.	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose	Outlier inferior	Outlier superior	Número de outliers	% de outliers
BV013	40	41,18	58,82	5,00	90,53	186,72	19,69	2,00	5,00	14,00	80,25	286,60	3,60	15,22	-107,88	193,13	5,00	12,50
BV035	68	0,00	100,00	0,00	208,84	432,13	42,30	7,70	11,00	24,50	122,25	795,40	2,65	6,11	-155,88	289,13	11,00	16,18
BV037	40	41,18	58,82	0,00	230,40	534,14	34,44	5,00	8,75	19,50	81,75	763,40	3,19	11,01	-100,75	191,25	7,00	17,50
BV062	78	0,00	100,00	0,00	103,63	299,56	36,18	13,70	20,00	29,50	48,75	98,20	5,20	28,29	-23,13	91,88	8,00	10,26
BV063	78	0,00	100,00	1,28	240,42	432,42	69,19	14,00	18,50	51,50	219,25	830,30	2,87	9,42	-282,63	520,38	11,00	14,10
BV067	40	41,18	58,82	0,00	194,65	301,94	55,44	6,00	18,75	40,50	234,50	587,30	2,02	3,37	-304,88	558,13	5,00	12,50
BV076	40	0,00	100,00	0,00	49,38	105,57	17,52	4,90	6,00	15,00	41,25	123,90	4,82	26,56	-46,88	94,13	6,00	15,00
BV083	40	41,18	58,82	0,00	262,68	502,16	86,80	24,80	34,50	51,00	196,25	775,70	3,07	10,03	-208,13	438,88	6,00	15,00
BV105	40	41,18	58,82	0,00	199,45	318,13	84,50	23,90	33,50	55,00	189,00	555,60	2,50	6,04	-199,75	422,25	7,00	17,50
BV130	40	0,00	100,00	0,00	181,08	451,48	79,40	22,90	37,00	77,50	145,75	258,90	5,69	34,30	-126,13	308,88	4,00	10,00
BV135	40	0,00	100,00	0,00	34,75	55,94	13,29	2,90	4,00	12,00	35,75	93,60	2,83	8,88	-43,63	83,38	5,00	12,50
BV137	40	41,18	58,82	0,00	270,48	462,00	118,95	40,90	48,00	79,00	239,50	801,50	3,41	14,12	-239,25	526,75	7,00	17,50
BV139	40	41,18	58,82	0,00	93,75	177,06	28,19	4,90	9,50	25,50	88,00	287,90	3,02	9,70	-108,25	205,75	5,00	12,50
BV140	40	0,00	100,00	0,00	81,80	132,63	37,71	10,80	15,00	36,50	85,25	218,60	3,63	15,93	-90,38	190,63	5,00	12,50
BV141	40	41,18	58,82	0,00	201,13	295,82	68,23	10,00	17,75	59,00	295,25	570,30	2,10	4,25	-398,50	711,50	3,00	7,50
BV142	40	41,18	58,82	0,00	225,83	276,24	95,42	17,80	32,50	64,50	384,25	692,30	1,43	1,39	-495,13	911,88	1,00	2,50
BV143	40	0,00	100,00	2,50	43,38	72,62	17,28	4,00	6,00	13,00	45,00	142,10	3,29	12,87	-52,50	103,50	5,00	12,50
BV146	40	41,18	58,82	0,00	116,90	147,22	55,71	15,40	22,75	44,50	161,50	329,00	1,84	2,96	-185,38	369,63	3,00	7,50
BV147	40	0,00	100,00	5,00	46,53	85,68	17,64	3,00	8,00	18,00	42,25	96,10	4,07	19,61	-43,38	93,63	2,00	5,00
BV148	40	41,18	58,82	2,50	90,55	123,83	41,41	10,00	19,75	38,00	96,25	279,00	2,13	3,86	-95,00	211,00	5,00	12,50
BV149	40	41,18	58,82	0,00	74,53	118,98	35,11	9,80	19,00	26,50	67,75	163,40	3,16	11,61	-54,13	140,88	6,00	15,00
BV152	40	41,18	58,82	0,00	158,90	204,69	72,33	13,90	31,50	50,00	195,75	514,70	1,60	1,35	-214,88	442,13	6,00	15,00
BV153	40	41,18	58,82	0,00	365,05	1117,65	104,62	29,50	45,75	76,50	226,00	613,10	5,71	34,34	-224,63	496,38	6,00	15,00
BV154	40	0,00	100,00	0,00	80,33	59,42	64,97	33,60	41,25	67,50	102,50	138,30	2,52	9,63	-50,63	194,38	1,00	2,50
BV155	40	0,00	100,00	0,00	106,38	163,51	67,79	30,90	42,50	61,00	96,25	129,90	4,08	18,25	-38,13	176,88	4,00	10,00
BV156	40	41,18	58,82	0,00	322,95	595,29	111,78	27,00	40,25	76,00	236,50	973,00	3,11	10,54	-254,13	530,88	7,00	17,50
BV160	40	0,00	100,00	0,00	213,13	492,17	89,19	24,00	36,75	70,00	182,75	318,20	5,25	30,14	-182,25	401,75	4,00	10,00
BV161	40	0,00	100,00	0,00	79,23	205,90	28,85	8,00	14,75	22,50	52,00	124,60	5,40	31,53	-41,13	107,88	4,00	10,00
BV162	40	0,00	100,00	5,00	64,03	156,00	15,88	2,90	6,00	14,50	25,00	164,70	4,40	22,11	-22,50	53,50	8,00	20,00



**Tabela II.10. Resultados da estatística descritiva do parâmetro Turbidez (UNT), em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.**

Estações	Número de coletas	% dados faltantes	% dados válidos	% dados censurados	Média	Desv. Padrão	Média geom.	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose	Outlier inferior	Outlier superior	Número de outliers	% de outliers
BV013	68	0,00	100,00	0,00	110,35	239,41	26,06	3,69	6,66	20,75	83,55	246,20	3,61	14,54	-108,68	198,89	10,00	14,71
BV035	68	0,00	100,00	0,00	203,43	421,33	44,44	6,89	12,68	25,65	139,50	557,40	2,73	6,72	-177,56	329,74	10,00	14,71
BV037	68	0,00	100,00	0,00	263,29	628,64	37,93	6,11	9,27	20,05	116,25	746,40	3,30	11,44	-151,21	276,72	11,00	16,18
BV062	78	0,00	100,00	0,00	120,51	459,36	24,00	7,34	10,43	17,05	35,95	118,60	6,79	51,57	-27,86	74,24	9,00	11,54
BV063	78	0,00	100,00	0,00	222,75	382,96	64,86	9,06	16,05	46,65	240,50	835,30	2,88	10,04	-320,63	577,18	9,00	11,54
BV067	68	0,00	100,00	0,00	241,72	532,35	51,65	6,07	10,78	34,30	198,25	693,90	4,68	27,59	-270,42	479,45	10,00	14,71
BV076	40	0,00	100,00	0,00	59,23	138,87	15,13	2,98	6,08	8,51	29,75	135,60	4,07	18,51	-29,43	65,26	8,00	20,00
BV083	68	0,00	100,00	0,00	233,08	467,37	62,12	13,15	21,93	36,60	175,25	800,20	3,35	13,59	-208,06	405,24	12,00	17,65
BV105	68	0,00	100,00	0,00	200,74	432,14	57,27	12,00	22,85	33,50	100,00	670,70	4,33	23,96	-92,88	215,73	13,00	19,12
BV130	40	0,00	100,00	0,00	181,84	488,63	63,45	11,79	26,33	52,35	147,50	275,20	5,66	34,00	-155,44	329,26	4,00	10,00
BV135	40	0,00	100,00	0,00	47,51	84,77	17,24	3,96	6,54	13,25	26,40	154,70	3,12	11,64	-23,25	56,19	8,00	20,00
BV137	68	0,00	100,00	0,00	253,85	515,12	72,42	13,34	22,93	46,55	199,00	762,70	3,66	15,75	-241,19	463,11	11,00	16,18
BV139	68	0,00	100,00	0,00	106,42	191,12	30,81	5,69	9,25	22,90	92,63	405,10	2,51	5,95	-115,83	217,70	10,00	14,71
BV140	40	0,00	100,00	0,00	77,12	144,16	28,63	6,27	12,33	23,40	42,95	266,00	3,56	15,12	-33,61	88,89	8,00	20,00
BV141	68	0,00	100,00	0,00	236,54	478,67	58,25	6,00	15,63	35,45	305,75	650,00	5,00	32,11	-419,56	740,94	5,00	7,35
BV142	68	0,00	100,00	0,00	215,28	282,38	77,80	14,90	22,45	48,25	337,00	646,70	1,61	1,98	-449,38	808,83	3,00	4,41
BV143	40	0,00	100,00	0,00	44,26	64,78	20,41	4,23	6,61	18,95	54,85	109,50	3,01	10,79	-65,75	127,21	2,00	5,00
BV146	68	0,00	100,00	0,00	120,77	161,57	51,30	11,18	15,48	46,00	159,00	349,90	1,98	3,55	-199,81	374,29	4,00	5,88
BV147	40	0,00	100,00	0,00	89,57	168,19	27,34	3,40	6,41	31,05	92,25	231,10	3,62	14,90	-122,36	221,01	5,00	12,50
BV148	68	0,00	100,00	0,00	112,69	152,90	44,35	7,49	12,18	38,30	180,75	308,10	1,99	3,92	-240,69	433,61	4,00	5,88
BV149	68	0,00	100,00	0,00	90,39	145,09	36,42	9,10	14,18	31,00	101,40	239,20	3,04	11,12	-116,66	232,24	7,00	10,29
BV152	68	0,00	100,00	0,00	148,67	194,68	57,61	10,06	21,28	39,55	204,00	505,90	1,57	1,41	-252,81	478,09	8,00	11,76
BV153	68	0,00	100,00	0,00	321,90	990,45	67,04	13,34	21,95	39,05	224,75	747,70	6,66	49,73	-282,25	528,95	10,00	14,71
BV154	40	0,00	100,00	0,00	56,04	61,82	40,74	18,83	23,80	35,60	63,68	122,30	3,55	15,71	-36,01	123,49	4,00	10,00
BV155	40	0,00	100,00	0,00	99,65	218,78	45,95	17,92	23,58	42,05	63,38	95,50	3,98	15,36	-36,13	123,08	4,00	10,00
BV156	68	0,00	100,00	0,00	299,62	570,27	83,53	13,75	25,43	59,80	280,00	927,60	2,99	9,33	-356,44	661,86	8,00	11,76
BV160	40	0,00	100,00	0,00	188,90	389,18	91,20	27,30	37,80	87,80	205,00	339,10	5,29	30,62	-213,00	455,80	2,00	5,00
BV161	40	0,00	100,00	0,00	107,69	279,77	26,90	5,49	9,43	19,05	85,40	174,80	5,01	27,85	-104,53	199,36	4,00	10,00
BV162	40	0,00	100,00	0,00	63,50	161,79	12,61	1,71	3,51	10,10	33,73	190,70	4,74	25,60	-41,82	79,05	7,00	17,50

**Tabela II.11. Resultados da estatística descritiva do parâmetro IQA, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.**

Estações	Número de coletas	% dados faltantes	% dados válidos	% dados censurados	Média	Desv. Padrão	Média geom.	Percentil 10	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose	Outlier inferior	Outlier superior	Número de outliers	% de outliers
BV013	67	1,47	98,53	0,00	66,38	14,24	64,72	45,30	56,90	67,30	77,60	82,82	-0,38	-0,77	25,85	108,65	0,00	0,00
BV035	66	2,94	97,06	0,00	49,43	9,73	48,56	38,15	44,70	48,80	51,40	63,35	1,04	1,34	34,65	61,45	9,00	13,64
BV037	67	1,47	98,53	0,00	56,99	10,55	55,99	42,34	50,55	58,10	63,30	69,04	0,04	-0,24	31,43	82,43	0,00	0,00
BV062	77	1,28	98,72	0,00	42,71	7,75	42,08	34,34	39,00	42,60	45,00	49,12	1,50	5,56	30,00	54,00	7,00	9,09
BV063	78	0,00	100,00	0,00	50,93	10,69	49,85	38,67	41,20	53,05	59,08	62,81	0,53	0,45	14,39	85,89	1,00	1,28
BV067	67	0,00	100,00	0,00	53,97	10,77	52,89	39,04	44,10	56,30	62,38	67,71	0,01	-1,02	16,69	89,79	0,00	0,00
BV076	40	0,00	100,00	0,00	46,56	5,15	46,27	38,40	44,00	47,33	50,38	52,22	-0,37	0,10	34,44	59,94	1,00	2,50
BV083	68	0,00	100,00	0,00	40,19	5,56	39,81	34,81	36,40	39,45	43,80	46,74	0,23	1,30	25,30	54,90	2,00	2,94
BV105	68	0,00	100,00	0,00	32,34	7,79	31,41	22,94	26,43	32,65	36,98	41,43	0,52	1,23	10,60	52,80	1,00	1,47
BV130	40	0,00	100,00	0,00	45,09	7,38	44,49	35,28	38,85	45,35	50,53	55,45	0,11	-0,95	21,34	68,04	0,00	0,00
BV135	40	0,00	100,00	0,00	69,74	12,79	68,48	50,36	62,65	71,40	79,28	81,79	-0,58	-0,56	37,71	104,21	0,00	0,00
BV137	68	0,00	100,00	0,00	37,75	9,18	36,56	26,51	30,63	39,10	43,95	48,82	-0,03	-0,24	10,64	63,94	0,00	0,00
BV139	67	1,47	98,53	0,00	57,77	10,56	56,82	43,46	51,40	57,50	63,65	69,04	0,38	0,55	33,03	82,03	2,00	2,99
BV140	39	2,50	97,50	0,00	63,09	8,98	62,40	50,02	55,50	67,00	69,05	71,56	-0,90	0,05	35,18	89,38	0,00	0,00
BV141	67	1,47	98,53	0,00	53,17	13,19	51,44	35,36	42,20	50,40	64,10	68,88	-0,12	-0,89	9,35	96,95	0,00	0,00
BV142	65	4,41	95,59	0,00	55,48	11,76	54,18	39,94	44,90	55,30	66,00	69,86	-0,13	-1,09	13,25	97,65	0,00	0,00
BV143	37	7,50	92,50	0,00	73,05	11,36	72,03	60,18	67,60	75,70	82,50	83,14	-1,26	1,55	45,25	104,85	2,00	5,41
BV146	61	10,29	89,71	0,00	58,92	10,97	57,90	46,60	50,10	56,90	67,90	74,80	0,09	-1,02	23,40	94,60	0,00	0,00
BV147	36	10,00	90,00	0,00	67,87	11,96	66,78	53,55	58,95	69,55	79,10	82,65	-0,30	-0,92	28,73	109,33	0,00	0,00
BV148	63	7,35	92,65	0,00	60,74	12,06	59,59	46,62	50,10	58,00	71,30	77,82	0,34	-1,11	18,30	103,10	0,00	0,00
BV149	63	7,35	92,65	0,00	61,44	11,67	60,36	46,30	52,05	59,70	70,90	77,22	0,26	-0,94	23,78	99,18	0,00	0,00
BV152	63	7,35	92,65	0,00	58,10	11,73	56,91	45,18	48,05	55,80	68,40	73,74	0,10	-0,91	17,53	98,93	0,00	0,00
BV153	68	0,00	100,00	0,00	31,13	6,99	30,35	22,85	27,23	30,73	34,60	38,55	0,47	0,87	16,16	45,66	1,00	1,47
BV154	40	0,00	100,00	0,00	25,09	8,09	23,86	16,12	18,73	23,40	31,55	35,51	0,49	-0,85	-0,51	50,79	0,00	0,00
BV155	40	0,00	100,00	0,00	25,52	6,31	24,74	17,62	19,65	26,15	30,03	33,01	0,13	-0,85	4,09	45,59	0,00	0,00
BV156	66	2,94	97,06	0,00	46,32	12,81	44,24	28,35	37,20	48,40	56,85	60,70	-0,47	-0,66	7,73	86,33	0,00	0,00
BV160	40	0,00	100,00	0,00	40,15	6,76	39,63	34,27	35,75	38,75	41,48	50,66	1,02	0,86	27,16	50,06	5,00	12,50
BV161	38	5,00	95,00	0,00	63,36	10,90	62,29	44,54	58,05	66,70	70,65	74,82	-1,08	0,39	39,15	89,55	1,00	2,63
BV162	36	10,00	90,00	0,00	73,62	11,18	72,67	53,95	69,23	77,75	82,23	83,50	-1,15	0,20	49,73	101,73	0,00	0,00

**Tabela II.12.** Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro Arsênio Total, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estação	Corpo d'água	Correlação de Spearman <sup>1</sup>	Teste Kruskal-Wallis <sup>2</sup>	Influência de Sazonalidade	Teste Mann-Kendall <sup>2</sup>	Tau de Kendall <sup>3</sup>	S <sup>3</sup>	Teste Sazonal de Mann-Kendall <sup>2</sup>	Tau de Kendall <sup>3</sup>	S <sup>3</sup>	Tendência
BV013	Rio das Velhas	0,150	<b>0,025</b>	Sim				0,830	-0,041	-4,0	Sem tendência
BV035	Rio Itabirito	<b>-0,361</b>	0,054	Não	<b>0,025</b>	-0,281	-152,0				Redução
BV037	Rio das Velhas	-0,004	<b>0,000</b>	Sim				0,107	-0,242	-30,0	Sem tendência
BV062	Ribeirão Água Suja	0,210	<b>0,010</b>	Sim				0,561	0,078	14,0	Sem tendência
BV063	Rio das Velhas	<b>0,237</b>	0,934	Não	<b>0,025</b>	0,174	521,0				Elevação
BV067	Rio das Velhas	0,102	0,330	Não	0,424	0,067	152,0				Sem tendência
BV076	Ribeirão Sabará	0,087	1,000	Não	0,572	0,101	18,0				Sem tendência
BV083	Rio das Velhas	0,253	<b>0,010</b>	Sim				0,257	0,194	16,0	Sem tendência
BV105	Rio das Velhas	0,182	0,108	Não	0,132	0,138	220,0				Sem tendência
BV130	Ribeirão da Mata	<b>-0,448</b>	1,000	Não	0,065	-0,334	-51,0				Inconclusivo com possibilidade de Redução <sup>4</sup>
BV135	Rio Taquaraçu	<b>-0,460</b>	1,000	Não	<b>0,047</b>	-0,360	-55,0				Redução
BV137	Rio das Velhas	0,142	0,086	Não	0,213	0,104	236,0				Sem tendência
BV139	Rio das Velhas	0,083	<b>0,008</b>	Sim				0,791	0,063	6,0	Sem tendência
BV140	Ribeirão Jequitibá	-0,096	0,129	Não	0,689	-0,063	-18,0				Sem tendência
BV141	Rio das Velhas	0,206	<b>0,000</b>	Sim				0,964	0,011	2,0	Sem tendência
BV142	Rio das Velhas	<b>0,286</b>	<b>0,004</b>	Sim				0,227	0,156	28,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV143	Rio Paraúna	-0,322	1,000	Não	0,175	-0,260	-30,0				Sem tendência
BV146	Rio das Velhas	0,056	<b>0,022</b>	Sim				0,893	-0,022	-4,0	Sem tendência
BV147	Rio Bicudo	-0,331	1,000	Não	0,147	-0,277	-32,0				Sem tendência
BV148	Rio das Velhas	<b>0,284</b>	<b>0,039</b>	Sim				0,395	0,111	20,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV149	Rio das Velhas	0,121	0,097	Não	0,269	0,092	210,0				Sem tendência
BV152	Rio das Velhas	<b>0,285</b>	<b>0,011</b>	Sim				<b>0,049</b>	0,251	45,0	Elevação
BV153	Rio das Velhas	<b>0,296</b>	0,439	Não	<b>0,023</b>	0,189	430,0				Elevação
BV154	Ribeirão do Onça	-0,360	1,000	Não	0,136	-0,278	-38,0				Sem tendência
BV155	Ribeirão Arrudas	-0,401	1,000	Não	0,051	-0,352	-54,0				Sem tendência
BV156	Rio das Velhas	0,173	<b>0,007</b>	Sim				1,000	0,006	1,0	Sem tendência
BV160	Ribeirão das Neves	<b>-0,566</b>	1,000	Não	<b>0,010</b>	-0,466	-68,0				Redução
BV161	Ribeirão Santo Antônio	-0,202	0,441	Não	0,196	-0,161	-93,0				Sem tendência
BV162	Rio Cipó	<b>-0,447</b>	1,000	Não	0,053	-0,357	-49,0				Inconclusivo com possibilidade de Redução

<sup>1</sup>Valor do coeficiente R de correlação de Spearman. Valores em negrito são estatisticamente significativos (p<0,05).

<sup>2</sup>Valor-p relacionado à estatística do teste. Valores em negrito são estatisticamente significativos (p<0,05).

<sup>3</sup>Valor da estatística do teste.

<sup>4</sup>Os testes Correlação de Spearman e Mann-Kendall não apresentaram o mesmo resultado quanto à significância da tendência.

**Tabela II.13.** Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro Coliformes Termotolerantes, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estação	Corpo d'água	Correlação de Spearman	Teste Kruskal-Wallis	Influência de Sazonalidade	Teste Mann-Kendall	Tau de Kendall	S	Teste Sazonal de Mann-Kendall	Tau de Kendall	S'	Tendência
BV013	Rio das Velhas	<b>0,456</b>	<b>0,001</b>	Sim				0,401	0,118	17,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV035	Rio Itabirito	<b>0,277</b>	0,928	Não	<b>0,030</b>	0,200	373,0				Elevação
BV037	Rio das Velhas	<b>0,301</b>	0,264	Não	<b>0,015</b>	0,209	451,0				Elevação
BV062	Ribeirão Água Suja	-0,108	0,268	Não	0,292	-0,093	-200,0				Sem tendência
BV063	Rio das Velhas	-0,074	<b>0,005</b>	Sim				0,363	-0,121	-21,0	Sem tendência
BV067	Rio das Velhas	0,127	<b>0,006</b>	Sim				0,362	0,085	45,0	Sem tendência
BV076	Ribeirão Sabará	0,294	0,955	Não	0,059	0,238	138,0				Sem tendência
BV083	Rio das Velhas	-0,093	0,095	Não	0,376	-0,085	-133,0				Sem tendência
BV105	Rio das Velhas	-0,184	0,378	Não	0,124	-0,145	-238,0				Sem tendência
BV130	Ribeirão da Mata	-0,140	0,142	Não	0,362	-0,103	-79,0				Sem tendência
BV135	Rio Taquaraçu	0,096	<b>0,024</b>	Sim				0,620	0,069	12,0	Sem tendência
BV137	Rio das Velhas	-0,029	0,282	Não	0,822	-0,020	-43,0				Sem tendência
BV139	Rio das Velhas	0,104	0,246	Não	0,365	0,078	168,0				Sem tendência
BV140	Ribeirão Jequitibá	<b>0,440</b>	<b>0,009</b>	Sim				<b>0,002</b>	0,419	59,0	Elevação
BV141	Rio das Velhas	0,125	<b>0,000</b>	Sim				0,916	0,021	3,0	Sem tendência
BV142	Rio das Velhas	0,180	<b>0,001</b>	Sim				0,496	0,100	14,0	Sem tendência
BV143	Rio Paraúna	0,091	<b>0,033</b>	Sim				0,832	0,035	5,0	Sem tendência
BV146	Rio das Velhas	<b>0,378</b>	<b>0,001</b>	Sim				0,119	0,240	26,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV147	Rio Bicudo	<b>0,675</b>	0,913	Não	< <b>0,0001</b>	0,490	301,0				Elevação
BV148	Rio das Velhas	<b>0,603</b>	0,412	Não	< <b>0,0001</b>	0,414	798,0				Elevação
BV149	Rio das Velhas	<b>0,707</b>	0,249	Não	< <b>0,0001</b>	0,503	966,0				Elevação
BV152	Rio das Velhas	<b>0,447</b>	<b>0,001</b>	Sim				<b>0,004</b>	0,388	55,0	Elevação
BV153	Rio das Velhas	-0,011	0,294	Não	0,907	-0,011	-20,0				Sem tendência
BV154	Ribeirão do Onça	<b>-0,316</b>	0,863	Não	<b>0,050</b>	-0,253	-112,0				Redução
BV155	Ribeirão Arrudas	<b>-0,392</b>	0,796	Não	<b>0,017</b>	-0,308	-144,0				Redução
BV156	Rio das Velhas	0,013	<b>0,000</b>	Sim				0,105	-0,225	-32,0	Sem tendência
BV160	Ribeirão das Neves	-0,103	0,682	Não	0,549	-0,075	-47,0				Sem tendência
BV161	Ribeirão Santo Antônio	0,208	<b>0,032</b>	Sim				0,635	0,077	10,0	Sem tendência
BV162	Rio Cípolo	<b>0,360</b>	<b>0,010</b>	Sim				<b>0,011</b>	0,351	49,0	Elevação

**Tabela II.14. Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro DBO, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.**

Estação	Corpo d'água	Correlação de Spearman	Teste Kruskal-Wallis	Influência da Sazonalidade	Teste Mann-Kendall	Tau de Kendall	S	Teste Sazonal de Mann-Kendall	Tau de Kendall	S'	Tendência
BV013	Rio das Velhas	-0,091	0,562	Não	0,468	-0,074	-41,0				Sem tendência
BV035	Rio Itabirito	-0,063	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,048</b>	-0,214	-40,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV037	Rio das Velhas	-0,081	0,558	Não	0,497	-0,067	-83,0				Sem tendência
BV062	Ribeirão Água Suja	0,069	<b>0,011</b>	Sim				0,964	0,013	2,0	Sem tendência
BV063	Rio das Velhas	-0,064	0,069	Não	0,605	-0,049	-87,0				Sem tendência
BV067	Rio das Velhas	0,060	0,474	Não	0,655	0,044	57,0				Sem tendência
BV076	Ribeirão Sabará	0,080	<b>0,037</b>	Sim				0,891	-0,030	-4,0	Sem tendência
BV083	Rio das Velhas	-0,201	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,027</b>	-0,273	-50,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV105	Rio das Velhas	<b>-0,399</b>	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,002</b>	-0,388	-69,0	Redução
BV130	Ribeirão da Mata	-0,138	0,284	Não	0,385	-0,100	-75,0				Sem tendência
BV135	Rio Taquaraçu	-0,190	0,249	Não	0,250	-0,151	-62,0				Sem tendência
BV137	Rio das Velhas	<b>-0,499</b>	<b>0,009</b>	Sim				<b>&lt; 0,0001</b>	-0,583	-102,0	Redução
BV139	Rio das Velhas	-0,154	<b>0,009</b>	Sim				- <sup>1</sup>	-	-	Sem tendência
BV140	Ribeirão Jequitibá	-0,159	0,623	Não	0,317	-0,129	-66,0				Sem tendência
BV141	Rio das Velhas	-0,233	<b>0,002</b>	Sim				0,072	-0,246	-39,0	Sem tendência
BV142	Rio das Velhas	-0,119	<b>0,003</b>	Sim				0,958	0,030	-2,0	Sem tendência
BV143	Rio Paraúna	-0,271	0,392	Não	0,100	-0,224	-39,0				Sem tendência
BV146	Rio das Velhas	<b>-0,280</b>	<b>0,018</b>	Sim				<b>0,031</b>	-0,251	-42,0	Redução
BV147	Rio Bicudo	-0,119	0,562	Não	0,475	-0,099	-24,0				Sem tendência
BV148	Rio das Velhas	-0,168	<b>0,032</b>	Sim				0,829	0,047	5,0	Sem tendência
BV149	Rio das Velhas	-0,189	0,321	Não	0,137	-0,140	-240,0				Sem tendência
BV152	Rio das Velhas	-0,067	<b>0,005</b>	Sim				0,960	0,016	2,0	Sem tendência
BV153	Rio das Velhas	<b>-0,463</b>	<b>0,014</b>	Sim				<b>0,000</b>	-0,493	-87,0	Redução
BV154	Ribeirão do Onça	<b>-0,357</b>	<b>0,002</b>	Sim				<b>0,001</b>	-0,416	-74,0	Redução
BV155	Ribeirão Arrudas	<b>-0,375</b>	0,174	Não	<b>0,022</b>	-0,255	-197,0				Redução
BV156	Rio das Velhas	<b>-0,345</b>	<b>0,030</b>	Sim				0,072	-0,232	-41,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV160	Ribeirão das Neves	<b>-0,314</b>	<b>0,039</b>	Sim				<b>0,029</b>	-0,286	-49,0	Redução
BV161	Ribeirão Santo Antônio	-0,010	<b>0,004</b>	Sim				-	-	-	Sem tendência
BV162	Rio Cipó	0,256	0,561	Não	0,121	0,208	51,0				Sem tendência

<sup>1</sup>SMK não pode ser calculado devido a presença de seqüências constantes de DBO com valor igual a 2.

**Tabela II.15.** Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro Fósforo Total, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estação	Corpo d'água	Correlação de Spearman	Teste Kruskal-Wallis	Influência da Sazonalidade	Teste Mann-Kendall	Tau de Kendall	S	Teste Sazonal de Mann-Kendall	Tau de Kendall	S'	Tendência
BV013	Rio das Velhas	-0,033	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,044</b>	-0,268	-44,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV035	Rio Itabirito	-0,143	<b>0,005</b>	Sim				0,342	-0,126	-22,0	Sem tendência
BV037	Rio das Velhas	-0,071	<b>0,018</b>	Sim				0,082	-0,227	-39,0	Sem tendência
BV062	Ribeirão Água Suja	-0,041	<b>0,008</b>	Sim				1,000	0,006	1,0	Sem tendência
BV063	Rio das Velhas	<b>-0,240</b>	0,507	Não	0,071	-0,154	-340,0				Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV067	Rio das Velhas	-0,229	0,095	Não	0,079	-0,151	-331,0				Sem tendência
BV076	Ribeirão Sabará	0,106	<b>0,005</b>	Sim				0,928	0,018	3,0	Sem tendência
BV083	Rio das Velhas	-0,183	<b>0,000</b>	Sim				0,127	-0,196	-35,0	Sem tendência
BV105	Rio das Velhas	-0,116	<b>0,000</b>	Sim				0,719	-0,050	-9,0	Sem tendência
BV130	Ribeirão da Mata	0,247	0,058	Não	0,123	0,173	133,0				Sem tendência
BV135	Rio Taquaraçu	-0,103	0,190	Não	0,671	-0,050	-37,0				Sem tendência
BV137	Rio das Velhas	-0,114	<b>0,001</b>	Sim				0,194	-0,167	-30,0	Sem tendência
BV139	Rio das Velhas	-0,226	<b>0,005</b>	Sim				<b>0,024</b>	-0,298	-50,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV140	Ribeirão Jequitibá	0,030	<b>0,000</b>	Sim				0,718	-0,051	-9,0	Sem tendência
BV141	Rio das Velhas	0,121	<b>0,011</b>	Sim				0,341	0,126	22,0	Sem tendência
BV142	Rio das Velhas	0,038	0,101	Não	0,734	0,029	65,0				Sem tendência
BV143	Rio Paraúna	-0,291	<b>0,049</b>	Sim				0,070	-0,242	-40,0	Sem tendência
BV146	Rio das Velhas	0,113	0,078	Não	0,342	0,081	180,0				Sem tendência
BV147	Rio Bicudo	-0,253	<b>0,044</b>	Sim				0,344	-0,119	-20,0	Sem tendência
BV148	Rio das Velhas	0,073	<b>0,000</b>	Sim				1,000	-0,002	0,0	Sem tendência
BV149	Rio das Velhas	-0,117	<b>0,002</b>	Sim				0,964	-0,008	-2,0	Sem tendência
BV152	Rio das Velhas	0,208	0,077	Não	0,067	0,155	346,0				Sem tendência
BV153	Rio das Velhas	-0,099	<b>0,000</b>	Sim				0,964	-0,012	-2,0	Sem tendência
BV154	Ribeirão do Onça	0,176	<b>0,016</b>	Sim				0,788	0,039	7,0	Sem tendência
BV155	Ribeirão Arrudas	0,020	0,289	Não	0,954	0,008	6,0				Sem tendência
BV156	Rio das Velhas	-0,010	<b>0,014</b>	Sim				1,000	-0,006	-1,0	Sem tendência
BV160	Ribeirão das Neves	0,078	<b>0,009</b>	Sim				0,686	0,057	10,0	Sem tendência
BV161	Ribeirão Santo Antônio	<b>0,359</b>	0,529	Não	<b>0,027</b>	0,255	189,0				Elevação
BV162	Rio Cipó	-0,056	<b>0,003</b>	Sim				1,000	0,011	1,0	Sem tendência

**Tabela II.16.** Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro Manganês Total, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estação	Corpo d'água	Correlação de Spearman	Teste Kruskal-Wallis	Influência da Sazonalidade	Teste Mann-Kendall	Tau de Kendall	S	Teste Sazonal de Mann-Kendall	Tau de Kendall	S'	Tendência
BV013	Rio das Velhas	0,136	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,028</b>	0,278	50,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV035	Rio Itabirito	-0,034	<b>0,000</b>	Sim				0,622	-0,067	-12,0	Sem tendência
BV037	Rio das Velhas	-0,003	<b>0,000</b>	Sim				0,283	0,140	25,0	Sem tendência
BV062	Ribeirão Água Suja	<b>-0,394</b>	<b>0,001</b>	Sim				<b>&lt; 0,0001</b>	-0,507	-91,0	Redução
BV063	Rio das Velhas	-0,197	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,044</b>	-0,256	-46,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV067	Rio das Velhas	-0,183	<b>0,000</b>	Sim				0,118	-0,200	-36,0	Sem tendência
BV076	Ribeirão Sabará	-0,126	<b>0,004</b>	Sim				0,754	-0,044	-8,0	Sem tendência
BV083	Rio das Velhas	-0,216	<b>0,000</b>	Sim				0,054	-0,244	-44,0	Sem tendência
BV105	Rio das Velhas	-0,276	<b>0,005</b>	Sim				0,081	-0,222	-40,0	Sem tendência
BV130	Ribeirão da Mata	-0,046	0,220	Não	0,762	-0,035	-27,0				Sem tendência
BV135	Rio Taquaraçu	-0,196	<b>0,000</b>	Sim				0,166	-0,178	-32,0	Sem tendência
BV137	Rio das Velhas	-0,282	0,125	Não	<b>0,027</b>	-0,245	-191,0				Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV139	Rio das Velhas	-0,235	<b>0,000</b>	Sim				0,166	-0,178	-32,0	Sem tendência
BV140	Ribeirão Jequitibá	0,124	<b>0,000</b>	Sim				0,128	0,195	35,0	Sem tendência
BV141	Rio das Velhas	-0,118	<b>0,001</b>	Sim				0,304	-0,133	-24,0	Sem tendência
BV142	Rio das Velhas	-0,083	<b>0,000</b>	Sim				0,447	-0,100	-18,0	Sem tendência
BV143	Rio Paraúna	-0,125	<b>0,003</b>	Sim				0,345	-0,123	-22,0	Sem tendência
BV146	Rio das Velhas	-0,118	<b>0,000</b>	Sim				0,348	-0,122	-22,0	Sem tendência
BV147	Rio Bicudo	-0,188	1,000	Não	0,475	-0,121	-23,0				Sem tendência
BV148	Rio das Velhas	0,035	<b>0,000</b>	Sim				0,502	0,089	16,0	Sem tendência
BV149	Rio das Velhas	-0,098	<b>0,000</b>	Sim				0,395	-0,111	-20,0	Sem tendência
BV152	Rio das Velhas	-0,005	<b>0,000</b>	Sim				0,929	-0,017	-3,0	Sem tendência
BV153	Rio das Velhas	-0,277	<b>0,007</b>	Sim				0,054	-0,244	-44,0	Sem tendência
BV154	Ribeirão do Onça	<b>-0,316</b>	0,184	Não	<b>0,048</b>	-0,220	-171,0				Redução
BV155	Ribeirão Arrudas	<b>-0,436</b>	0,276	Não	<b>0,010</b>	-0,282	-220,0				Redução
BV156	Rio das Velhas	-0,273	<b>0,002</b>	Sim				<b>0,044</b>	-0,256	-46,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV160	Ribeirão das Neves	0,112	0,136	Não	0,571	0,064	50,0				Sem tendência
BV161	Ribeirão Santo Antônio	0,053	<b>0,000</b>	Sim				0,531	0,083	15,0	Sem tendência
BV162	Rio Cipó	-0,091	<b>0,000</b>	Sim				0,128	-0,197	-35,0	Sem tendência

**Tabela II.17.** Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro Nitrato, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estação	Corpo d'água	Correlação de Spearman	Teste Kruskal-Wallis	Influência da Sazonalidade	Teste Mann-Kendall	Tau de Kendall	S	Teste Sazonal de Mann-Kendall	Tau de Kendall	S'	Tendência
BV013	Rio das Velhas	<b>0,592</b>	0,513	Não	< <b>0,0001</b>	0,411	922,0				Elevação
BV035	Rio Itabirito	<b>0,276</b>	0,193	Não	0,058	0,161	359,0				Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV037	Rio das Velhas	<b>0,462</b>	0,211	Não	<b>0,000</b>	0,322	724,0				Elevação
BV062	Ribeirão Água Suja	<b>0,428</b>	0,779	Não	<b>0,000</b>	0,285	851,0				Elevação
BV063	Rio das Velhas	<b>0,376</b>	0,474	Não	<b>0,001</b>	0,256	761,0				Elevação
BV067	Rio das Velhas	<b>0,434</b>	0,594	Não	<b>0,000</b>	0,309	695,0				Elevação
BV076	Ribeirão Sabará	0,088	0,060	Não	0,744	0,037	29,0				Sem tendência
BV083	Rio das Velhas	<b>0,505</b>	0,223	Não	< <b>0,0001</b>	0,362	820,0				Elevação
BV105	Rio das Velhas	<b>0,500</b>	<b>0,001</b>	Sim				<b>0,002</b>	0,385	69,0	Elevação
BV130	Ribeirão da Mata	-0,064	0,192	Não	0,658	-0,050	-39,0				Sem tendência
BV135	Rio Taquaraçu	0,105	0,096	Não	0,674	0,048	37,0				Sem tendência
BV137	Rio das Velhas	<b>0,464</b>	<b>0,005</b>	Sim				<b>0,032</b>	0,273	49,0	Elevação
BV139	Rio das Velhas	<b>0,508</b>	0,290	Não	< <b>0,0001</b>	0,366	824,0				Elevação
BV140	Ribeirão Jequitibá	0,125	<b>0,034</b>	Sim				0,371	0,116	21,0	Sem tendência
BV141	Rio das Velhas	<b>0,329</b>	<b>0,011</b>	Sim				0,128	0,195	35,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV142	Rio das Velhas	<b>0,362</b>	<b>0,001</b>	Sim				1,000	0,006	1,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV143	Rio Paraúna	-0,110	0,250	Não	0,575	-0,064	-49,0				Sem tendência
BV146	Rio das Velhas	0,187	<b>0,000</b>	Sim				0,754	-0,044	-8,0	Sem tendência
BV147	Rio Bicudo	-0,106	0,074	Não	0,434	-0,089	-68,0				Sem tendência
BV148	Rio das Velhas	0,209	<b>0,000</b>	Sim				0,654	-0,061	-11,0	Sem tendência
BV149	Rio das Velhas	<b>0,243</b>	<b>0,000</b>	Sim				1,000	0,006	1,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV152	Rio das Velhas	0,237	<b>0,000</b>	Sim				0,303	-0,136	-24,0	Sem tendência
BV153	Rio das Velhas	<b>0,384</b>	<b>0,016</b>	Sim				<b>0,020</b>	0,295	53,0	Elevação
BV154	Ribeirão do Onça	0,122	<b>0,003</b>	Sim				0,632	0,071	10,0	Sem tendência
BV155	Ribeirão Arrudas	0,012	<b>0,000</b>	Sim				0,787	0,033	7,0	Sem tendência
BV156	Rio das Velhas	<b>0,358</b>	<b>0,015</b>	Sim				0,194	0,167	30,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV160	Ribeirão das Neves	-0,310	<b>0,044</b>	Sim				<b>0,003</b>	-0,405	-58,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV161	Ribeirão Santo Antônio	-0,020	0,051	Não	0,771	-0,033	-26,0				Sem tendência
BV162	Rio Cípolo	0,011	0,368	Não	0,898	0,016	12,0				Sem tendência



**Tabela II.18.** Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro Nitrogênio Amoniacal Total, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estação	Corpo d'água	Correlação de Spearman	Teste Kruskal-Wallis	Influência da Sazonalidade	Teste Mann-Kendall	Tau de Kendall	S	Teste Sazonal de Mann-Kendall	Tau de Kendall	S'	Tendência
BV013	Rio das Velhas	-0,116	0,495	Não	0,539	-0,072	-55,0				Sem tendência
BV035	Rio Itabirito	0,217	<b>0,000</b>	Sim				0,617	0,070	12,0	Sem tendência
BV037	Rio das Velhas	0,062	0,201	Não	0,553	0,070	52,0				Sem tendência
BV062	Ribeirão Água Suja	0,026	<b>0,000</b>	Sim				0,858	-0,027	-5,0	Sem tendência
BV063	Rio das Velhas	-0,154	<b>0,008</b>	Sim				0,092	-0,214	-38,0	Sem tendência
BV067	Rio das Velhas	-0,281	0,224	Não	0,092	-0,194	-151,0				Sem tendência
BV076	Ribeirão Sabará	0,143	<b>0,001</b>	Sim				0,590	-0,073	-13,0	Sem tendência
BV083	Rio das Velhas	0,080	<b>0,001</b>	Sim				0,720	0,051	9,0	Sem tendência
BV105	Rio das Velhas	0,023	<b>0,000</b>	Sim			23,0	0,858	-0,027	-5,0	Sem tendência
BV130	Ribeirão da Mata	<b>0,335</b>	<b>0,001</b>	Sim				<b>0,019</b>	0,298	53,0	Elevação
BV135	Rio Taquaraçu	-0,044	0,538	Não	0,864	-0,023	-14,0				Sem tendência
BV137	Rio das Velhas	-0,009	<b>0,000</b>	Sim				0,371	-0,117	-21,0	Sem tendência
BV139	Rio das Velhas	-0,126	0,518	Não	0,370	-0,108	-73,0				Sem tendência
BV140	Ribeirão Jequitibá	0,013	0,459	Não	0,942	0,010	7,0				Sem tendência
BV141	Rio das Velhas	-0,188	<b>0,002</b>	Sim				<b>0,044</b>	-0,262	-45,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV142	Rio das Velhas	-0,162	<b>0,004</b>	Sim				<b>0,041</b>	-0,277	-43,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV143	Rio Paraúna	-0,080	0,547	Não	0,618	-0,063	-38,0				Sem tendência
BV146	Rio das Velhas	-0,254	0,069	Não	0,111	-0,190	-136,0				Sem tendência
BV147	Rio Bicudo	-0,304	0,778	Não	0,052	-0,252	-122,0				Sem tendência
BV148	Rio das Velhas	-0,126	0,280	Não	0,428	-0,098	-62,0				Sem tendência
BV149	Rio das Velhas	0,028	0,153	Não	0,842	0,026	16,0				Sem tendência
BV152	Rio das Velhas	-0,174	0,459	Não	0,233	-0,142	-103,0				Sem tendência
BV153	Rio das Velhas	0,027	<b>0,000</b>	Sim				0,754	0,045	8,0	Sem tendência
BV154	Ribeirão do Onça	0,283	<b>0,001</b>	Sim				0,152	0,184	33,0	Sem tendência
BV155	Ribeirão Arrudas	0,099	<b>0,000</b>	Sim				0,929	-0,017	-3,0	Sem tendência
BV156	Rio das Velhas	-0,030	<b>0,000</b>	Sim				0,652	-0,059	-11,0	Sem tendência
BV160	Ribeirão das Neves	0,277	<b>0,000</b>	Sim				0,088	0,219	39,0	Sem tendência
BV161	Ribeirão Santo Antônio	0,016	<b>0,000</b>	Sim				1,000	-0,015	0,0	Sem tendência
BV162	Rio Cípolo	<b>-0,441</b>	0,895	Não	<b>0,004</b>	-0,363	-217,0				Redução

**Tabela II.19.** Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro OD, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estação	Corpo d'água	Correlação de Spearman	Teste Kruskal-Wallis	Influência da Sazonalidade	Teste Mann-Kendall	Tau de Kendall	S	Teste Sazonal de Mann-Kendall	Tau de Kendall	S'	Tendência
BV013	Rio das Velhas	0,030	<b>0,004</b>	Sim				0,555	-0,082	-14,0	Sem tendência
BV035	Rio Itabirito	-0,065	<b>0,002</b>	Sim				0,964	0,014	2,0	Sem tendência
BV037	Rio das Velhas	0,104	<b>0,000</b>	Sim				0,269	0,152	25,0	Sem tendência
BV062	Ribeirão Água Suja	-0,148	<b>0,004</b>	Sim				0,114	-0,202	-36,0	Sem tendência
BV063	Rio das Velhas	-0,071	<b>0,000</b>	Sim				0,651	0,059	11,0	Sem tendência
BV067	Rio das Velhas	0,141	<b>0,000</b>	Sim				0,178	0,124	66,0	Sem tendência
BV076	Ribeirão Sabará	-0,312	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,030</b>	-0,281	-49,0	Inconclusivo com possibilidade de Redução
BV083	Rio das Velhas	0,079	<b>0,002</b>	Sim				<b>0,021</b>	0,299	52,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV105	Rio das Velhas	0,135	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,015</b>	0,317	55,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV130	Ribeirão da Mata	-0,209	<b>0,002</b>	Sim				0,239	-0,155	-27,0	Sem tendência
BV135	Rio Taquaraçu	-0,048	<b>0,000</b>	Sim				0,927	0,017	3,0	Sem tendência
BV137	Rio das Velhas	0,227	<b>0,005</b>	Sim				<b>0,007</b>	0,346	61,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV139	Rio das Velhas	0,129	<b>0,000</b>	Sim				0,556	0,081	14,0	Sem tendência
BV140	Ribeirão Jequitibá	-0,069	<b>0,000</b>	Sim				0,392	-0,113	-20,0	Sem tendência
BV141	Rio das Velhas	0,042	<b>0,009</b>	Sim				0,053	0,250	44,0	Sem tendência
BV142	Rio das Velhas	<b>0,311</b>	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,002</b>	0,389	69,0	Elevação
BV143	Rio Paraúna	0,254	<b>0,001</b>	Sim				0,125	0,199	35,0	Sem tendência
BV146	Rio das Velhas	0,107	<b>0,000</b>	Sim				0,528	0,084	15,0	Sem tendência
BV147	Rio Bicudo	0,292	<b>0,001</b>	Sim				<b>0,039</b>	0,267	47,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV148	Rio das Velhas	0,035	<b>0,000</b>	Sim				0,751	0,046	8,0	Sem tendência
BV149	Rio das Velhas	0,081	<b>0,001</b>	Sim				0,651	0,061	11,0	Sem tendência
BV152	Rio das Velhas	0,069	<b>0,000</b>	Sim				0,097	0,215	38,0	Sem tendência
BV153	Rio das Velhas	0,142	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,005</b>	0,356	64,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV154	Ribeirão do Onça	-0,012	<b>0,007</b>	Sim				0,189	0,168	30,0	Sem tendência
BV155	Ribeirão Arrudas	0,123	<b>0,001</b>	Sim				0,419	0,106	19,0	Sem tendência
BV156	Rio das Velhas	0,054	0,153	Não	0,656	0,038	85,0				Sem tendência
BV160	Ribeirão das Neves	-0,052	<b>0,001</b>	Sim				0,892	0,025	4,0	Sem tendência
BV161	Ribeirão Santo Antônio	0,074	<b>0,000</b>	Sim				0,281	0,141	25,0	Sem tendência
BV162	Rio Cipó	0,057	<b>0,000</b>	Sim				0,652	0,061	11,0	Sem tendência

**Tabela II.20.** Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro SST, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estação	Corpo d'água	Correlação de Spearman	Teste Kruskal-Wallis	Influência da Sazonalidade	Teste Mann-Kendall	Tau de Kendall	S	Teste Seasonal Mann-Kendall	Tau de Kendall	S'	Tendência
BV013	Rio das Velhas	0,132	<b>0,000</b>	Sim				0,394	0,111	20,0	Sem tendência
BV035	Rio Itabirito	-0,026	<b>0,000</b>	Sim				0,751	-0,045	-8,0	Sem tendência
BV037	Rio das Velhas	0,050	<b>0,000</b>	Sim				0,224	0,159	28,0	Sem tendência
BV062	Ribeirão Água Suja	-0,071	<b>0,049</b>	Sim				0,788	0,040	7,0	Sem tendência
BV063	Rio das Velhas	-0,041	<b>0,000</b>	Sim				0,447	0,100	18,0	Sem tendência
BV067	Rio das Velhas	-0,037	<b>0,000</b>	Sim				0,560	0,078	14,0	Sem tendência
BV076	Ribeirão Sabará	0,173	<b>0,002</b>	Sim				0,192	0,170	30,0	Sem tendência
BV083	Rio das Velhas	0,042	<b>0,000</b>	Sim				0,720	0,049	9,0	Sem tendência
BV105	Rio das Velhas	0,061	<b>0,003</b>	Sim				0,754	0,044	8,0	Sem tendência
BV130	Ribeirão da Mata	-0,184	<b>0,000</b>	Sim				0,325	-0,128	-23,0	Sem tendência
BV135	Rio Taquaraçu	-0,001	<b>0,001</b>	Sim				0,419	0,107	19,0	Sem tendência
BV137	Rio das Velhas	0,029	<b>0,007</b>	Sim				0,720	0,051	9,0	Sem tendência
BV139	Rio das Velhas	-0,092	<b>0,000</b>	Sim				0,622	-0,066	-12,0	Sem tendência
BV140	Ribeirão Jequitibá	0,086	<b>0,001</b>	Sim				0,106	0,207	37,0	Sem tendência
BV141	Rio das Velhas	0,122	<b>0,000</b>	Sim				0,225	0,157	28,0	Sem tendência
BV142	Rio das Velhas	0,147	<b>0,000</b>	Sim				0,195	0,167	30,0	Sem tendência
BV143	Rio Paraúna	-0,120	<b>0,006</b>	Sim				0,752	-0,047	-8,0	Sem tendência
BV146	Rio das Velhas	0,041	<b>0,000</b>	Sim				0,654	0,061	11,0	Sem tendência
BV147	Rio Bicudo	-0,043	<b>0,000</b>	Sim				0,471	0,097	17,0	Sem tendência
BV148	Rio das Velhas	0,180	<b>0,000</b>	Sim				0,053	0,250	44,0	Sem tendência
BV149	Rio das Velhas	0,023	<b>0,000</b>	Sim				0,621	0,067	12,0	Sem tendência
BV152	Rio das Velhas	0,212	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,028</b>	0,280	50,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV153	Rio das Velhas	0,023	<b>0,005</b>	Sim				0,893	0,022	4,0	Sem tendência
BV154	Ribeirão do Onça	-0,247	0,071	Não	0,100	-0,182	-142,0				Sem tendência
BV155	Ribeirão Arrudas	0,150	0,186	Não	0,253	0,127	99,0				Sem tendência
BV156	Rio das Velhas	0,106	<b>0,002</b>	Sim				0,179	0,172	31,0	Sem tendência
BV160	Ribeirão das Neves	0,058	<b>0,008</b>	Sim				0,531	0,083	15,0	Sem tendência
BV161	Ribeirão Santo Antônio	0,150	<b>0,002</b>	Sim				0,126	0,195	35,0	Sem tendência
BV162	Rio Cipó	0,107	<b>0,002</b>	Sim				0,192	0,168	30,0	Sem tendência

**Tabela II.21.** Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro Turbidez, em cada estação estudada da sub-bacia do rio das Velhas.

Estação	Corpo d'água	Correlação de Spearman	Teste Kruskal-Wallis	Influência da Sazonalidade	Teste Mann-Kendall	Tau de Kendall	S	Teste Sazonal de Mann-Kendall	Tau de Kendall	S'	Tendência
BV013	Rio das Velhas	0,021	<b>0,000</b>	Sim				0,754	-0,044	-8,0	Sem tendência
BV035	Rio Itabirito	0,128	<b>0,000</b>	Sim				0,447	0,100	18,0	Sem tendência
BV037	Rio das Velhas	-0,008	<b>0,000</b>	Sim				0,561	0,078	14,0	Sem tendência
BV062	Ribeirão Água Suja	-0,108	<b>0,001</b>	Sim				0,474	-0,095	-17,0	Sem tendência
BV063	Rio das Velhas	-0,082	<b>0,000</b>	Sim				0,325	-0,127	-23,0	Sem tendência
BV067	Rio das Velhas	-0,128	<b>0,000</b>	Sim				0,113	-0,143	-78,0	Sem tendência
BV076	Ribeirão Sabará	0,125	<b>0,015</b>	Sim				0,195	0,167	30,0	Sem tendência
BV083	Rio das Velhas	-0,037	<b>0,000</b>	Sim				0,964	-0,011	-2,0	Sem tendência
BV105	Rio das Velhas	-0,073	<b>0,001</b>	Sim				1,000	0,000	0,0	Sem tendência
BV130	Ribeirão da Mata	-0,198	<b>0,000</b>	Sim				0,447	-0,100	-18,0	Sem tendência
BV135	Rio Taquaraçu	-0,030	<b>0,000</b>	Sim				0,502	0,089	16,0	Sem tendência
BV137	Rio das Velhas	0,055	<b>0,000</b>	Sim				0,893	0,022	4,0	Sem tendência
BV139	Rio das Velhas	-0,074	<b>0,000</b>	Sim				0,687	-0,056	-10,0	Sem tendência
BV140	Ribeirão Jequitibá	0,141	<b>0,000</b>	Sim				0,054	0,244	44,0	Sem tendência
BV141	Rio das Velhas	-0,007	<b>0,000</b>	Sim				0,561	0,078	14,0	Sem tendência
BV142	Rio das Velhas	-0,015	<b>0,000</b>	Sim				0,561	0,078	14,0	Sem tendência
BV143	Rio Paraúna	-0,148	<b>0,006</b>	Sim				0,687	-0,056	-10,0	Sem tendência
BV146	Rio das Velhas	0,057	<b>0,000</b>	Sim				0,348	0,122	22,0	Sem tendência
BV147	Rio Bicudo	0,053	<b>0,000</b>	Sim				0,227	0,156	28,0	Sem tendência
BV148	Rio das Velhas	0,056	<b>0,000</b>	Sim				0,060	0,240	43,0	Sem tendência
BV149	Rio das Velhas	0,071	<b>0,000</b>	Sim				<b>0,044</b>	0,256	46,0	Inconclusivo com possibilidade de Elevação
BV152	Rio das Velhas	0,038	<b>0,000</b>	Sim				0,474	0,095	17,0	Sem tendência
BV153	Rio das Velhas	0,047	<b>0,000</b>	Sim				0,893	-0,022	-4,0	Sem tendência
BV154	Ribeirão do Onça	-0,194	0,153	Não	0,305	-0,114	-89,0				Sem tendência
BV155	Ribeirão Arrudas	0,186	0,392	Não	0,241	0,131	102,0				Sem tendência
BV156	Rio das Velhas	0,073	<b>0,000</b>	Sim				0,531	0,083	15,0	Sem tendência
BV160	Ribeirão das Neves	0,045	<b>0,003</b>	Sim				0,195	0,167	30,0	Sem tendência
BV161	Ribeirão Santo Antônio	0,120	<b>0,000</b>	Sim				0,067	0,233	42,0	Sem tendência
BV162	Rio Cipó	-0,324	<b>0,000</b>	Sim				0,106	0,206	37,0	Sem tendência

